

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL



Tesis

**Análisis de la resistencia a compresión y flexión del concreto permeable
en la adición de polipropileno en el Jr. Lima de la ciudad de Abancay,
Apurímac – 2024**

Asesor:

Ph.D Vasquez Ramírez, Abbon Alex

Autor:

Achulli Rivas, José Flavio

Para optar el título profesional de: Ingeniero Civil

Abancay – Apurímac – Perú

2025



Universidad Tecnológica de los Andes

Transformando vidas



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 031

En la ciudad de Abancay año 2025 en el mes de marzo día jueves del 06 siendo las 11:00 am, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0222-2025- EPIC-FI-UTEA-SA de fecha 25 de febrero del 2025, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería:

Presidente :	MSc. Ing. Maldonado Mendivil, Angel
Dictaminante :	Ing. Morales Holguin, Marco Antonio
Replicante :	Ing. Gamarra Mota, Rubén

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Análisis de la resistencia a compresión y flexión del concreto permeable en la adición de polipropileno en el Jr. Lima de la ciudad de Abancay, Apurímac - 2024.

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br: Achulli Rivas, José Flavio

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 (**)
Achulli Rivas, José Flavio	Aprobado

Siendo las 12:55 del mediodía concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: MSc. Ing. Maldonado Mendivil, Angel

Dictaminante: Ing. Morales Holguin, Marco Antonio

Replicante: Ing. Gamarra Mota, Rubén

Abancay 11 de marzo del 2025

Se expide la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 336.

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, 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 RGURT.
(**) 9 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18

Análisis de la resistencia a comprensión y flexión del concreto permeable en la adición de polipropileno en el Jr. Lima de la ciudad de Abancay, Apurímac – 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unamba.edu.pe Fuente de Internet	12%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
3	Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes Trabajo del estudiante	1%
4	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
7	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	<1%

repositorio.uandina.edu.pe

Metadatos

Datos del autor		
Apellidos y nombres	:	Achulli Rivas, Flavio José
Tipo de documento de identidad	:	DNI
Numero de documento de identidad	:	48251369
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0009-2548-9766
Datos del asesor		
Apellidos y nombres	:	Vasquez Ramírez, Abbon Alex
Tipo de documento de identidad	:	DNI
Numero de documento de identidad	:	06532658
URL ORCID	:	https://orcid.org/0000-0001-7299-5367
Dato 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 - 2025
Fuente de financiamiento	:	Autofinanciado
Porcentaje de similitud	:	23%
URL de OCDE	:	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01

Dedicatoria

Se lo dedico con todo mi agradecimiento y afecto a toda mi familia, especialmente a mis progenitores: Sofía Irene mi madre y Flavio mi padre que se encuentran en el firmamento, por todo el cariño que siempre me brindan, por el respaldo que me brindan cotidianamente, por los principios y lecciones que me motivan en mi existencia. A mi hijo Flavio Juan José, por brindarme la oportunidad de estar a su lado y por ser el impulsor y razón de mi esfuerzo cotidiano, además de la asistencia que brinda para vencer dificultades en toda mi etapa laboral, y a todos aquellos que respaldaron mi logro en este objetivo vital.

A Dios, al siempre supremo, quien me orienta y me asiste en mi trayecto.

Agradecimiento

Al Dr. Abbon Alex Vasquez Ramírez, orientador de este proyecto de investigación, agradezco su respaldo incondicional, su amistad, sus recomendaciones que siempre fueron valiosas y todas sus enseñanzas que siempre las conservaré en mi memoria.

A la Universidad Tecnológica de los Andes, por haber sido mi alma mater durante estos años de gran dedicación y alegría, por acogerme y brindarme un desarrollo profesional.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, a los docentes y demás trabajadores, por haberme brindado la oportunidad de estar con ellos, vivir grandes vivencias y, sobre todo, contribuir a mi crecimiento académico y personal.

Resumen

El propósito de esta investigación es evaluar el comportamiento del concreto permeable reforzado con fibras de polipropileno, enfocándose en su resistencia a compresión y flexión en la ciudad de Abancay. Para ello, se trabajó con cuatro grupos: tres experimentales (G1, G2 y G3) y un grupo de control (G4).

Los ensayos de compresión realizados a los 28 días arrojaron los siguientes promedios: G1 = 201,17 kg/cm², G2 = 208,26 kg/cm², G3 = 200,59 kg/cm² y G4 = 192,75 kg/cm². En cuanto a la resistencia a flexión, también evaluada a los 28 días, los resultados fueron: G1 = 24,85 kg/cm², G2 = 24,85 kg/cm², G3 = 27,04 kg/cm² y G4 = 32,55 kg/cm². En el análisis de permeabilidad, se registraron valores de 0,454 cm/s para G1, 0,452 cm/s para G2, 0,461 cm/s para G3 y 0,467 cm/s para G4.

A partir de estos resultados, se determinó que la incorporación de fibras de polipropileno influye de manera directa en las propiedades mecánicas del concreto permeable, generando un incremento en la resistencia a compresión y a flexión en los diferentes porcentajes utilizados.

Palabras claves: Concreto permeable, fibras PP, adición, resistencia.

Abstract

The purpose of this research is to evaluate the behavior of polypropylene fiber-reinforced pervious concrete, focusing on its compressive and flexural strength in the city of Abancay. To this end, four groups were used: three experimental groups (G1, G2, and G3) and one control group (G4).

Compression tests performed after 28 days yielded the following averages: G1 = 201.17 kg/cm², G2 = 208.26 kg/cm², G3 = 200.59 kg/cm², and G4 = 192.75 kg/cm². Flexural strength, also evaluated after 28 days, was: G1 = 24.85 kg/cm², G2 = 24.85 kg/cm², G3 = 27.04 kg/cm², and G4 = 32.55 kg/cm². In the permeability analysis, values of 0.454 cm/s were recorded for G1, 0.452 cm/s for G2, 0.461 cm/s for G3, and 0.467 cm/s for G4.

From these results, it was determined that the incorporation of polypropylene fibers directly influences the mechanical properties of pervious concrete, generating an increase in compressive and flexural strength at the different percentages used.

Keywords: Permeable concrete, PP fibers, addition, resistance.

Índice

Portada	i
Acta de sustentacion	ii
Reporte de similitud	iii
Metadatos	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Índice	ix
Índice de tablas	xii
Índice de figuras	xiv
Índice de Anexos	xvi
I. Introducción	17
II. Planteamiento del problema	19
2.1. Descripción y formulación del problema	19
2.2. Objetivos	20
2.2.1. Objetivo general.....	20
2.2.2. Objetivo especifico.....	20
2.3. Justificación e Importancia.....	21
2.4. Hipótesis.....	22

2.5. Variables	22
III. Marco teórico	25
3.1. Antecedentes.....	25
3.2. Bases teóricas	32
3.2.1. El concreto poroso.....	32
3.2.2. Polímeros en el concreto (PC).....	49
3.2.3. Fibras en concreto.....	52
3.2.4. Fibras de polipropileno (PP)	54
3.3. Definición de términos	57
IV. Metodología	61
4.1. Tipo y nivel de investigación	611
4.2. Ámbito temporal y espacial.....	611
4.3. Población y muestra	622
4.4. Instrumentos.....	67
4.5. Procedimiento.....	67
4.5.1. Recolección de agregado	69
4.5.2. Caracterización de agregado.....	69
4.5.3. Tamizado y selección de agregado	70
4.5.4. Diseño de mezcla	71
4.5.5. Fibras de polipropileno (PP) Sika.....	72
4.5.6. Pesado de fibras de polipropileno.....	72
4.5.7. Producción de muestras de concreto poroso	733

4.5.7.1. Elaboración de briquetas cilíndricas y prismáticas	74
4.5.7.2. Para el contenido de los vacíos	77
4.5.8. Ensayo de permeabilidad del concreto	78
4.6. Análisis de datos	79
4.6.1. La estadística	79
4.6.2. Prueba de hipótesis	83
V. Resultados y discusión.....	88
5.1. Análisis de resultados.....	88
5.1.1. Análisis de resultados del objetivo general	88
5.1.2. Análisis de resultados del primer objetivo específico	101
5.1.3. Análisis de resultados del segundo objetivo específico	105
5.1.4. Análisis de resultados de la permeabilidad	107
5.1.5. Contrastación de hipótesis.....	108
5.2. Discusión de resultados.....	129
5.2.1. Propiedades del concreto permeable con la adición de fibras PET	129
5.2.2. Resistencia a la compresión	131
5.2.3. Resistencia a la flexión	1322
5.2.4. Permeabilidad.....	133
VI. Conclusiones.....	135
VII. Recomendaciones.....	136
VIII. Referencias	137
IX. Anexos	144

Índice de tablas

Tabla 1 Operacionalización de Variables.....	24
Tabla 2 Ventajas y desventajas del concreto poroso.....	34
Tabla 3 Propiedades típicas del concreto poroso.	36
Tabla 4 Proporción de materiales y rangos comunes.	37
Tabla 5 Tabla de datos para el diseño de mezcla.....	38
Tabla 6 Valores efectivos para b/b_o	39
Tabla 7 Consistencia en estado fresco del concreto.....	50
Tabla 8 Permeabilidad de diferentes tipos de hormigón.	51
Tabla 9 Propiedades mecánicas típicas de los hormigones que contienen polímeros.	52
Tabla 10 Algunas características de fibras de polipropileno (Sikafiber PE).....	56
Tabla 11 Códigos para la resistencia a compresión, para los grupos experimentales y de control.....	633
Tabla 12 Códigos para la resistencia a flexión, de los grupos experimentales y de control.....	65
Tabla 13 Códigos para la permeabilidad de los grupos experimentales y de control.	66
Tabla 14 Algunos datos para el diseño de mezcla.....	711
Tabla 15 Esquema del diseño de mezcla para concreto poroso.....	71
Tabla 16 Tratamientos para briqueta cilíndrica de concreto permeable.....	74
Tabla 17 Tratamientos para briqueta prismática de concreto poroso.....	75
Tabla 18 Resultados del tamizado del agregado de cantera.	89
Tabla 19 Ajustado en el Tamiz para el agregado de HUSO N° 8.....	90
Tabla 20 Diseño de mezcla para Grupo de control (concreto patrón).	92
Tabla 21 Diseño de mezcla para Grupo experimenta 1 (adición de 0.5% de PP).	92
Tabla 22 Diseño de mezcla para Grupo experimental 2 (adición de 1% de PP).	93
Tabla 23 Diseño de mezcla para Grupo experimenta 3 (adición de 1.5% de PP).	94

Tabla 24 <i>El contenido de vacíos del concreto a diferentes tratamientos</i>	95
Tabla 25 <i>Resistencia a la compresión del Grupo Experimental 1</i>	101
Tabla 26 <i>Resistencia a la compresión Grupo Experimental 2</i>	102
Tabla 27 <i>Resistencia a la compresión “Grupo Experimental 3”</i>	103
Tabla 28 <i>Resistencia a la compresión “Grupo Control”</i>	104
Tabla 29 <i>Resistencia a flexión para todos los grupos a edad de 28 días</i>	105
Tabla 30 <i>Permeabilidad para todos los grupos</i>	107
Tabla 31 <i>Prueba de normalidad de la resistencia a la compresión para edad de 7 días</i>	109
Tabla 32 <i>Prueba de normalidad de la resistencia a la compresión para edad de 14 días</i>	1100
Tabla 33 <i>Prueba de normalidad de la resistencia a la compresión para edad de 28 días</i>	1111
Tabla 34 <i>ANOVA de un factor Resistencia a la compresión del concreto a 7 días</i>	112
Tabla 35 <i>ANOVA de un factor Resistencia a la compresión del concreto a 14 días</i>	112
Tabla 36 <i>ANOVA de un factor Resistencia a la compresión del concreto a 28 días</i>	113
Tabla 37 <i>Comparaciones múltiples HSD Tukey – edad 7 días</i>	114
Tabla 38 <i>Comparaciones múltiples HSD Tukey – edad 14 días</i>	114
Tabla 39 <i>Comparaciones múltiples HSD Tukey – edad 28 días</i>	115
Tabla 40 <i>Subconjuntos homogéneos HSD Tukey – edad 7 días</i>	115
Tabla 41 <i>Subconjuntos homogéneos HSD Tukey – edad 14 días</i>	116
Tabla 42 <i>Subconjuntos homogéneos HSD Tukey – edad 28 días</i>	117
Tabla 43 <i>Prueba de normalidad de la resistencia a flexión para edad de 28 días</i>	119
Tabla 44 <i>ANOVA de un factor Resistencia a flexión del concreto a 28 días</i>	120
Tabla 45 <i>Comparaciones múltiples HSD Tukey – edad 28 días</i>	121
Tabla 46 <i>Subconjuntos Homogéneos HSD Tukey – edad 28 días</i>	122
Tabla 47 <i>Prueba de normalidad de la permeabilidad</i>	124
Tabla 48 <i>ANOVA de un factor permeabilidad</i>	125
Tabla 49 <i>Comparaciones múltiples HSD Tukey – permeabilidad</i>	126
Tabla 50 <i>Subconjuntos Homogéneos HSD Tukey – permeabilidad</i>	127

Índice de figuras

Figura 1 <i>La correlación a los 28 días del contenido de vacíos y la resistencia a la compresión, en relación a los tamaños de agregados de HUSO N°8.</i>	40
Figura 2 <i>Permeámetro de carga variable según el ACI 522R-10.</i>	48
Figura 3 <i>Trabajabilidad del hormigón mejorado con polímero de estireno/butadieno.</i>	51
Figura 4 <i>Clasificación de fibras.</i>	53
Figura 5 <i>Forma de fibras: a, b, c, d, e, f; diferentes formas de fibras.</i>	54
Figura 6 <i>Fibras de polipropileno(PP). Extraído de Sika Perú.</i>	55
Figura 7 <i>Espécimen modelo (resistencia a compresión).</i>	64
Figura 8 <i>Espécimen modelo (resistencia a flexión).</i>	65
Figura 9 <i>Flujograma de proceso de la investigación.</i>	68
Figura 10 <i>Tamizado y selección de agregado.</i>	70
Figura 11 <i>Pesado de fibras PP.</i>	73
Figura 12 <i>Mezclado de materiales para la elaboración de concreto permeable.</i>	75
Figura 13 <i>Vaciado para la elaboración de concreto poroso HUSO N° 8.</i>	76
Figura 14 <i>Diseño del Permeámetro de carga variable.</i>	78
Figura 15 <i>Permeámetro de carga variable hecha por el investigador.</i>	79
Figura 16 <i>Análisis de una distribución normal y criterios a tomar en cuenta.</i>	85
Figura 17 <i>Análisis granulométrico de cantera.</i>	88
Figura 18 <i>Curva granulométrica del agregado de cantera.</i>	89
Figura 19 <i>Tendencia granulométrico del agregado para HUSO N° 8.</i>	90
Figura 20 <i>Barras de contenido de vacíos (Huso N° 8).</i>	96
Figura 21 <i>Resistencia a la compresión del concreto permeable (Huso N° 8) a 07 días.</i>	96
Figura 22 <i>Resistencia a la compresión del concreto permeable (Huso N° 8) a 14 días.</i>	97
Figura 23 <i>Resistencia a la compresión del concreto permeable (Huso N° 8) a 28 días.</i>	98

Figura 24 <i>Curva de la resistencia a la compresión del concreto permeable (Huso N° 8).....</i>	99
Figura 25 <i>Resistencia a flexión del concreto permeable (Huso N° 8) a 28 días.....</i>	100
Figura 26 <i>Permeabilidad del concreto peroso.</i>	101

Índice de Anexos

Anexo 1	Matriz de consistencia.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 2	Operacionalización de variables.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 3	Instrumento de recolección de datos.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 4	Resultados	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 5	Declaración jurada de originalidad y no plagio	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 6	Galería de fotos del proceso de investigación	¡Error! Marcador no definido.

I. Introducción

En la actualidad, la construcción enfrenta retos importantes para incorporar materiales que sean sostenibles y eficientes, no solo cumpliendo con las exigencias estructurales, sino también minimizando el impacto ambiental. Entre las innovaciones más relevantes, destaca el uso de fibras de polipropileno en mezclas de concreto. Este polímero termoplástico, conocido por su resistencia, ligereza y durabilidad, se ha consolidado como un aditivo fundamental para optimizar las características del concreto.

La mejora de la resistencia a la tracción, la flexión y el control de fisuras, aumentando la durabilidad de las estructuras, especialmente en entornos adversos, se ha visto y demostrados ser efectivo en la adición de fibras de polipropileno (PP). Estas fibras funcionan como un refuerzo secundario que distribuye las tensiones de manera uniforme, lo que contribuye a prevenir la formación y propagación de grietas. Además, su uso no solo refuerza las propiedades mecánicas más comunes del concreto, por consiguiente, que también fomenta la sostenibilidad al emplear materiales plásticos reciclados.

Estudios recientes indican que las fibras de polipropileno como refuerzo en el concreto es adecuado tanto para aplicaciones convencionales como para pavimentos permeables, donde la combinación de resistencia mecánica y capacidad de drenaje resulta esencial. En un contexto de creciente preocupación ambiental, este material ofrece una alternativa innovadora que equilibra eficiencia estructural y compromiso ecológico.

El concreto permeable es un hormigón especial caracterizado por su alta porosidad, empleado en diversas construcciones. Aunque esta propiedad favorece la infiltración de agua, también disminuye la resistencia mecánica (Sonebi et al., 2016). Diversas investigaciones han analizado cómo la adición de polímeros puede mejorar esta resistencia, aunque bajo ciertas condiciones y parámetros. Kangavara et al. (2022) observaron que el uso de polipropileno como refuerzo generalmente incrementa la

resistencia a compresión, aunque no siempre de manera lineal. Según estos estudios, hasta cierto nivel de contenido de polipropileno, la resistencia mejora, pero un exceso de este material puede reducirla.

El presente trabajo de investigación analiza al concreto permeable y su comportamiento con la adición de fibras de polipropileno, evaluando sus propiedades mecánicas (resistencia a compresión y flexión), y mostrando los efectos en estas propiedades específicas.

El informe está estructurado en nueve capítulos de los cuales los primeros siete abarcan son los más importantes: el Capítulo I aborda la introducción, el Capítulo II presenta el planteamiento del problema, el Capítulo III detalla el marco teórico, el Capítulo IV explica la metodología de la investigación, el Capítulo V expone los resultados y discusiones, y los Capítulos VI y VII incluyen las conclusiones y recomendaciones.

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación del problema

Descripción

A nivel global, en numerosas ciudades, dentro de las aguas pluviales su gestión enfrenta retos significativos, principalmente como consecuencia del acelerado incremento poblacional. Este fenómeno ha llevado a una expansión en la construcción de vías y el uso extensivo de pavimentos con materiales no permeables, lo que reduce considerablemente la capacidad del suelo para infiltrarse de manera natural. Como resultado, se generan inundaciones en áreas urbanas, con mayor incidencia en regiones de baja altitud.

En el Perú, esta situación también es relevante, particularmente en la región de la Selva y en los Andes, durante los meses de enero a marzo, cuando las lluvias intensas son frecuentes. Abancay, por ejemplo, experimenta dificultades en la gestión de aguas pluviales durante este periodo, resultando en inundaciones en varias áreas, especialmente en la zona central. Esto se debe en parte a la creciente impermeabilización de las calles con pavimentos rígidos, como el concreto hidráulico, y dentro de las cunetas y desagües naturales existe insuficiente mantenimiento en ciertos lugares de la ciudad.

Actualmente, se utilizan tecnologías avanzadas para optimizar la gestión de aguas pluviales, como el concreto permeable, que dentro de su estructura concede el paso del agua. Sin embargo, su naturaleza porosa limita la resistencia a la compresión, aunque estudios realizados en diferentes regiones del Perú han demostrado que agregar fibras de polipropileno a la mezcla mejora sus propiedades físicas y mecánicas.

Formulación del problema

Este material resulta especialmente relevante para pavimentos rígidos de tránsito

ligero, que requieren al menos una resistencia a la compresión de 210 kg/cm². Por esta razón, esta investigación analiza cómo las fibras de polipropileno, en proporciones del 0.5%, 1% y 1.5% del peso del cemento, influyen en el concreto permeable, con el objetivo de garantizar tanto la resistencia mínima requerida como una eficiente capacidad de drenaje para las aguas pluviales.

Problema general

¿Cuál es el análisis de la resistencia a compresión y flexión del concreto permeable con la adición de fibras de polipropileno en el Jr. Lima de la ciudad de Abancay – 2024?

Problemas específicos

- ¿Cuál es el análisis de la influencia en la resistencia a compresión del concreto permeable con la adición de fibras de polipropileno en el Jr. Lima de la ciudad de Abancay – 2024?
- ¿Cuál es el análisis de la influencia en la resistencia a flexión del concreto permeable con la adición de fibras de polipropileno en el Jr. Lima de la ciudad de Abancay – 2024?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo general

Analizar la influencia de la resistencia a compresión y flexión del concreto permeable con la adición de fibras de polipropileno en el Jr. Lima de la ciudad de Abancay – 2024

2.2.2. Objetivo específico

- Determinar la influencia de la resistencia a compresión del concreto permeable con la adición de fibras de polipropileno en el Jr. Lima de la ciudad de Abancay – 2024

- Determinar la influencia de la resistencia a flexión del concreto permeable con la adición de fibras de polipropileno en el Jr. Lima de la ciudad de Abancay – 2024

2.3. Justificación e Importancia

Justificación

Dentro de la ciudad las aguas pluviales se consideran uno de los desafíos, resulta esencial hallar una respuesta efectiva a este problema. Más de tres décadas, se han estudiado varias tácticas para manejar la escorrentía de lluvia. Una de las soluciones más destacadas son los que indica que los componentes de la infraestructura de drenaje concebida sirven para recolectar, trasladar, retener, infiltrar y evacuar el agua pluvial de forma más eficaz y sustentable. Dentro de los SUDS, los pavimentos permeables, fabricados con hormigón poroso o permeable, sobresalen por su efectividad.

En este contexto, se ha decidido realizar esta tesis. Las inundaciones durante la temporada de lluvias (de diciembre y cuatro meses seguidos) en la ciudad de Abancay representan un problema grave, lo que vuelve imprescindible la investigación de sistemas o materiales capaces de atenuar el efecto de las lluvias. Emerge dentro del concreto permeable como una solución prometedora para enfrentar este desafío en el ámbito vial de Abancay. Este estudio permitirá evaluar la viabilidad de este material en pavimentos de tránsito ligero.

Importancia

Además, resulta crucial estudiar y examinar tecnologías capaces de solucionar los problemas particulares de nuestra ciudad y fomentar la continuación de estudios parecidos.

En el hormigón permeable, El uso de fibras de polipropileno podría potenciar

atributos como la resistencia a la compresión y a la flexión, según lo indicado por la investigación. Esto favorece la creación de materiales más eficaces para la edificación de pavimentos, particularmente en áreas que demandan una mayor durabilidad y resistencia.

También este tipo de concreto ofrece el beneficio de facilitar la infiltración de agua, ayudando a mitigar problemas de inundaciones y promoviendo la recarga de acuíferos. La adición de polipropileno podría mejorar estas propiedades, al mismo tiempo que contribuye a la sostenibilidad en la construcción, reduciendo el impacto ambiental.

En Abancay, una ciudad que puede enfrentar desafíos relacionados con la gestión del agua y el clima, este tipo de investigaciones ofrece soluciones específicas acopladas a necesidades de la ciudad. La adición de tecnologías para concreto poroso mejorado con polipropileno podría ser esencial para la infraestructura de carreteras y ciudades de la zona.

2.4. Hipótesis

Hipótesis general

Influye en la resistencia a compresión y flexión del concreto permeable la adición de fibras de polipropileno en el Jr. Lima de la ciudad de Abancay – 2024

Hipótesis específicas

- Influye en la resistencia a compresión del concreto permeable la adición de fibras de polipropileno en el Jr. Lima de la ciudad de Abancay – 2024
- Influye en la resistencia a flexión del concreto permeable la adición de fibras de polipropileno en el Jr. Lima de la ciudad de Abancay – 2024

2.5. Variables

- Variable independiente (Polipropileno). - Bentur y Mindess (2007) afirma que

el polipropileno (fibras de PP) es considerado como una clase de polímero termoplástico que en el concreto ayudan a reducir la formación de fisuras durante el proceso de fraguado y contribuyen a mejorar la ductilidad y la tenacidad del material.

- Variable dependiente (Resistencia a la compresión y flexión). - La resistencia a la compresión, según Neville (2015), es el soporte máximo de resistencia para una muestra de concreto bajo una carga de compresión directa. Por su parte, Mehta y Monteiro (2016) definen la resistencia a la flexión como el módulo de ruptura, que corresponde a la tensión máxima que se produce en la superficie de un elemento que generalmente es el concreto y este está sometido a una carga de flexión.

Tabla 1
Operacionalización de Variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
VARIABLE INDEPENDIENTE Fibras PP recicladas.	Li et al, (2019) afirma que las fibras Polipropileno (PP) reciclado son filamentos elaborados a partir del reprocesamiento de plásticos de polipropileno (PP). Se emplean principalmente como material de refuerzo en mezclas de concreto y en otras aplicaciones industriales y constructivas.	Porcentaje de fibras PP recicladas	Fibras obtenidas del reciclaje de polipropileno, cortadas en dimensiones específicas e incorporadas al concreto para evaluar su efecto en propiedades mecánicas y permeabilidad, según contenido y método de mezcla previamente establecidos en el diseño experimental de la investigación.	Adición de 0% de PP	%	-
				Adición de 0.5% de PP	%	-
				Adición de 1% de PP	%	-
				Adición de 1.5% de PP	%	-
VARIABLE DEPENDIENTE Resistencia a la compresión y flexión.	Según Neville (2018), el comportamiento mecánico hace referencia al análisis de la capacidad de este material para soportar cargas y deformaciones, así como a su respuesta frente a esfuerzos externos, teniendo en cuenta la elevada porosidad en su estructura	Resistencia a la compresión	Capacidad del concreto para resistir fuerzas que lo comprimen, determinada mediante ensayos.	Esfuerzo	Kg/cm ²	Hoja de registro de información
		Resistencia a la flexión	Capacidad del concreto para soportar esfuerzos simultáneos de doblado y compresión, determinada en pruebas, expresada en MPa.	Esfuerzo	Kg/cm ²	Hoja de registro de información

Nota: Elaboración Propia

III. Marco teórico

3.1. Antecedentes

De acuerdo a Menna, et al (2021) en una investigación llevada a cabo en Jaipur, India, se analizan detalladamente las características técnicas de los desechos plásticos reciclados y su impacto en las propiedades del concreto. La resina utilizada afecta de manera importante las propiedades mecánicas y la vida útil del material, modificando su resistencia y comportamiento estructural. Para reforzar concreto convencional, el estudio utilizó fibras plásticas derivadas de botellas recicladas y analizó la fuerza que soportan cubos y cilindros de tamaño estándar al ser aplastados bajo condiciones controladas de laboratorio. Concretos de grado M25 y M30 fueron sometidos a un curado de 28 días, empleando proporciones de fibras geométricas que oscilaron entre el 0,0% y el 3,0% en volumen. El concreto reforzado se volvió más difícil de trabajar y de manejar, a pesar de que las pruebas de asentamiento y compactación lo mostraron, los resultados indicaron que las fibras mejoran la cohesión entre los agregados. Asimismo, se observó que la densidad seca del concreto disminuyó al incorporar fibras de tereftalato de polietileno, lo que reduce el peso propio del material. La resistencia a la compresión fue subiendo poco a poco hasta llegar a su punto ideal el cual el 1% de reemplazo de arena por fibras, mostrando mejoras significativas en sus propiedades mecánicas.

Mientras que Eyni, et al (2021) en la Universidad del Sur de Queensland, Australia, se llevó a cabo su estudio que evaluó las propiedades del concreto incorporando gránulos de PET reciclado como sustituto parcial del agregado fino. Se utilizaron especímenes de concreto de Grado 32, fabricados con proporciones variables de PET reciclado (0%, 10%, 30% y 50% en volumen) en lugar de los agregados finos tradicionales. Las características del concreto que fueron analizadas incluyeron qué tan fácil es de manejar (trabajabilidad), su densidad, y qué tan bien resiste al aplastamiento (resistencia a la compresión), al estiramiento y al doblado (resistencia a la tracción y

flexión). También se evaluó qué tan rígido es el material (módulo de elasticidad) y cómo se comportan las grietas que se forman en él y observaciones microestructurales. Los resultados mostraron que al sustituir el 10% de los agregados finos con PET reciclado, las características del concreto mejoraron significativamente. También se observó un incremento en la ductilidad del material, siendo más evidente con la proporción del 10% de PET reciclado. Las propiedades mecánicas obtenidas se compararon con normativas australianas y estadounidenses, mostrando una correlación lineal. Además, los resultados experimentales destacaron un desempeño óptimo del concreto con PET reciclado, alineándose con los datos de estudios previos.

Por su parte Zhang, et al (2020) utiliza la metodología de superficie de respuesta (RSM) que fue aplicada en un estudio realizado en la Universidad de Hohai, Nanjing, China, para diseñar proporciones óptimas de mezclas de concreto permeable con agregados reciclados. La estructura interna del concreto permeable revela que su porosidad y resistencia dependen fundamentalmente de la pasta que une sus componentes, del grosor de la capa de esa pasta que recubre los agregados y de la cantidad de espacios vacíos que hay en el material. Para mejorar estos aspectos, se utilizaron mediciones como el espesor ideal de la pasta (IPT), el espesor real del recubrimiento (ACT) y el contenido total de vacíos (TVC). Todo esto se hizo a través de una metodología llamada RSM, que ayudó a evaluar y ajustar los factores para obtener los mejores resultados. El diseño experimental Box-Behnken (BBD) fue utilizado para analizar las respuestas del IPT y el ACT ante diferentes combinaciones de tres aditivos. También se utilizó el diseño de centroide simplex para entender cómo la distribución del tamaño de los agregados reciclados afecta la cantidad total de espacios vacíos del material.

También Ramesh, et al (2019) en un estudio realizado en Chennai, Tamil Nadu, India. En esta investigación se analiza cómo la calidad del concreto autocompactante

(SCC) se puede mejorar al añadirle fibras de polipropileno. Estas fibras, de uso creciente, Para mejorar la resistencia a la flexión y la elasticidad del concreto autocompactable (SCC), se utilizan fibras. Para asegurar una adecuada trabajabilidad, se incorporaron superplastificantes (SP) y agentes modificadores de viscosidad (VMA), los cuales contribuyen a reducir la segregación, logrando propiedades homogéneas en el material. Aunque el costo del SCC es un 10-15% superior al del concreto convencional debido al mayor gasto en materiales, este incremento se equilibra con los ahorros en mano de obra, tiempo de colocación y otros factores relacionados con su uso. En el estudio se experimentó con porcentajes de fibra de polipropileno (0.3%, 0.6%, 0.9% y 1.2%, en relación con el peso del cemento), utilizando fibras de entre 6 y 12 mm de longitud y un ancho de 14 metros, con una relación de aspecto acorde a los porcentajes mencionados. Este estudio evaluó qué tan bien el concreto autocompactable (SCC) resiste a ser doblado (flexión) y qué tan rígido es, utilizando una mezcla M20 enriquecida con cantidades óptimas de superplastificante, fibras de polipropileno y VMA para determinar su desempeño.

Por su parte Akand, et al (2018) en su estudio realizado en una Universidad Estatal, exactamente en Dakota del Norte, Fargo, ND 58108, EE. UU. El autor detalló un artículo con nombre "Eficacia del tratamiento químico sobre fibras de polipropileno como refuerzo en hormigón permeable" El investigador señala que su estudio aborda el impacto del tratamiento químico en fibras cortas de polipropileno y su aplicación como refuerzo en concreto permeable. El cambio en la superficie de la fibra como resultado del tratamiento se evalúa mediante pruebas de humectabilidad de la fibra y microscopía de fuerza atómica (AFM). Además, se registran los cambios en la resistencia a la tracción de las fibras después de aplicar diversos métodos de tratamiento. Se realizan pruebas de extracción de fibra individual para examinar cómo el tipo de tratamiento afecta las propiedades de la interfaz fibrocemento. Posteriormente, las fibras tratadas se incorporan en una matriz de concreto permeable para llevar a cabo pruebas de

resistencia a la compresión y flexión. Se concluye que los tratamientos químicos mejoran la rugosidad superficial y las propiedades de la interfaz de la matriz de cemento, lo que resulta en una mejora general en la resistencia del concreto permeable reforzado con fibras.

Según Ñahui & Oscanoa (2023) en su estudio se propuso encontrar la cantidad ideal de fibras de polipropileno para mejorar las propiedades del concreto poroso que se usa en los pavimentos. Para lograrlo, se utilizó un enfoque que analizó y comparó datos existentes. Los resultados mostraron que la mejoría se logró con una relación de agua/cemento de 0.3 y una cantidad de 0.94 kg de fibras por cada metro cúbico de concreto. Con esta combinación, la resistencia a la flexión del material aumentó en un notable 37%. Asimismo, al usar un 0.2% de fibras (75% mono fibras y 25% fibriladas) bajo la misma relación agua/cemento, la resistencia a la compresión aumentó un 52.7%. Por otro lado, una proporción agua/cemento de 0.3 con un 0.4% de fibras redujo el coeficiente de permeabilidad en un 4.66%. Los investigadores concluyeron que, aunque la ausencia o reducción de agregado fino puede afectar ciertas propiedades, la adición de fibras mejora significativamente la resistencia a la flexión y a la compresión. Sin embargo, destacaron la necesidad de equilibrar estas propiedades con la permeabilidad, respetando las recomendaciones del manual ACI 522R-10.

De acuerdo a Coico (2023) en un estudio de investigación, se utilizó una metodología experimental con un enfoque práctico se quería saber cómo las fibras de polipropileno afectan al concreto permeable, que tiene una resistencia de 175 kg/cm² y se usa en pavimentos especiales. Para lograrlo, se experimentó con diferentes mezclas: se usaron relaciones de agua/cemento de 0.25 y 0.35, y se añadieron fibras en cuatro porcentajes distintos (0.04%, 0.07%, 0.10% y 0.13%) según el peso de los materiales. Además, se usó un 5% de agregado fino y agregado grueso de tipo N°8. Los resultados mostraron que la incorporación de fibras afectó significativamente las mezclas: con un

0.07% de fibras, se alcanzaron resistencias a compresión de 207.03 kg/cm² y 194.31 kg/cm² para las relaciones a/c de 0.25 y 0.35, respectivamente. Por su parte, las mejores resistencias a flexión y tracción se lograron con un 0.10% de fibras, obteniendo valores de 3.23 MPa y 1.73 MPa para la relación a/c de 0.25, y 2.93 MPa y 1.65 MPa para la relación a/c de 0.35. Los ensayos de permeabilidad reflejaron coeficientes k de 4.20 mm/s y 4.89 mm/s para las relaciones a/c de 0.25 y 0.35, respectivamente, sin variaciones significativas por la inclusión de fibras. Físicamente, ambas configuraciones mostraron mayor cohesión de los agregados con fibras. En conclusión, las resistencias a la compresión aumentaron, y las resistencias a flexión y tracción mejoraron al superar el porcentaje óptimo de fibras para compresión.

Según a lo manifestado García & Córdova (2021) En su investigación se estudiaron mezclas de concreto permeable con una resistencia de 210 kg/cm² y 245 kg/cm², incorporando fibras de polipropileno en proporciones del 0.30%, 0.40% y 0.50%. El estudio también evaluó el drenaje de escorrentías en un pavimento para tránsito ligero en Ucayali, en este estudio, se diseñaron seis mezclas de concreto, tres con una resistencia nominal de $f'c=210$ kg/cm² y tres con $f'c=245$ kg/cm², incorporando diferentes proporciones de fibras de polipropileno en función del peso del cemento. Para el estudio se tomaron en cuenta tres variables principales: la resistencia a la compresión, la tasa de infiltración (o percolación) y la profundidad del agua (tirante hidráulico) en una cuneta. Los resultados demostraron que la incorporación de fibras en la mezcla hizo que la resistencia a la compresión fuera mucho mayor en los dos tipos de concreto evaluados. Sin embargo, se observó una disminución en la tasa de infiltración al aumentar el contenido de fibras, alcanzando un valor promedio mínimo de 0.13 cm/s, por debajo del rango recomendado por el informe 522-10 del ACI (0.14 – 1.22 cm/s). Finalmente, Aunque se notó una disminución en la profundidad del agua en la cuneta, el cambio no fue lo suficientemente importante.

Por otro lado, Medina (2019), para conseguir el título de ingeniería civil, el escritor examinó en un estudio realizado en una universidad ubicada en Trujillo, en la región norte del país, El estudio analizó cómo distintas cantidades de tiras de plástico modificaban la permeabilidad, la resistencia al aplastamiento y la resistencia a la flexión del hormigón permeable. Con un diseño cuasi-experimental y un muestreo probabilístico sencillo, Esta investigación se centró en la baja resistencia del hormigón permeable, un problema que restringe su aplicación en pavimentos rígidos y afecta la recarga de acuíferos, además de la contaminación por plásticos debido al escaso reciclaje. Usando un método de observación y una guía para la recopilación de datos, se realizó un análisis estadístico para determinar los resultados. Se encontró que al añadir un 0.10% de bandas plásticas se lograba un aumento significativo en la resistencia del material. Específicamente, la resistencia a la compresión subió de 185.40 kg/cm² a 217.09 kg/cm² (un 17.09% de mejora), y la resistencia a la flexión mejoró aún más, pasando de 34.69 kg/cm² a 51.97 kg/cm², lo que representa un aumento del 49.81%. Sin embargo, la permeabilidad mostró una reducción en todos los niveles de incorporación, siendo del 19.83% para un 0.10% de tiras plásticas.

En su estudio de Diaz (2018) cuyo propósito de su investigación realizada en el norte del país fue desarrollar una mezcla de hormigón permeable adecuada para pavimentos en Cajamarca, incorporando un aditivo y fibras de polipropileno para alcanzar una resistencia a la compresión de 210 kg/cm² y a la flexión de 42 kg/cm². Este estudio se dividió en tres fases: primero, se elaboró el hormigón permeable con un aditivo plastificante; en la segunda fase, se añadió fibra de polipropileno al diseño seleccionado; y en la tercera, se prepararon muestras con la mezcla óptima obtenida, las cuales fueron sometidas a pruebas de compresión, flexión y permeabilidad. Se crearon 132 combinaciones de hormigón permeable que cumplían con las normativas ACI 211.3R-02 y ACI 522.R-10. A los 28 días, la mezcla III-RDBIII-AD1-FPP1-(30) demostró tener una resistencia a la compresión de 22.35 MPa, lo que equivale a 227.78

kg/cm². La resistencia a la flexión fue de 4.34 MPa, o 44.21 kg/cm². Además, se midió un módulo de elasticidad de 17345.17 MPa y un peso unitario de 192.24 MPa. En cuanto a su permeabilidad, la mezcla presentó un coeficiente de 0.27 cm/s y un 17.36% de poros. Los resultados indican que esta combinación de materiales es adecuada para los pavimentos de Cajamarca, ya que cumple con los requisitos necesarios de resistencia y capacidad de drenaje.

También Hilares & Camacho (2023) detallan una investigación cuyo propósito sobre el hormigón poroso con plastómeros fue analizar el desempeño del hormigón poroso permeable en Chalhuanca, al cual se le agregaron plastómeros. Se siguió un método experimental, donde se diseñó una mezcla con una resistencia de 175 kg/cm². Para esto, se utilizaron cemento, un aditivo, agua, plastómeros reciclados, y agregados finos y gruesos, incorporando los plastómeros en proporciones de 1%, 1.5% y 3%. Se prepararon los especímenes y se combinaron los materiales, obteniendo resultados favorables en cuanto a las características físicas. Las muestras se probaron a los 7, 14 y 28 días para medir su resistencia a la compresión y flexión durante el proceso de curado. Los resultados mostraron un aumento constante en la resistencia a la compresión: alcanzó el 70% a los 7 días, el 85% a los 14 días y el 100% a los 28 días. Por otro lado, la resistencia a la flexión fue entre el 10% y el 20% de la resistencia a la compresión, y las muestras con 1.5% de plastómeros tuvieron el mejor desempeño en esta categoría. A los 28 días, el coeficiente de permeabilidad se mantuvo entre 1.44 mm/s y 12 mm/s, y curiosamente, aumentó al agregar un 1% de plastómeros. En conclusión, el estudio determinó que añadir un 1.5% de plastómeros mejora las características físicas y mecánicas del hormigón, disminuyendo su permeabilidad. Esto hace que la mezcla cumpla con las normas (ACI 522 R-10) y sea una excelente opción para usar en pavimentos que buscan gestionar el agua de lluvia.

Por último, Arcos (2019) en su estudio científico, La autora se propuso varios

objetivos: primero, evaluar la permeabilidad del concreto poroso para controlar el agua de lluvia. Segundo, determinar la resistencia a la compresión y la flexión del material, siguiendo las normas de la ACI 211.3R-02.

En la producción de un concreto con una resistencia de 210 kg/cm² y diferentes porcentajes de vacíos (12%, 17% y 22%), se obtuvieron los siguientes resultados:

- El tratamiento T1, que tenía un 12% de vacío con el agregado fino Huso 8, fue el que demostró mayor resistencia, cumpliendo con los requisitos para este tipo de hormigón y para la clase de camino.

- Por el contrario, el agregado fino Huso 67 tuvo una resistencia más baja en todos los porcentajes de vacío, lo que confirma que el tratamiento T2 es crucial para la fabricación de este tipo de concreto permeable.

- En cuanto a la resistencia a la flexión, no hubo una diferencia importante entre los tratamientos T1 (12% de vacío) y T2 (17% de vacío) del Huso 8. Sin embargo, ambos mostraron una resistencia significativamente mayor que el tratamiento T3 (22% de vacío). Se confirmó que, a mayor porcentaje de vacío, menor es la capacidad de flexión.

- Finalmente, en términos de permeabilidad, el tratamiento T2 con un 17% de vacío y el Huso 8 fue el más eficiente para gestionar el agua de lluvia en las vías de Abancay, ofreciendo una combinación ideal de permeabilidad, resistencia y drenaje.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. El concreto poroso

Aplicaciones

Debido a la gran cantidad de poros que tiene, el hormigón permeable se usa para construir pavimentos tanto en ciudades como en zonas rurales, lo cual mejora el drenaje de aguas pluviales. En áreas con lluvias frecuentes, se emplea como alternativa a los pavimentos tradicionales, este material ayuda a prevenir inundaciones y mejora la calidad del agua, ya que disminuye la escorrentía, que es el flujo de agua superficial.

(Quispe y Ticona, 2017).

Es una opción ideal para estacionamientos y otras zonas con poco tránsito el concreto poroso, donde el fin primordial es de controlar la esorrentía y la recarga de aguas subterráneas. Su uso en superficies de estacionamiento ayuda a reducir la creación de charcos y favorece la infiltración del agua. Este tipo de concreto presenta de las muchas alternativas una en especial a los métodos históricos de drenaje. Su permeabilidad propone el uso para en áreas peatonales y plazas, lo que no solo facilita la gestión de aguas pluviales, sino que también contribuye a la estética y al bienestar ambiental, creando espacios urbanos más sostenibles. (Velásquez, 2018). Si bien en pavimentos porosos no se utilizan en todos los casos, si se diseñan, construyen y mantienen adecuadamente, pueden ser una opción ecológica de bajo impacto que vale la pena considerar. Cambiando de óptica y yendo a la parte económica, según Guyer (2019), el concreto permeable podría ser una opción más rentable que el pavimento convencional, pues evita la necesidad de sistemas para retener agua y reduce la infraestructura de drenaje, lo que genera un ahorro económico. Entre sus usos más variados se incluyen se utiliza en el diseño de jardines y espacios verdes. Gracias a su capacidad para infiltrar agua, el concreto permeable contribuye a la sostenibilidad del paisaje, promoviendo la recarga de acuíferos y reduciendo la erosión del suelo (Medina, 2019). De acuerdo a lo que manifiesta Guyer (2019), el uso de concreto poroso comenzó en la parte occidental del mundo, donde inicialmente se empleaban diferentes tipos de agregados abiertos o pavimentos de césped para favorecer la absorción de agua en lugar de la esorrentía.

Aprovechamiento del concreto permeable

Velásquez (2018), afirma que el concreto permeable ofrece múltiples beneficios tanto en términos de sostenibilidad ambiental como de buscar una mejor forma de gestionar el agua de lluvia y, a la vez, optimizar las condiciones en las ciudades. Además, el concreto permeable contribuye a la adaptación al cambio climático,

ayudando a mitigar los efectos de las lluvias intensas y el aumento de las temperaturas urbanas. Su capacidad para reducir la escorrentía superficial favorece la conservación de los ecosistemas acuáticos cercanos, al disminuir la contaminación por sedimentos y productos químicos. También fomenta un entorno más saludable, al reducir la acumulación de agua estancada, lo que a su vez previene problemas como la proliferación de mosquitos. Por último, su integración en el diseño urbano puede transformar espacios públicos en áreas más accesibles y estéticamente agradables, mejorando la cohesión social y el bienestar comunitario.

Tabla 2

Ventajas y desventajas del concreto poroso

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Gestión eficaz de las corrientes de aguas pluviales con la disminución de alcantarillados y bordillos. - Disminución de la polución en los cuerpos de agua. - Reposición de mallas acuíferas. - Optimización del uso de los terrenos próximos a las variables. - Disminución de las islas térmicas. - Efecto de la estancación del agua. - Crédito de obras: Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental. 	<ul style="list-style-type: none"> - Para el tránsito de carga pesada el uso de áreas es limitado. - Urgencias especializadas en prácticas para construcción. - En el curado sus tiempos son mayores. - Resistencia al agua y al control en el hormigón fresco. - Ausencia a procedimientos estándares de pruebas. - Precaución y atención en diseños al emplear ciertos suelos, los que se expanden y los que se congelan. - Es probable que se necesite un cuidado especial en situaciones de altos niveles de aguas subterráneas.

Nota: Extraído de Alviter, Cárdenas & Jaimes, 2019

Propiedades en estado duro

Resistencia a la compresión

Es la máxima tensión de fuerza que un material puede soportar antes de fracturarse. Desde un punto de vista técnico, la resistencia a la compresión se determina al aplicar una fuerza progresiva sobre la parte superior de un objeto con medidas estándar hasta que se rompe (como un cilindro o cubo) hasta que el material se rompe, y se calcula como la relación entre la carga máxima aplicada y el área de la sección transversal del cuerpo de prueba. Se expresa generalmente en mega pascales (MPa) o kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm^2). (Quispe y Ticona, 2017).

Resistencia a la flexión

Aunque el módulo de ruptura es también una propiedad mecánica, se enfoca en medir qué tan bien un material soporta la deformación o la fractura sin romperse, cuando se somete a un esfuerzo de flexión o doblado. Es definida como la tensión máxima (o esfuerzo) que el material soporta antes de que ocurra la ruptura o la deformación plástica bajo una carga aplicada de manera no axial (es decir, una carga que genera una curva o flexión en el material). Se ha notado que el hormigón poroso suele presentar relaciones de flexión superiores ($>15\%$) frente al hormigón tradicional ($<15\%$) (Quispe y Ticona, 2017).

Contenido de vacío

Este se determina como la relación entre el volumen de vacíos (poros) dentro del concreto y el volumen total de la muestra. Un mayor contenido de vacío indica una mayor capacidad de filtración del agua, pero también puede implicar una menor resistencia a la compresión. De acuerdo con Ibrahim et al. (2016), se describe tiene una correlación directa con la permeabilidad del concreto. Cuanto mayor es el contenido de vacío, mayor será la capacidad del concreto para permitir el paso del agua, lo que lo hace más efectivo para la gestión de aguas pluviales.

Permeabilidad

Es asignada como una propiedad física de un material, que describe la capacidad de los materiales para permitir que líquidos o gases pasen por su estructura, generalmente a través de poros o fisuras. En términos técnicos, la permeabilidad se refiere a la facilidad con la que un fluido puede moverse a través de un medio poroso bajo la influencia de un gradiente de presión. La permeabilidad se cuantifica mediante la constante de permeabilidad, que depende de la naturaleza del material, la estructura porosa, la viscosidad del fluido, y el gradiente de presión aplicado. Se mide en unidades de darcy o milidarcy (md), aunque también puede expresarse en unidades de metros cuadrados (m^2) en contextos más generales. La constante de permeabilidad se obtiene mediante pruebas de laboratorio, como la prueba de permeabilidad de un suelo o de concreto, usando equipos que miden el flujo de agua o aire a través del material bajo condiciones controladas. (Bustamante, 2017).

Desgaste de abrasión e impacto

Este es un proceso de deterioro de los materiales debido a la acción combinada de fuerzas mecánicas que causan fricción y choque repetido. Este tipo de desgaste afecta principalmente a materiales expuestos a condiciones de fricción continua o golpes, lo que genera la remoción progresiva de partículas en la superficie del material, deteriorando su integridad estructural. (Trujillo & Quiroz, 2018).

Tabla 3

Características comunes del concreto poroso.

Propiedad	Rango
Densidad Unitaria (kg/m^3)	1600 - 2000
Fragua (h)	1
Vacíos (%)	15 - 25
Capacidad de drenaje($lt/m^2/min$)-(cm/s)	120 - 320 (0.20 - 0.54)
Fuerza de compresión. (Mpa)	3.5 - 28
Módulo de rotura (Mpa)	1 - 3.8

Nota: Tomada de Bustamante, 2017.

Diseño de mezcla

La elaboración del hormigón permeable conlleva la medición y mezcla de varios elementos, ya sean sólidos o líquidos, con el objetivo de generar el producto final, que es el hormigón ecológico o permeable.

Parámetros del diseño de mezcla

Durante la elaboración de la mezcla, el contenido de cemento debe tener un rango de 300 a 500 kg/m³, dependiendo de las condiciones específicas del proyecto, se deben usar agregados con una granulometría adecuada (tamaño máximo de partícula entre 9.5 mm y 19 mm) y alta porosidad para mejorar la infiltración de agua. La norma ACI 522R (2010) recomienda que la proporción de agua y cemento (la relación a/c) esté entre 0.28 y 0.40. Este rango es ideal para garantizar una buena resistencia del material sin sacrificar su capacidad de drenaje o permeabilidad, el contenido de vacíos se debe mantenerse entre 5% y 15% del volumen total para garantizar durabilidad sin reducir la permeabilidad. La mezcla debe ser homogénea y el curado debe ser adecuado (al menos 7 días) para asegurar resistencia y durabilidad. La mezcla debe diseñarse para obtener una permeabilidad en el rango de 0.01 a 0.1 cm/s.

Tabla 4

Proporción de materiales y rangos comunes.

Parámetros	Rangos	Unidad
Materiales cementales	270 - 415	kg/m ³
Agregados	1190 - 1480	kg/m ³
Relación agua - cemento	0.27 - 0.34	en peso
Relación agregado - cemento	4 - 4.5: 1	en peso
Relación agregado fino - agregado grueso	0 - 1: 1	en peso

Nota: Extraído de ACI 522R. Report on pervious concrete, 2010

Etapas para el diseño de mezcla

Analizando el hormigón permeable, el diseño se enfoca en aspectos distintos al diseño del hormigón convencional, que generalmente se basa en la relación entre agua y cemento o la resistencia del material. En contraste, el hormigón permeable pone mayor énfasis en la presencia de vacíos, los cuales deben superar el 15% del total de volumen, y el de pasta. Según el ACI 522R-10, es fundamental utilizar agregados con tamaños adecuados, como los HUSOS N°67 y 8, para garantizar la correcta permeabilidad. La relación entre los vacíos y la permeabilidad es crucial, ya que los vacíos presentes en la mezcla influyen directamente en la velocidad de infiltración del agua.

Se especifican a continuación las etapas:

ETAPA 1: Recopilar datos teóricos y prácticos (pruebas para el agregado)

La Tabla 5 Aquí se presentarán los resultados de los ensayos granulométricos y algunas características específicas de las muestras.

Tabla 5

Tabla de datos para el diseño de mezcla

Datos teóricos y prácticos

Resistencia diseñada
Peso compactado de agregado grueso
Gravedad específica del agregado grueso
Absorción del agregado grueso
Relación a/c
Contenido de vacío teórico (compactación ligera)
Tamaño Máximo Nominal
Gravedad específica - cemento (SOL tipo I)
Gravedad específica PET
Densidad del agua

Nota: Extraído de ACI 522R. Report on pervious concrete, 2010

ETAPA 2: Resolver la cantidad de agregado grueso

Para saber la cantidad de agregado grueso que se necesita, se usó el valor de la relación b/b_o , que se encuentra en la Tabla 6, de acuerdo al documento ACI 522 R-10.

Tabla 6

Valores efectivos para b/b_o

Porcentaje de agregado fino	b/b_o	
	ASTM C 33 Tamaño N° 8	ASTM C 33 Tamaño N° 67
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

Nota: b_o -Volumen solido de agregado grueso; b -Volumen seco varillado de agregado grueso.

El cálculo del peso del agregado grueso, se empleó con la fórmula siguiente:

$$W_{a_{seco}} = P.U.C_{grava} \times \frac{b}{b_o} \times V_{total}$$

Dónde:

$W_{a_{seco}}$: Peso del agregado grueso

$P.U.C_{grava}$: Peso Unitario Compactado

V_{total} : Volumen total de diseño ($1m^3$)

ETAPA 3: Ajustar la cantidad del agregado

Para este procedimiento, dentro del agregado húmedo solo se calculará su peso, utilizando la fórmula siguiente:

$$W_{a_{humedo}} = W_{a_{seco}} \times \%Abs$$

Dónde:

W_{humedo} : Peso del agregado grueso

W_{seco} : Peso del agregado grueso

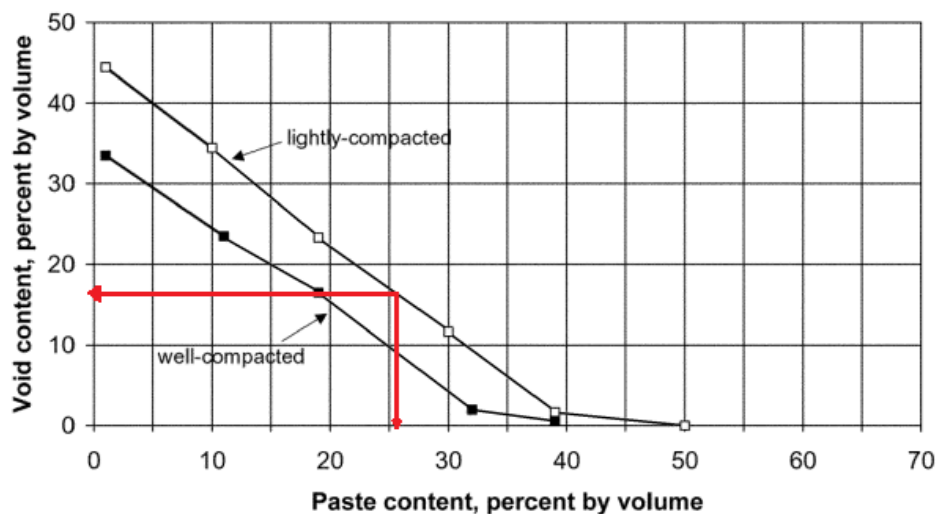
%Abs: Porcentaje de absorción

ETAPA 4: Resolver el volumen de la pasta

En el cálculo del volumen de la pasta, se debe emplear la Tabla 6, definida las directrices de ACI 522 R-10, donde se aplicó un 10% de vacíos teóricos compactando levemente.

Figura 1

La correlación a los 28 días del contenido de vacíos y la resistencia a la compresión, en relación a los tamaños de agregados de HUSO N°8.



Nota: El contenido de pasta oscila entre 25% - 27%, para un 16% de vacíos.

ETAPA 5: Resolver la cantidad de cemento

Para calcular el volumen de la pasta, simplemente se suma el volumen del agua y el volumen del cemento, como es ampliamente conocido. Después de probar diversas fórmulas, se ha optado por la fórmula 1, que establece el peso del cemento.

$$V_{\text{pasta}} = V_{\text{cemento}} + V_{\text{agua}}$$

$$V_{\text{pasta}} = \frac{W_{\text{cem}}}{Y_{\text{cem}}} + \frac{W_{\text{agua}}}{Y_{\text{agua}}}$$

$$V_{\text{pasta}} = \frac{W_{\text{cem}}}{Y_{\text{cem}}} + \frac{\frac{a}{c}(W_{\text{cem}})}{Y_{\text{agua}}}$$

$$W_{\text{cem}} = \frac{V_{\text{pasta}}}{\frac{1}{Y_{\text{cem}}} + \frac{\frac{a}{c}}{Y_{\text{agua}}}} \dots\dots\dots (1)$$

Dónde:

V_{pasta} : Volumen de la pasta

V_{cimento} : Volumen del cemento

V_{agua} : Volumen del agua

W_{cem} : Peso del cemento

W_{agua} : Peso del agua

Y_{cem} : Peso específico del cemento

Y_{agua} : Peso específico del agua

$\frac{a}{c}$: Relación agua cemento

ETAPA 6: Resolver la cantidad de los agregados (fino y grueso)

Se determina que el 90% corresponde al agregado grueso (grava), mientras que inicialmente se establece el 10% como agregado fino (arena). Para calcular las cantidades de ambos componentes, se aplicaron necesariamente las siguientes ecuaciones:

$$W_{\text{arena}} = W_{\text{humedo}} \times \% \text{ arena} \dots\dots\dots (a)$$

$$W_{\text{grava}} = W_{\text{humedo}} \times (100\% - \% \text{ arena}) \dots\dots\dots (b)$$

Dónde:

W_{arena} : Peso de agregado fino

W_{grava} : Peso de agregado grueso

$W_{\text{húmedo}}$: Peso de agregado fino húmedo

% arena : Porcentaje de agregado fino

ETAPA 7: Resolver el peso de los materiales

El contenido de cada material que se rellenará en la Tabla 5 se establece en el paso final. Además, se calculará el vacío (%) en comparación con el % de vacío teórico previamente establecido, el cual se obtiene al restar 1m^3 (conforme al diseño) al volumen total de todos los materiales usados.

$$W_{\text{arena}} = W_{\text{húmedo}} \times \% \text{ arena} \dots \dots \dots (a)$$

$$W_{\text{grava}} = W_{\text{húmedo}} \times (100\% - \% \text{ arena}) \dots \dots \dots (b)$$

Dónde:

V_{total} : Volumen total de diseño (1m^3)

V_s : Volumen total de materiales

% vacíos : Porcentaje de vacíos

Elaboración de especímenes de concreto poroso

El proceso de fabricación del concreto permeable se realiza de manera específica en cada tipo del diseño. En primer lugar, el agregado fino y grueso es puesto en el trompo mezclador, dejándolo girar durante un minuto si se utiliza este equipo. Luego, se agrega el cemento y se deja girar por un minuto adicional. Primero, se verifica

el asentamiento convencional antes de preparar los especímenes. Luego, se incorporan las fibras sintéticas según el diseño y terminando, se agrega agua, dejando mezclar durante 120 segundos. Se vierte la mezcla en moldes antes de engrasarlos con petróleo, esto para facilitar el desmoldeo. El procedimiento para llenar los moldes es el siguiente: primero, se colocan cuatro capas de material. Cada capa se compacta con diez golpes, usando un pisón que cae desde 305 mm de altura para que la mezcla quede uniforme. La última capa se llena con un exceso de 15 mm, que después se retira para nivelarla con la parte superior del molde. Por último, las piezas se envuelven en plástico para continuar con el proceso de curado. (Quispe & Ticona, 2017).

Curado de especímenes

Después de un día, los especímenes se desmoldan y se identifican. Hace referencia al proceso mediante el cual los moldes con muestras de concreto (especímenes) se mantienen en condiciones controladas de temperatura y humedad para que el concreto pueda desarrollar correctamente sus propiedades, como su resistencia y durabilidad. Durante el curado, el concreto sigue hidratándose, lo que mejora su cohesión y evita que se seque demasiado rápido, lo que podría causar grietas y reducir su resistencia. (Quispe & Ticona, 2017).

Ensayos del concreto poroso

Se realizan para evaluar sus características clave, como la permeabilidad, resistencia, durabilidad y capacidad de carga. Estos ensayos son fundamentales para garantizar que el concreto poroso cumpla con los requisitos específicos de las aplicaciones en las que se utiliza, como pavimentos permeables, sistemas de drenaje o estructuras de filtración. A continuación, se describen los ensayos más comunes: (Quispe & Ticona, 2017).

- En estado fresco

a) Ensayo de revenimiento

De acuerdo con la norma ASTM C143/C143M (2015) y NTP 339.035 (2009), el procedimiento comienza con la humidificación del molde, la plancha y las herramientas que se utilizarán. Ahora, se pone una plancha de metal en el suelo, se centra el molde sobre ella y se sujeta firmemente con los pies. Este proceso consiste en llenar la mezcla en tres capas dentro del molde, compactándolas cuidadosamente mediante golpes para asegurar su consistencia. Después de nivelar la superficie con una varilla y retirar el material sobrante, el molde se extrae verticalmente y se realiza una medición precisa de la altura desde el centro que la muestra se desplace hasta la parte de arriba del molde (Quispe & Ticona, 2017).

b) Ensayo de contenido de vacío fresco y peso unitario

ASTM C1688/C1688M (2008) esta norma afirma que el procedimiento inicia con la humidificación del interior del medidor. A continuación, se coloca en dos capas la mezcla de concreto poroso alrededor del perímetro de la abertura. Para compactar cada capa, se usa un martillo Proctor estándar, golpeando 20 veces desde una altura de 305 mm, garantizando una distribución uniforme y una compactación homogénea. Es crucial que para la capa ultima sobre alrededor de 3 mm. ya en la parte final, la superficie se nivela con una plancha metálica, dejando una superficie plana antes de proceder a pesar el recipiente junto con el concreto permeable.

- En estado duro

a) Ensayo de Contenido de vacíos

El análisis del contenido de vacío se lleva a cabo Según las normas ASTM C642 (2013a) y NTP 339.046 (2008), las muestras se colocan en un horno a 110°C por 24 horas para secarlas. Primero se toma una muestra representativa del concreto. Luego, se mide su volumen total, lo cual generalmente se realiza mediante el método de

desplazamiento de agua. En este proceso, la muestra se sumerge completamente en agua, y el volumen de agua desplazada es equivalente al volumen total de la muestra, incluidos los vacíos presentes.

Preparación de las muestras antes de realizar las pruebas.

Las muestras de ensayo deben tener un volumen mínimo de 350 cm^3 o una masa aproximada de 800 g. Para obtenerlas, se extrajo un disco con un espesor de $50 \pm 3 \text{ mm}$ de una probeta de concreto cilíndrica de 4" de diámetro y 8" de altura. Esto se logró al realizar un corte central en uno de los cilindros y otro corte adicional para obtener la muestra final. Los discos de los extremos fueron descartados.

Procedimiento

Como primer paso se tiene el secado del espécimen, en un horno (estufa) a $110 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 24 horas. Tras este período, se retiran y se dejan enfriar a una temperatura de 20 a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ en un desecador. Luego, se calcula la masa inicial (primera masa). Los especímenes se vuelven a colocar en el horno por otras 24 horas y se repite el proceso de pesaje hasta obtener una masa siguiente (masa dos). Si la diferencia entre las dos masas es menor al 0.5%, se considera que la masa seca es el valor final. Si no es así, se repite el procedimiento hasta que se cumpla este criterio. La masa seca se denomina como: A.

Para determinar la masa por inmersión en agua, las probetas se sumergen en agua durante 48 horas, tras lo cual se calcula la primera masa. Luego, se vuelven a sumergir por 24 horas más y se calcula la segunda masa, verificando si se cumple con el parámetro previamente descrito. El valor final de la masa saturada de superficie seca tras la inmersión en agua se designa como: B.

Tras la preparación, las probetas se sumergen en un recipiente con agua y se someten a ebullición por un periodo de 5 horas. Posteriormente, se permite su

enfriamiento en el mismo recipiente durante no menos de 14 horas, hasta que la temperatura se estabilice entre 20 y 25 °C. En este punto, se determina la masa saturada de superficie seca, que se designa como C.

Por último, tras el proceso de inmersión y ebullición, las probetas se suspenden en agua con un alambre para medir su masa sumergida aparente, valor que se denomina como D.

Formula de porosidad o contenido de vacíos (C.V.)

$$C.V. = \left(\frac{C-A}{C-D} \right) \times 100$$

Dónde:

C.V: Contenido de vacíos

A: Masa de la probeta seca en el horno (g)

B: Masa de la probeta luego de inmersión en agua (g)

C: Masa de la probeta después de inmersión y ebullición en agua (g)

D: Masa aparente de la probeta después de inmersión y ebullición en agua (g)

b) Ensayo de resistencia a la compresión y flexión

Estas pruebas se hacen conforme a la norma ASTM C39/C39M (2017), empleando muestras a los 7, 14 y 28 días. Estos son evaluados en una prensa hidráulica que puede cargar 50,000 kg. Para estos ensayos, se utilizan discos de neopreno en cápsulas de metal para asegurar una repartición homogénea de la carga, ya que la superficie del hormigón permeable es irregular.

c) Ensayo de porosidad o tasa de percolación del concreto poroso

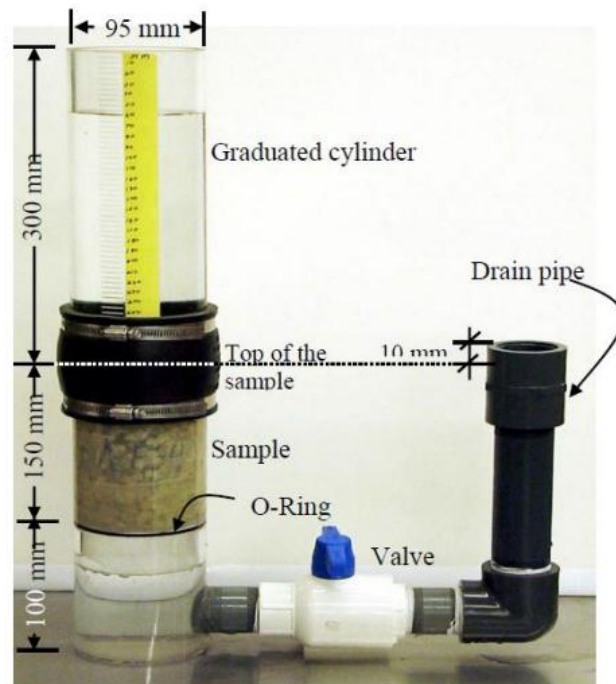
El procedimiento se lleva a cabo prosiguiendo las directrices de la norma ACI 522R (2010), recomienda emplear un permeámetro de carga constante, donde se introduce una probeta cilíndrica de concreto permeable. Este ensayo permite determinar la permeabilidad del concreto, es decir, su aptitud para permitir el flujo de agua a través de su estructura. Para realizarlo, se preparan especímenes representativos del concreto permeable, que deben cumplir con las condiciones de curado previas. Se aplica un flujo constante de agua a través de la muestra y se mide el caudal que pasa por el concreto. En el segundo, se mide la variación de la tasa de filtración bajo condiciones de presión cambiantes. La tasa de percolación se calcula con la ley de Darcy, una fórmula que relaciona la cantidad de agua que fluye a través de un material con la diferencia de presión, el área y la longitud de la muestra, lo que permite determinar cuán fácilmente el agua puede atravesar el concreto.

De acuerdo a lo que dice la norma ACI 522R (2010), este establece que el concreto permeable debe tener una permeabilidad mínima que permita la adecuada infiltración de agua, con valores típicos que van de 0.1 a 1.0 cm/s, dependiendo del tipo de aplicación. Además, el contenido de vacíos debe ser suficiente, superando generalmente el 15% del volumen total del concreto, para garantizar que el concreto sea lo suficientemente permeable como para filtrar el agua adecuadamente.

Según el ACI 522R (2010) proporciona los lineamientos necesarios para realizar estos ensayos de manera precisa y estandarizada, garantizando la eficiencia del concreto permeable en diversas aplicaciones. Este proceso establece repeticiones por triplicado en cada espécimen y se promedia los tiempos. El cálculo de la permeabilidad se realiza mediante la esta ley. Este ensayo se realizó, gracias a la fabricación de un permeámetro basado en el modelo instaurado por el ACI-522R-10.

Figura 2

Permeámetro de carga variable según el ACI 522R-10.



Nota: Extraído de ACI 522R. Report on pervious concrete, 2010

Ley de Darcy

$$K = \frac{L \cdot A_M}{t \cdot A_E} \cdot \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right)$$

Dónde:

K: Coeficiente de permeabilidad (cm/s)

L: Longitud de muestra (cm)

A_M : Área de la muestra (cm²)

A_E : Área de tubería de carga (cm²)

t: Tiempo de descarga de h_1 a h_2 (s)

h_1 : Altura del agua, respecto al nivel de referencia (cm)

h_2 : Altura hasta descarga del agua, respecto al nivel de referencia (cm)

Varias investigaciones relacionadas al tema demostraron que para que algo funcione correctamente, es necesario que al menos el 15% de su volumen total esté compuesto por vacíos de aire. Esto significa que la proporción de aire dentro del material no puede ser inferior a este porcentaje, este es requerida para lograr una percolación adecuada. Esto se debe cuando el contenido de vacíos va incrementando paulatinamente, la tasa de percolación también lo hace, mientras que existe una disminución de la resistencia a la compresión. Por lo tanto, el desafío al diseñar la mezcla de concreto permeable es equilibrar el porcentaje de vacíos más alto posible con el objetivo de obtener la mayor resistencia a la compresión del material.

3.2.2. Polímeros en el concreto (PC)

Los polímeros en concreto hacen referencia a aquellas sustancias sintéticas o naturales que se añaden a las mezclas de concreto para mejorar ciertas propiedades del material, como la durabilidad, la resistencia, la impermeabilidad o la flexibilidad. Los polímeros son macromoléculas formadas por unidades repetitivas llamadas monómeros, y su incorporación al concreto puede alterar su comportamiento de manera significativa (ACI, 2014). Entre las ventajas del concreto polimérico: mejoran su durabilidad al hacerlo más resistente a agentes químicos y corrosivos, y aumentan su flexibilidad, reduciendo las grietas. También mejoran la impermeabilidad, protegiendo la estructura del agua y evitando la corrosión del acero. Los polímeros mejoran la adherencia entre el concreto y otros materiales, y facilitan su manejo al hacer la mezcla más fluida. En conjunto, estos beneficios hacen que el concreto sea más resistente, duradero y adecuado para diversas aplicaciones en construcción. Las aplicaciones más comunes de los polímeros en el concreto se aplican en concreto de alta resistencia, pavimentos, concreto autocompactante, y en estructuras subterráneas. Mejoran la durabilidad, resistencia al desgaste y a la corrosión. Además, optimizan la impermeabilidad y

flexibilidad del concreto. Son clave en la construcción marina y en fundaciones. También facilitan el manejo y la fluidez del concreto. (Bustamante, 2017).

Hormigón modificado con polímeros (látex)

Los polímeros adicionados al concreto llamado concreto modificado con polímeros, usualmente látex, es obtenido incorporando látex (polímero) a una mezcla de cemento Portland durante su proceso de preparación. El hormigón modificado con polímeros es una mezcla de concreto que incorpora polímeros (generalmente en forma de látex o resinas) para mejorar sus propiedades. Los polímeros actúan como un aglutinante adicional que modifica la estructura del concreto, proporcionando beneficios como una mayor adhesión a superficies, mayor flexibilidad y resistencia al agrietamiento. También incrementan la impermeabilidad, haciendo que el hormigón sea más resistente al paso de agua y a la penetración de agentes corrosivos. Este tipo de concreto se utiliza comúnmente en revestimientos, pavimentos y en la reparación de estructuras donde se requiere una mayor durabilidad y resistencia a condiciones extremas. (Bustamante, 2017).

Tabla 7

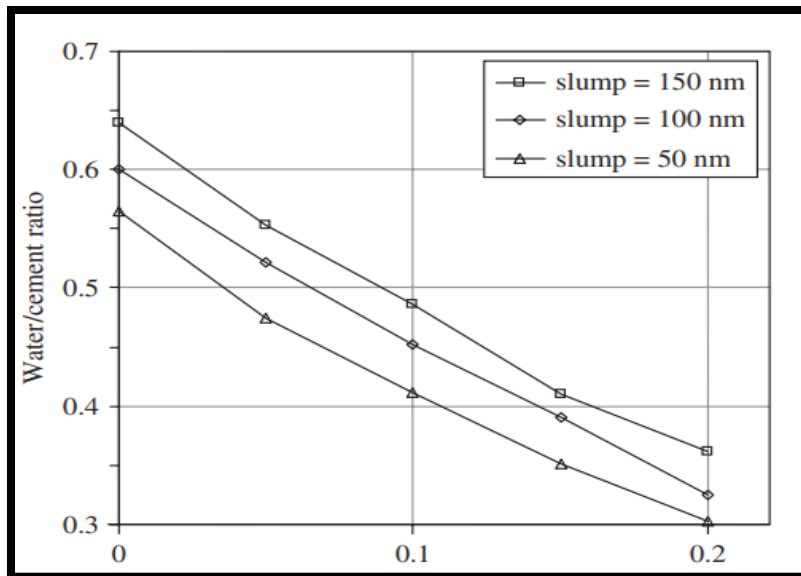
Consistencia en estado fresco del concreto.

Látex Type.	Acronym.	Solidos (%)	Viscos. (cps)	MFFT (°C)	pH
Styrene - Butadiene	BS	47	20 - 50	12	10
Acrylic copolymers	APE	47	20 - 100	10 - 12	9 - 10
Styrene acrylic copolymers	AS	48	75 - 5000	10 - 18	6 - 9
Polyvinyl acetate	APV	56	1100 - 2600	16	4 - 5

Nota: Extraído Tomada de Bustamante, 2017.

Figura 3

Trabajabilidad del hormigón mejorado con polímero de estireno/butadieno.



Nota: Extraído Tomada de Bustamante, 2017.

Tabla 8

Permeabilidad de diferentes tipos de hormigón.

Permeability Rating	Charg. Passed. (C)	Tipy of Concrete
Alto	>4000	High wáter/cement, conventional (>0.6) PCC.
Moderado	2000 - 4000	Moderate wáter/cement, conventional (0.4 - 0.5) PCC.
Bajo	1000 - 2000	Low wáter/cement, conventional (<0.4) PCC.
Muy Bajo	100 - 1000	Latex-modified concrete, internally sealed concrete
Despreciable	< 100	Polymer-impregnated concrete, polymer concrete

Nota: Extraído de Bustamante, 2017.

Tabla 9

Propiedades mecánicas típicas de los hormigones que contienen polímeros.

	PC		LMC			PIC	
	Polyester Polymer/Ag. Ratio of 1:10	Polymerized (MMA) 01:15	Control Moist cured		LMC Containing Styrene Butadiene, Air Cured	Control Unimpregnated	MMA Impregnated Thermal- Catalytical Polymerization
Compressive							
strength (MPa)	125	140	40	10	33	37	125
Tensile							
strength (MPa)	14	10	3.7	2.1	4.3	2.9	10
Flexural							
strength (MPa)	35	21	7.4	4.2	10	5.1	16
Elastic							
modulus (GPa)	35	38	20	—	11	25	43

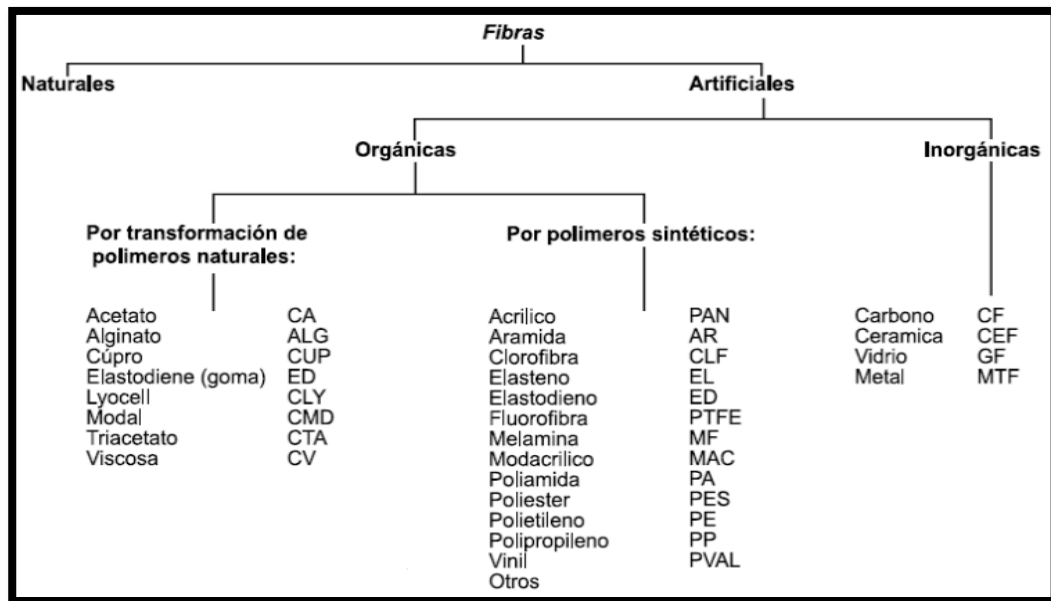
Nota: Extraído de *Bustamante, 2017*.**3.2.3. Fibras en concreto**

De acuerdo a lo que manifiestan Barrios y Ramírez (2018), para reforzar de manera efectiva las estructuras de concreto, se deben utilizar fibras discontinuas. Esto significa que las fibras que mejoran la resistencia del material son aquellas que no son continuas, sino que se distribuyen de forma irregular en el concreto. Esta distribución fragmentada ayuda a crear una red interna que mejora las propiedades mecánicas del material, como su resistencia a la tracción y la flexión, las que podrían ser flexibles y/o

rígidas, que se distribuyen de forma equitativa y discreta en la matriz para otorgar al material uniformidad e isotropía. La efectividad del refuerzo y la transferencia de tensiones a través de las fibras se basan en diversos elementos, en particular en su naturaleza, tipo y propiedades particulares.

Figura 4

Clasificación de fibras.



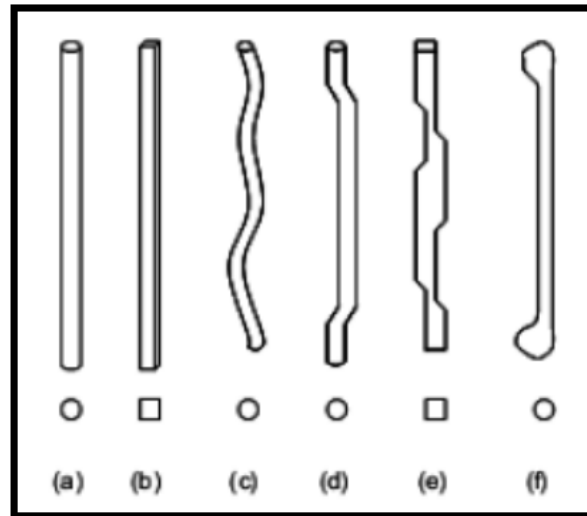
Nota: Extraído de Montalvo, 2017.

Formas de las fibras en concreto

Una amplia variedad de formas presenta las fibras de refuerzo, que van desde las rectas hasta las onduladas y hasta con corrugación, con las partes finales conformados o dentados, entre otras opciones. Es más, estas fibras adoptan geometrías diversas, como cuadradas, rectangulares, circulares o planas (ver Figura 5).

Figura 5

Forma de fibras: a, b, c, d, e, f; diferentes formas de fibras.



Nota: Extraído de Montalvo, 2017.

Principalmente, el "corte" o silueta de las fibras, está directamente relacionada con el material del que están hechas y con el método de fabricación que se utilizó. Al tratar de que las fibras operen en microfisuras, es necesario un gran número de fibras de diámetro reducido. Para asegurar la capacidad de trabajo del material, se recomienda el empleo de fibras de corta duración. Por otro lado, Para controlar la formación de macrofisuras en un material, es fundamental que las fibras utilizadas tengan la longitud correcta. Sin embargo, por razones de usabilidad, se deben emplear fibras de longitud más larga que las de longitud corta.

El aumento de la ductilidad del material y de la resistencia vertical, se consigue utilizando un gran número de fibras cortas. En paralelo, para incrementar el esfuerzo vertical y horizontal de la estructura, es necesario añadir un número reducido de fibras de longitud larga.

3.2.4. Fibras de polipropileno (PP)

Son fibras sintéticas derivadas del polipropileno, un tipo de plástico

termoplástico. Estas fibras se utilizan comúnmente en algunas industrias que se dedican netamente a las construcciones, especialmente en la fabricación de hormigón y concreto, para mejorar sus propiedades. Las fibras de polipropileno (PP) son lianas, resistentes a la abrasión y tienen una alta resistencia química, lo que las hace ideales para reforzar materiales expuestos a condiciones agresivas, como humedad, productos químicos o cambios térmicos. (García y Córdova, 2021. Basado en Aire y Dávila, 2011).

En el método actual de edificación, se incorporan fibras discontinuas en cantidades relativamente reducidas, que oscilan entre el 0.1 y el 0.7%. (García y Córdova, 2021. Según Aire y Dávila, 2011)

Figura 6

Fibras de polipropileno (PP). Extraído de Sika Perú



Nota: Extraído de Montalvo, 2017.

Para potenciar las características del hormigón permeable, se utilizaron fibras de polipropileno de la marca Sikafiber-PE, cuyas características relevantes se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 10*Algunas características de fibras (Sikafiber-PE) de PP*

Descripción	Rango	Unidad
Approximate actual density	1.17	kg/l
Modulus of elasticity	15000	kg/cm ²
Elongation at break	20 – 30	%
Tensile strength	300 – 350	kg/cm ²
Length	19	mm
Durability	Indefinido	-

Nota: Extraído de características técnicas SIKAFIBER PE (fibra de PP), de Building Trust SIKA

Fibras como refuerzo en el concreto

El porcentaje más habitual del volumen de concreto está en el rango de entre el 0,2% y el 0,8%; el empleo más común de las llamadas macrofibras son las fibras artificiales y las fibras de metal. Difieren entre 50 um y 2000 um. El vínculo entre la longitud y el diámetro (L / d) de aquellas fibras de gran tamaño fluctúa entre 20 y 100 (Amaral et al, 2017).

Las microfibras se han creado con el objetivo de prevenir que el hormigón se fracture en estado fresco o en 24 horas. Mindess (2017) indica que el incremento específico es del 0,03% al 0,15%. La fibra de Polipropileno es la más habitual, con una variación de peso que va desde 0,3kg / m³ y 1,2kg / m³ de hormigón. Son sumamente reducidas estas dosis, pero altamente eficaces, impidiendo que el hormigón se fracture a causa de la contracción plástica (Amaral et al, 2017).

Las microfibras de Polipropileno tienen la capacidad de generar una mayor resistencia a las variaciones térmicas, distribuir de manera homogénea sus características del hormigón, impermeabilizar los elementos y extender su durabilidad (Amaral et al, 2017).

Fibras de Polipropileno como aditivo en el concreto

Estas fibras se presentan en formas de monofilamento o multifilamento y hasta el momento se ha empleado extensamente. De acuerdo con Paula Dávila, tras múltiples investigaciones sobre la cantidad adecuada de concreto se examinó a la primera transnacional de USA que fabricó polipropileno (PP) y microfibras de polipropileno (PP) comercial, este estableció que la cantidad optima de concreto tendría que ser 454 g / yd³. Seguidamente, se establecieron una cantidad de 450 g / m³ bastaban para eliminar la rotura de plástico. Es así que, en Latinoamérica, se ha normalizado la dosis a 600 g / m³, es así que para la industria del concreto la proporción optima es de 450 g / m³. No obstante, al aplicar este procedimiento, además de los métodos convencionales, se utiliza una fórmula alternativa para mejorar el concreto, especialmente cuando se busca obtener un mejor rendimiento con una dosis más baja (Aguilar, 2016).

3.3. Definición de términos

a) Polipropileno (PP)

El polipropileno es un termoplástico comúnmente empleado en múltiples usos gracias a su versatilidad. Su incorporación en forma de fibras en el hormigón permeable incrementa su resistencia mecánica mientras conserva la permeabilidad requerida para la infiltración del agua (Siddique, 2018).

b) Adición de PP comercial en concreto

De acuerdo a lo que dice Kangavara (2018), es un procedimiento en el que se

emplean fibras de polipropileno como un añadido parcial en la fabricación de hormigón. Esto conlleva la necesidad de pesar las fibras PP y simultáneamente deben ser incluidas en la mezcla de hormigón durante su producción.

c) Fibras en concreto

Según lo que afirman Barros y Ramírez (2018), las fibras en concreto como "hilos o filamentos de materiales diversos que se distribuyen uniformemente en la mezcla de concreto para incrementar la resistencia a la tracción y disminuir la formación de grietas". Según ellos, las fibras actúan de manera similar a un refuerzo disperso, proporcionando un "refuerzo integral" al concreto.

d) Concreto permeable

De acuerdo con Medina (2019), el hormigón permeable está principalmente compuesto por cemento Portland estándar, agregados entre ellos el grueso (máximo tamaño nominal de 3/4" - 3/8") y agua. En contraste con el hormigón convencional, que normalmente ocupa los espacios entre los agregados gruesos, el hormigón permeable posee un número reducido de agregado fino o incluso su total ausencia, lo que incrementa su porosidad (cerca del 20%) y favorece el drenaje del agua, un atributo que el hormigón denso convencional de alta resistencia no tiene.

e) Resistencia a la compresión

Quispe y Ticona (2017) sostienen que básicamente es una medición, que indica la resistencia de fuerzas hacia el concreto, siendo fundamental para evaluar su rendimiento estructural. Es así que la mayor cantidad de autores concuerdan en que esta propiedad se obtiene mediante pruebas estándar, como las pruebas de compresión en cilindros, y este método se emplea para evaluar si el concreto es adecuado para un uso o una aplicación específica. En otras palabras, ayuda a verificar si el concreto cumple con los estándares de calidad en diversas aplicaciones de construcción.

f) Resistencia a flexión

Se afirma que es una medida crucial, que manifiesta la capacidad de soporte de esfuerzos de flexión del concreto sin que se produzcan fracturas o fallos. Esta propiedad es especialmente relevante para elementos estructurales que experimentan cargas distribuidas, como vigas y losas, y se evalúa mediante pruebas de flexión para determinar la durabilidad y desempeño del concreto en estas condiciones (Quispe y Ticona, 2017).

g) Permeabilidad

Según Bustamante (2017), es su capacidad para dejar que el agua o los gases lo atraviesen. Esta característica es vital para la durabilidad del concreto, ya que, si es demasiado permeable, se vuelve más vulnerable a la corrosión de las armaduras internas y a otros daños que pueden ser causados por la entrada de sustancias perjudiciales. En resumen, un concreto con baja permeabilidad es más resistente y dura más tiempo, la permeabilidad depende de la porosidad, la densidad y la calidad de la mezcla del concreto.

h) Porosidad en concreto

Lo que Ibrahim et al. (2016) detalla que es la cantidad de vacíos dentro de su estructura, los cuales influyen en su permeabilidad y durabilidad. Un concreto con alta porosidad tiende a ser más permeable y susceptible a la corrosión, lo que afecta negativamente su resistencia a largo plazo. La porosidad está estrechamente relacionada con la calidad de la mezcla, el volumen de agua utilizada y el tipo de agregados empleados.

i) Esfuerzo

Es la carga aplicada que genera deformaciones en el material. Estas

deformaciones pueden ser tanto elásticas como plásticas, y dependen del tipo de esfuerzo (compresión, tracción, flexión) al que se somete el concreto. También se manifiesta como aquella propiedad para resistir diferentes tipos de esfuerzo, especialmente la compresión, es esencial para determinar su desempeño estructural. (Quispe y Ticona, 2017).

j) Velocidad de flujo

Lo que señala Bustamante (2017), es la rapidez con la que un fluido, como el agua, se desplaza a través de un concreto permeable. La velocidad de flujo Esta propiedad está estrechamente relacionada con la capacidad de un material para dejar pasar fluidos (su permeabilidad) y depende directamente de dos factores: la cantidad total de espacio vacío en su interior (porosidad) y la forma en que esos espacios están conectados entre sí (conectividad de los poros). Una mayor velocidad de flujo indica una mayor capacidad de drenaje y una mejor eficiencia del concreto en la gestión del agua.

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de investigación

Tipo de investigación

Para este tipo de investigaciones se determinó que su naturaleza es aplicada, ya que facilita la resolución de un problema y se clasifica en una investigación experimental (Hernández y Mendoza, 2018). En este estudio se examina el impacto de las fibras de polipropileno en las características del hormigón permeable.

Nivel de investigación

Tiene un carácter descriptivo ya que se recolectaron datos para las dos variables, con el objetivo de verificar la hipótesis. El objetivo principal fue detallar de manera sistemática los hechos y propiedades del espécimen (concreto permeable añadiendo fibras de PP).

De acuerdo con Hernández y Mendoza (2018), manifiesta al grado de investigación descriptiva, lo cual es fundamentada en detallar las particularidades de una experimentación o una cantidad de individuos de la misma especie bajo análisis. Esta clase de estudio tiene como objetivo determinar las características relevantes del propósito de análisis, y se desvincula en aclarar los efectos y las causas, sino en especificar las propiedades y sucesos que se detectan. El propósito principal es recopilar datos exhaustivos que faciliten la descripción correcta de la situación o fenómeno en estudio.

4.2. Ámbito temporal y espacial

Ámbito temporal

Esta tesis se realizó el presente año 2024.

Ámbito espacial

Todo el trabajo se pudo desarrollar en la ciudad de Abancay - Apurímac.

4.3. Población y muestra

- Población

Lo que afirma Hernández y Mendoza (2018), las poblaciones hacen referencia al grupo limitado o ilimitado de individuos que poseen una o más características compartidas que se investigan. En esta investigación se consideraron probetas permeables, de formas cilíndricas (exactamente 72 unidades) como así también las llamadas probetas prismáticas (exactamente 16 unidades), estas con un diseño de la siguiente manera: sin reemplazar el PP (grupo de control), y con reemplazar el 0.5% de PP, 1% de PP y 1.5% de PP (grupos experimentales).

- Muestra

Como sostienen Hernández y Mendoza (2018): “La denominada muestra censal es una de las técnicas para recolectar datos en la que se incluye a toda la población objeto de estudio, sin excluir a ningún miembro. Es decir, en lugar de seleccionar una muestra representativa de un grupo, todos los elementos de la población o universo se hace un estudio de los cuales a su vez se hace un análisis”. Así, empleamos muestras consideradas censales ya que utilizamos el total de la población representada como 100%, lo que permite un número controlable y adecuado para la investigación.

A continuación, todas las muestras empleadas están definidos para cada objeto propuesto:

- **Resistencia a la compresión**

Grupo Experimental 1 (G₁): 18 testigos de concreto poroso cilíndricas,

dimensiones: 4" diámetro x 8" altura, diseñadas y hechas con adición de 0.5% de PP.

Grupo Experimental 2 (G₂): 18 testigos de concreto poroso cilíndricas, dimensiones: 4" diámetro x 8" altura, diseñadas y hechas con adición de 1% de PP.

Grupo Experimental 3 (G₃): 18 testigos de concreto poroso cilíndricas, dimensiones: 4" diámetro x 8" altura, diseñadas con adición de 1.5% de PP.

Grupo Experimental 4 (G₄): 18 testigos de concreto poroso cilíndricas, dimensiones: 4" diámetro x 8" altura, diseñadas y hechas sin adición de PP.

Tabla 11

Códigos para la resistencia a compresión, para todos los grupos (control-G₄ y experimentales-G₁, G₂, G₃).

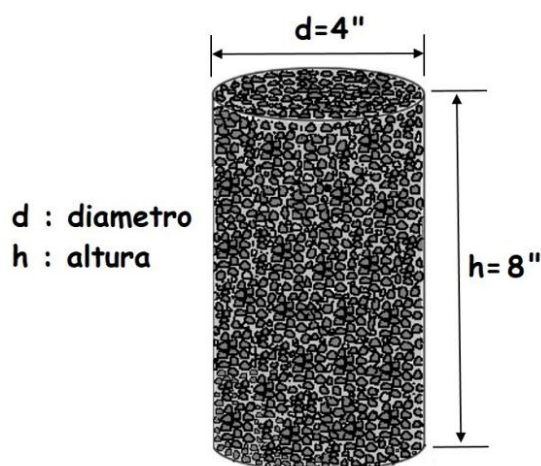
	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄
Edad de ensayo	Códigos de grupo	Códigos de grupo	Códigos de grupo	Códigos de grupo
7 días	C-0.5%PP-7-A	C-1%PP-7-A	C-1.5%PP-7-A	C.P-7-A
	C-0.5%PP-7-B	C-1%PP-7-B	C-1.5%PP-7-B	C.P-7-B
	C-0.5%PP-7-C	C-1%PP-7-C	C-1.5%PP-7-C	C.P-7-C
	C-0.5%PP-7-D	C-1%PP-7-D	C-1.5%PP-7-D	C.P-7-D
	C-0.5%PP-7-E	C-1%PP-7-E	C-1.5%PP-7-E	C.P-7-E
	C-0.5%PP-7-F	C-1%PP-7-F	C-1.5%PP-7-F	C.P-7-F
14 días	C-0.5%PP-14-A	C-1%PP-14-A	C-1.5%PP-14-A	C.P-14-A
	C-0.5%PP-14-B	C-1%PP-14-B	C-1.5%PP-14-B	C.P-14-B

	C-0.5%PP-14-C	C-1%PP-14-C	C-1.5%PP-14-C	C.P-14-C
	C-0.5%PP-14-D	C-1%PP-14-D	C-1.5%PP-14-D	C.P-14-D
	C-0.5%PP-14-E	C-1%PP-14-E	C-1.5%PP-14-E	C.P-14-E
	C-0.5%PP-14-F	C-1%PP-14-F	C-1.5%PP-14-F	C.P-14-F
28 días	C-0.5%PP-28-A	C-1%PP-28-A	C-1.5%PP-28-A	C.P-28-A
	C-0.5%PP-28-B	C-1%PP-28-B	C-1.5%PP-28-B	C.P-28-B
	C-0.5%PP-28-C	C-1%PP-28-C	C-1.5%PP-28-C	C.P-28-C
	C-0.5%PP-28-D	C-1%PP-28-D	C-1.5%PP-28-D	C.P-28-D
	C-0.5%PP-28-E	C-1%PP-28-E	C-1.5%PP-28-E	C.P-28-E
	C-0.5%PP-28-F	C-1%PP-28-F	C-1.5%PP-28-F	C.P-28-F

Nota: Elaboración propia

Figura 7

Espécimen modelo (resistencia a compresión).



Nota: Elaboración propia

- **Resistencia a flexión**

Grupo Experimental 1 (G_1): 6 probetas testigo de concreto poroso prismáticas de 6"x 6"x21", diseñados y hechos con adición: 0.5% - PP.

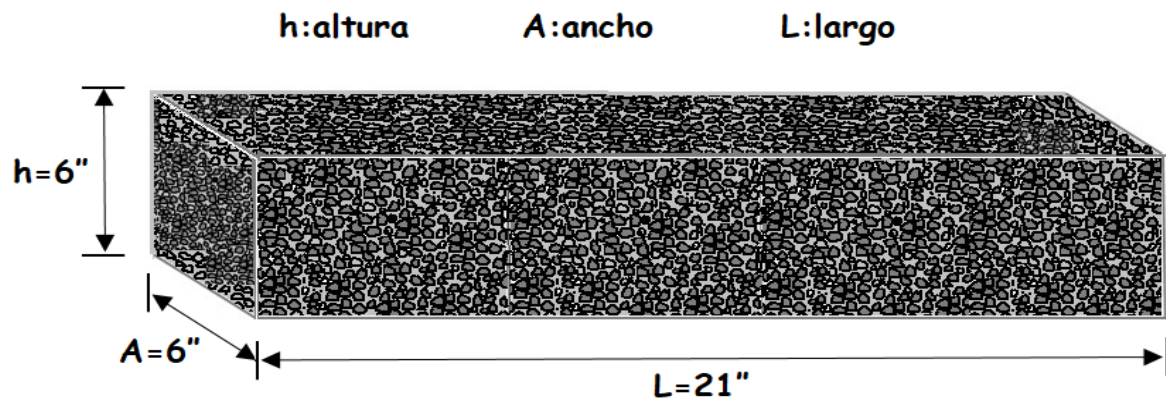
Grupo Experimental 2 (G_2): 6 probetas testigo de concreto poroso prismáticas de 6"x 6"x21", diseñados y hechos con adición: 1% - PP.

Grupo Experimental 3 (G₃): 6 probetas testigo de concreto poroso prismáticas de 6"x 6"x21", diseñados y hechos con adición: 1.5% - PP.

Grupo Experimental 4 (G₄): 6 probetas testigo de concreto poroso prismáticas de 6"x 6"x21", diseñados y hechos sin adición de PP.

Figura 8

Espécimen modelo (resistencia a flexión).



Nota: Elaboración propia

Tabla 12

Códigos para la resistencia a flexión, para todos los grupos (control-G₄ y experimentales-G₁, G₂, G₃).

	(G ₁)	(G ₂)	(G ₃)	(G ₄)
Edad de ensayo	Códigos de grupo	Códigos de grupo	Códigos de grupo	Códigos de grupo
	C.V0.5%PP-28-A	C.V1%PP-28-A	C.V1.5%PP-28-A	C.V-PP-28-A
	C.V0.5%PP-28-B	CV1%PP-28-B	C.V1.5%PP-28-B	C.V-PP-28-B
	C.V0.5%PP-28-C	C.V1%PP-28-C	C.V1.5%PP-28-C	C.V-PP-28-C
28 días	C.V0.5%PP-28-D	C.V1%PP-28-D	C.V1.5%PP-28-D	C.V-PP-28-D
	C.V0.5%PP-28-E	C.V1%PP-28-E	C.V1.5%PP-28-E	C.V-PP-28-E
	C.V0.5%PP-28-F	C.V1%PP-28-F	C.V1.5%PP-28-F	C.V-PP-28-F

Nota: Elaboración propia

- **Para la permeabilidad**

Para cada grupo experimental, se empleó una probeta cilíndricas de hormigón permeable. Es importante señalar que el ensayo se llevó a cabo en sextuplicado (seis repeticiones).

Grupo Experimental 1 (G₁): 18 testigos de concreto poroso cilíndricas, dimensiones: 4" diámetro x 8" altura, diseñadas y hechas con adición de 0.5% de PP.

Grupo Experimental 2 (G₂): 18 testigos de concreto poroso cilíndricas, dimensiones: 4" diámetro x 8" altura, diseñadas y hechas con adición de 1% de PP.

Grupo Experimental 3 (G₃): 18 testigos de concreto poroso cilíndricas, dimensiones: 4" diámetro x 8" altura, diseñadas con adición de 1.5% de PP.

Grupo Experimental 4 (G₄): 18 testigos de concreto poroso cilíndricas, dimensiones: 4" diámetro x 8" altura, diseñadas y hechas sin adición de PP.

Tabla 13

Códigos para la permeabilidad, para todos los grupos (control-G₄ y experimentales-G₁,G₂,G₃).

	(G₁)	(G₂)	(G₃)	(G₄)
Código de muestra	P.C-0.5%P.P	P.C-1%P.P	P.C-1.5%P.P	P.C-0%P.P
Número de repeticiones	6	6	6	6
Códigos de repeticiones	P.C-0.5%PP-A. P.C-0.5%PP-B. PC-0.5%PP-C. PC-0.5%PP-D. PC-0.5%PP-E PC-0.5%PP-F	P.C-1%PP-A. P.C-1%PP-B. P.C-1%PP-C. P.C-1%PP-D. P.C-1%PP-E. P.C-1%PP-F.	P.C-1.5%PP-A. P.C-1.5%PP-B. P.C-1.5%PP-C. P.C-1.5%PP-D. P.C-1.5%PP-E. P.C-1.5%PP-F.	P.C-0%PP-A. P.C-0%PP-B. P.C-0%PP-C. P.C-0%PP-D. P.C-0%PP-E P.C-0%PP-F

Nota: Elaboración propia

4.4. Instrumentos

Fichas para el uso de recopilación de información

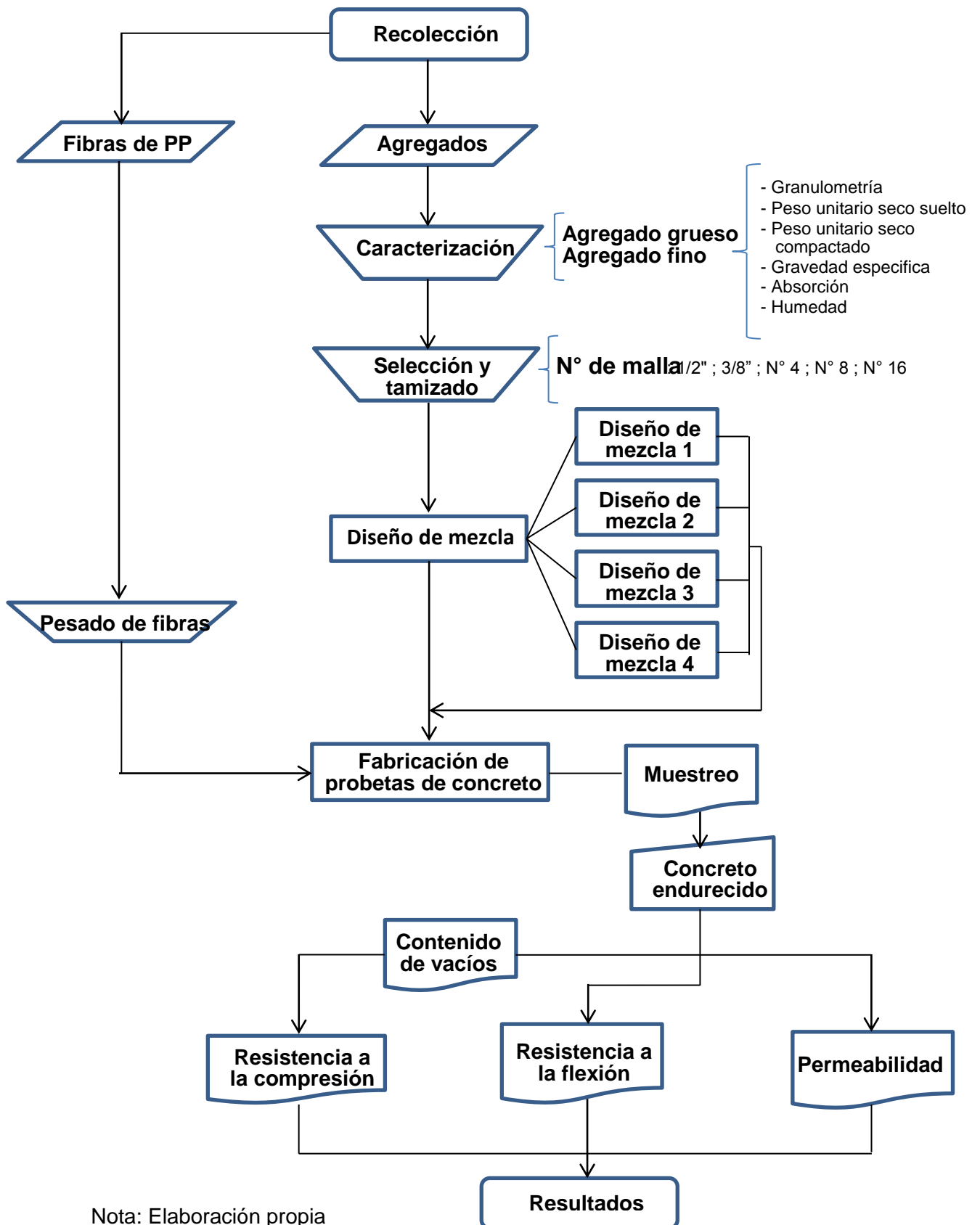
- Ficha # 1: “Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso”.
- Ficha # 2: “Contenido de vacíos del concreto poroso”.
- Ficha # 3: “Resistencia a la compresión y flexión del concreto permeable a diferentes edades”.
- Ficha # 4: “Permeabilidad del concreto poroso”.

4.5. Procedimiento

Todas las fases de la experimentación se llevaron a cabo siguiendo el esquema de procedimiento presentado en la Figura 9. Se llevó a cabo el tamizado y selección del agregado en función del tamaño del mismo, el fin primordial del concreto poroso fue de elaborar el diseño de mezcla. La metodología incluyó la preparación de las muestras, la ejecución de los ensayos pertinentes y el posterior análisis de los datos.

Figura 9

Flujograma de proceso de la investigación



Nota: Elaboración propia

4.5.1. Recolección de agregado

El acopio del agregado se realizó en la cantera "MURILLO", dicha cantera está ubicado exactamente en el kilómetro 1.2 de la Panamericana Abancay - Lima, con coordenadas UTM 729194.63 mE y 491763.86 mS, que se encuentran en la zona 18L. La altitud del lugar era de 2490 metros sobre el nivel del mar. El sitio se ubicaba específicamente en Abancay – Apurímac. Se recogieron exactamente 2 m³ de agregado grueso de tamaño 1/2". El agregado reveló una considerable cantidad de arena y piedras de tamaño inferior a la 1/2" (3/8", 1/4"), además de una alta humedad. Toda la muestra fue trasladada al laboratorio LUNIX INGENIEROS (RUC: 20610822178) que se dedica a ensayos de suelos, concreto y pavimentos; para esta investigación se llevó a cabo los distintos ensayos vinculados a concretos.

4.5.2. Caracterización de agregado

Dado que la investigación se centra en el concreto permeable, se empleó una mayor proporción de agregado grueso y un 10% de arena fina, es por ello que el análisis se centró prioritariamente en el agregado grueso, por lo cual se tuvo que realizar ensayos en el laboratorio con el único objetivo de hallar sus diferentes propiedades, todos los procesos se llevaron a cabo en cumplimiento de la Norma Técnica Peruana y lo estipulado en el Manual de Ensayo de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, es por ello que las siguientes normas establecen de manera más precisa la caracterización de los agregados mediante sus ensayos respectivos:

- NTP 400.012: "Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global".
- MTC E 204: "Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos".
- MTC E 215: "Método de ensayo para contenido de humedad total de los agregados por secado".

4.5.3. Tamizado y selección de agregado

El tamizado y selección de agregado se vio necesario realizar, debido a que la elaboración de concreto permeable utiliza el HUSO 67 y/o HUSO N° 8, estos precisan la proporcionalidad y tamaño de piedra según su utilidad, si bien el tamaño varía de acuerdo al Número de HUSO, también ya se establecen rangos para concretos permeables que estos van desde 1/2" hasta un tamaño de tamiz N°100. De acuerdo al agregado de cantera "MURILLO", el cual después de una verificación inicial se determinó que no cumplía con estas características válidas para concreto permeable, en consecuencia se procedió a realizar el tamizado mediante mallas de 1/2", 3/8", N°4, N°8 y N°16; de acuerdo al HUSO N°8 utilizada para presente estudio, se continuo con la selección de agregado separando el agregado tamizado según su proporcionalidad a usarse en los diferentes ensayos (compresión, flexión y permeabilidad).

Figura 10

Tamizado y selección de agregado.



Nota: Elaboración propia

4.5.4. Diseño de mezcla

En esta investigación se hizo un diseño de mezclas para concreto permeable utilizando agregados concordantes al HUSO N°8, estableciéndose cuatro diseños en total, de los cuales la adición de PP lo hace muy peculiar, debido a que la cantidad de PP dependió del porcentaje de cemento diseñada inicialmente y además el tamaño de las fibras PET fueron establecidas dimensionalmente. A continuación, se detalla la tabla 8 correspondiente a algunos datos que se utilizara para proceder con los cálculos del diseño y además la figura 14 mostrara un resumen de todo lo concerniente al diseño de mezcla utilizada según el método ACI-522R-10.

Tabla 14





Algunos datos para el diseño de mezcla

Datos teóricos y prácticos	Valor
Resistencia requerida	210 kg/cm ²
Peso unitario varillado de agregado grueso	1751.6 kg/m ³
Peso específico del agregado grueso	2539.8 kg/m ³
Absorción del agregado grueso	0.94 %
Relación agua cemento	0.30
Contenido de vacío teórico (compactación ligera)	18 %
Tamaño Máximo Nominal	3/8"
Peso específico del cemento (SOL tipo I)	3130 g/dm ³
Peso específico PET	900 g/dm ³
Peso específico del agua	1000 g/dm ³

Nota: Elaboración propia

Tabla 15

Esquema del diseño de mezcla para concreto poroso.

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE SEGÚN ACI 522 R-10		LOTE DE PRUEBA PARA 1m ³ DE CONCRETO PERMEABLE		
Datos del diseño de mezcla para concreto permeable	$a/c = 0.30$	Materiales	Peso (Kg)	Volumen (m ³)
	$TMN = 3/8$ "  HUSO # 8 RESISTENCIA REQUERIDA :210 Kg/cm ²		Cemento	0.000
Rangos según ACI 522	% FINOS = 0%, 10%, 20%  10%	Agua	0	0.0000
	$a/c = 0,26 - 0.34$  0,30	A. grueso	0.000	0.0000
	% vacíos recomendable debe ser mayor a 15%  17% vacíos teórico	A. fino	0.000	0.0000
	Agregados 1/2 a N° 100 (12.5 a 0,15 mm)	PP	TOTAL	0.0000
		TOTAL	0.00	0.0000
		$\% \text{vacios} = \frac{V_{\text{total}} - V_s}{V_{\text{total}}} \times 100$		100.00%

Nota: El contenido de PP se determinará en proporción a la cantidad de cemento (0.5%, 1% y 1.5%); TMN=Tamaño Máximo Nominal; a/c=relación agua cemento; V_{total} = Volumen total; V_s = Volumen del solido

4.5.5. Fibras de polipropileno (PP) Sika

La investigación está basado al uso de Polipropileno (PP) Sika comercial, esta fue adquirida de manera comercial, en el cual se adquirió gracias a la compra a un distribuidor nacional.

4.5.6. Pesado de fibras de polipropileno

El pesado de las fibras se hizo para cada tratamiento, la base siempre fue para el diseño, se utilizaron balanzas digitales con rango de peso máximo de 1kg y 5kg.

La cantidad de fibras de polipropileno empleada en la producción de briquetas prismáticas y cilíndricas se determina considerando su proporción en relación al peso del cemento, utilizando tres niveles de dosificación: 0,5%, 1% y 1,5%. Estas proporciones se seleccionan con base en dos criterios fundamentales: la conveniencia del investigador y los antecedentes teóricos disponibles.

Por un lado, la conveniencia del investigador implica la necesidad de establecer un rango de dosificación que permita observar con claridad la variación en el comportamiento mecánico y la permeabilidad del concreto debido a la incorporación de fibras de polipropileno. Esto facilita identificar la proporción óptima que ofrezca un equilibrio entre resistencia y funcionalidad según los objetivos del estudio.

Por otro lado, los antecedentes teóricos y estudios previos respaldan el uso de estas proporciones. Investigaciones previas han señalado que cantidades dentro de este rango tienden a generar mejoras significativas en propiedades mecánicas, como la resistencia a la tracción y al impacto, sin comprometer la trabajabilidad ni la uniformidad en la distribución de las fibras en la matriz de concreto. Además, estos niveles son adecuados para evitar efectos negativos, como la formación de grumos o una reducción excesiva en la cohesión de la mezcla.

Figura 11

Pesado de fibras PP.



Nota: Elaboración propia

4.5.7. Producción de muestras de concreto poroso

Seguido de la caracterización de los agregados y del diseño de muestras, se

prosiguió con la elaboración de briquetas cilíndricas y prismáticas como se detalla a continuación:

4.5.7.1. Elaboración de briquetas cilíndricas y prismáticas

- Tratamientos en la elaboración de briquetas cilíndricas

Se hicieron 4 tratamientos (4 grupos) con seis repeticiones (6 muestras para cada tratamiento) cada uno para 3 diferentes edades de ensayo (7 días, 14 días y 28 días), de los cuales tuvimos 72 observaciones (18 para concreto patrón, 18 para la adición de 0.5% de PP, 18 para la adición de 1% de PP y 18 para la adición de 1.5% de PP) se detalla en la tabla 16.

Tabla 16

Tratamientos para briketa cilíndrica de concreto permeable.

Tratamientos	Espécimen	Dimensiones	Edades de ensayo			Total de muestras
			7 días (und)	14 días (und)	28 días (und)	
Concreto patrón	Testigos Cilíndricos	4" de diámetro x 8" de altura	6	6	6	18 unidades
Adición de 0.5% de PP	Testigos Cilíndricos	4" de diámetro x 8" de altura	6	6	6	18 unidades
Adición de 1% de PP	Testigos Cilíndricos	4" de diámetro x 8" de altura	6	6	6	18 unidades
Adición de 1.5% de PP	Testigos cilíndricos	4" de diámetro x 8" de altura	6	6	6	18 unidades
Total de observaciones						72

Nota: Elaboración propia

Figura 12

Mezclado de materiales para la elaboración del concreto.



Nota: Elaboración propia

- Tratamientos en la elaboración de briquetas prismáticas

Se hicieron 4 tratamientos con 6 repeticiones (6 muestras para cada tratamiento) cada uno para la edad de ensayo de 28 días, del cual tuvimos 24 observaciones (6 para concreto patrón, 6 para la adición de 0.5% de PP, 6 para la adición de 1% de PP y 6 para la adición de 1.5% de PP), detallado en la siguiente tabla:

Tabla 17

Acondicionamiento para briketa prismática de concreto poroso.

Acondicio - namiento	Espécimen	Dimensiones	Edades de ensayo			Total de muestras
			7 días (und)	14 días (und)	28 días (und)	
Concreto patrón	Briquetas prismáticas	Largo: 21" alto x alto: 6"x6"	-	-	6	6 unidades
Adición de 0.5% de PP	Briquetas prismáticas	Largo: 21" alto x alto: 6"x6"	-	-	6	6 unidades
Adición de 1% de PP	Briquetas prismáticas	Largo: 21" alto x alto: 6"x6"	-	-	6	6 unidades
Adición de 1.5% de PP	Briquetas prismáticas	Largo: 21" alto x alto: 6"x6"	-	-	6	6 unidades
Total de observaciones						24

Nota: Elaboración propia

Figura 13

Vaciado para la elaboración de concreto poroso HUSO N° 8.



Nota: Elaboración propia

Proceso de elaboración de briqueta cilíndrica y prismática

- Realizada la selección y tamizado del agregado grueso (A.G.) se siguió con el pesado de las diferentes proporciones de materiales a utilizar (agregado con tamices de 1/2", 3/8", N° 4, N° 8, N° 16; cemento, agua y fibras de polipropileno - PP).
- Se hizo el mezclado en el trompo mezclador, introduciendo a este, primero: el agregado con pequeñas cantidades, seguido del cemento, agua y fibras de polipropileno - PP, repitiendo de manera constante hasta terminar con todos los materiales, siempre inspeccionando y verificando que la mezcla se mantenga homogénea. (Ojo: el concreto patrón no utilizó fibras de polipropileno - PP)
- Luego se derivó con el vaciado de concreto poroso en las probetas o moldes (prismáticas y cilíndricas), para las probetas cilíndricas: se realizaron varillados en el concreto permeable fresco para compactar la muestra, se hizo en dos capas, la primera se llenó el concreto en estado fresco hasta la mitad del molde para luego proceder con 15 varillados y la segunda llenado el molde se realizó la misma

operación anterior igualmente con 15 varillados; para las probetas prismáticas se hizo el mismo procedimiento que para las probetas cilíndricas solamente que en este caso se hizo el varillado 25 veces; se terminó realizando el acabado respectivo para cada molde (prismáticas y cilíndricas). Es importante destacar que el acabado es el procedimiento que implica enrasar, aplanar y allanar el concreto para incrementar su densidad y compactación, además de proporcionarle la apariencia requerida.

- Ya elaborada las muestras se terminó cubriendo todas las muestras con polipropileno para no perder humedad del concreto permeable, y se dejó por 24 horas para su respectivo endurecimiento.
- El desencofrado se realizó 24 horas después del vaciado, seguido las muestras fueron llevadas a la piscina para su respectivo curado.
- Las muestras cumplidas con la edad (7 días, 14 días y 28 días) fueron llevadas para su respectivo ensayo (pruebas de compresión, flexión y permeabilidad).
- El procedimiento antes mencionado y tal vez alguna omisión dentro de este, siempre se basó y se prosiguió de manera textual según ACI 522 R-10.

4.5.7.2. Para el contenido de los vacíos

Se realizó una prueba para determinar el contenido real de vacíos y compararlo con el valor ideal establecido en la mezcla. Aunque no se emplearon los 72 especímenes cilíndricos de concreto permeable, solo se bastó en emplear 2 especímenes de cada tratamiento a lo largo de los 28 días. Este trabajo se fundamentó en el principio de Arquímedes, que se declara textualmente como: "Cualquier objeto sumergido en su totalidad o parte recibe un impulso ascendente (ascendente) equivalente al peso del fluido que desaloja", pero conforme al ASTM C-642.

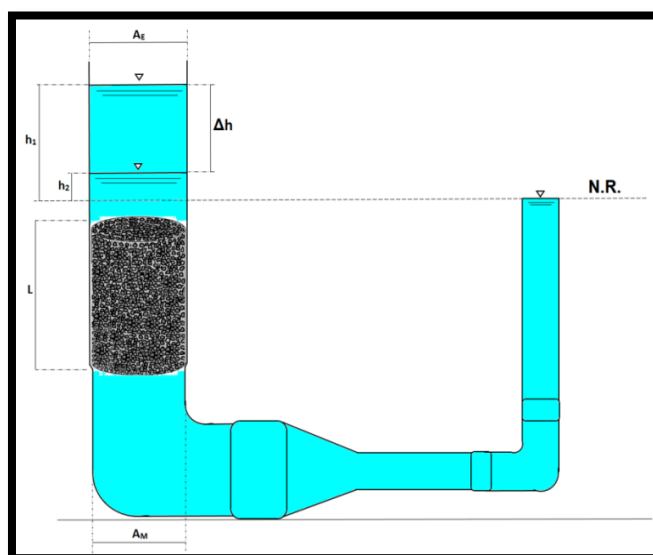
El método estándar de ensayo para vacíos en concreto endurecido ASTM C – 642, fue el que se utilizó, Los procedimientos para la determinación del contenido de vacíos se basaron en las especificaciones detalladas en la literatura.

4.5.8. Ensayo de permeabilidad del concreto

Para llevar a cabo este ensayo, fue imprescindible crear un Permeámetro. De acuerdo a su diseño el equipo se basó de acuerdo al modelo definido en el ACI-522R-10, en uno de los apartados afirma que la permeabilidad es determinada por la ecuación de la ley de Darcy.

Figura 14

Diseño del Permeámetro de carga variable.



Nota: Elaboración propia

Los especímenes utilizados para determinar este ensayo tuvieron que elaborarse en concordancia al diámetro de entrada del diseño del permeámetro, exactamente se hicieron 4 especímenes en función a los tratamientos establecidos: el concreto permeable patrón, y variaciones de concreto poroso con 0.5%, 1% y 1.5% de fibras de polipropileno (PP). Los ensayos se hicieron por sextuplicado, esto para tener mayor cantidad de datos y acercarnos más a valores reales con poco error. Los resultados fueron ingresados en el apartado de resultados.

Figura 15

Permeámetro de carga variable hecha por el investigador.



Nota: Elaboración propia

4.6. Análisis de datos

Para esta presente investigación era necesario la utilización estadística, es por ello que se tuvo la necesidad de profundizar conceptos estadísticos propios del tema de investigación para lo cual se detalla de forma muy específica la estadística descriptiva y más la estadística inferencial.

4.6.1. La estadística

La estadística juega un papel esencial en los procesos investigativos, ya que permite organizar, resumir, analizar e interpretar los datos recopilados en el transcurso de un estudio. Asimismo, facilita la toma de decisiones informadas basadas en evidencias y posibilita la extrapolación de los resultados obtenidos de una muestra hacia la población de interés. De acuerdo a Hernández y Mendoza (2018), la estadística se divide en dos áreas principales: la Estadística descriptiva e inferencial.

Lo que manifiesta Hernández y Mendoza (2018), a cerca de la Estadística

Descriptiva es que se encarga de presentar y resumir los datos mediante medidas como las medias (llamadas promedios), medianas, representaciones gráficas, desviaciones estándar, etc. Estas herramientas nos dan una visión general de cómo se distribuyen los datos y cuáles son sus caracteres primordiales.

Por su parte, la Estadística Inferencial es utilizada para realizar generalizaciones o inferencias a partir de una muestra representativa hacia una población. Esto se lleva a cabo a través de estimaciones de parámetros y las pruebas de hipótesis, esto ayuda a determinar si las diferencias entre los grupos son lo suficientemente importantes o si simplemente ocurrieron por casualidad. (Hernández y Mendoza, 2018).

En ese estudio fundamentamos la estadística inferencial. Así como detalla Nolberto y Ponce (2017), este tipo de estadística se enfoca en analizar el comportamiento y las características de las muestras, siempre con el objetivo de generalizar los resultados a las poblaciones que representan. Estas generalizaciones se basan en principios inductivos y, por lo tanto, deben sustentarse en la probabilidad. El objetivo principal de esta rama de la estadística es tomar los datos de una muestra para hacer conclusiones y generalizaciones sobre una población completa. Debido a la complejidad de las matemáticas que utiliza, también se le conoce como Estadística Matemática y se considera más avanzada que la Estadística Descriptiva.

En cuanto a la estadística paramétrica, se refiere a una parte de la estadística que requiere ciertos supuestos para llevar a cabo la inferencia estadística. Su aplicación depende de la prueba de normalidad, la cual asume que las muestras extraídas de poblaciones están distribuidas de manera normal o lo están aproximadamente (Nolberto y Ponce, 2017).

4.6.1.1. Conceptos elementales

Descripciones numéricas

El propósito de estas descripciones es sintetizar la información de un grupo de datos, en particular que sean datos numéricos, destacando promedio aritmético, básicamente las medidas de tendencia central.

La media (\bar{X})

La también llamada media aritmética, es la medida de tendencia central que se obtiene con la sumatoria de todos los resultados de una colección de datos y dividirlo el resultado entre la cantidad total de valores. Es ampliamente utilizada porque emplea toda la información del conjunto de datos.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + \dots + x_n}{n}$$

Dónde:

\bar{x} :Media o promedio

x_n : enésima muestra

n :Tamaño de muestra

Medidas de dispersión

Son las medidas que determinan el nivel de dispersión de datos numéricos en su conjunto, también es considerada como indicadores estadísticos que expresan el grado en que los valores de una variable se alejan de su valor central, proporcionando una visión más completa de la distribución de los datos en comparación con los valores de tendencia central.

Varianza (S^2)

Es una medida de dispersión, es definida como media aritmética de los cuadrados

de las desviaciones de cada dato respecto a la media. Es fundamental para entender la variabilidad en los datos y constituye la base de otras medidas estadísticas, como la desviación estándar. La siguiente es su fórmula.

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Dónde:

s^2 : Varianza

\bar{x} : Media o promedio

n : Tamaño de muestra

Desviación estándar (S)

Dentro de la estadística es una medida de dispersión que manifiesta cuánto se desvían todos los datos con en promedio de todos los valores de un conjunto de datos respecto a su media, valga la redundancia. Es la raíz cuadrada positiva de la varianza y una de las medidas más utilizadas en análisis estadísticos, representada por la s.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Dónde:

S: Desviación estándar

\bar{x} : Media o promedio

n : Tamaño de muestra

n-1 : Grados de Libertad

4.6.2. Prueba de hipótesis

Es considerada una herramienta de la estadística que se utiliza para la evaluación de una afirmación específica sobre un parámetro poblacional. Se basa en los datos muestrales y permite decidir, con un nivel de confiabilidad predefinido, si es que se desprecia o no la hipótesis propuesta.

En el proceso de prueba de hipótesis, la certeza sobre el dictamen de aceptar o despreciar una afirmación solo se puede obtener al analizar toda la población. Por lo tanto, al realizar pruebas, es importante entender que rechazar una hipótesis basada en los datos obtenidos significa que no existen pruebas suficientes para respaldar la afirmación original.

a) Nivel de significancia(α)

Es definida como la probabilidad que llega al tope permitido para incurrir en un error de tipo I, y su objetivo principal es reducir al mínimo dicho error. Normalmente, se establece primero la eventualidad y luego se selecciona la muestra.

b) Tipos de errores en una prueba de hipótesis

De acuerdo a lo que afirma Gutierrez y Vladimirovna (2016), existen los siguientes tipos de errores:

Tipo I: cuando se rechaza la hipótesis nula (verdadera)

Tipo II: cuando no se rechaza la hipótesis nula (falsa)

Lo que señala Gutierrez y Vladimirovna (2016), es que existe dos clases de errores, el primero ocurre cuando se descarta la hipótesis nula (verdadera) y el segundo ocurre cuando no se descarta la hipótesis nula (falsa).

c) Análisis de datos

Para llevar a cabo la prueba de hipótesis en variables cuantitativas, tal como sucede en este estudio, necesariamente se utilizó la estadística paramétrica. El análisis de datos es una herramienta clave para transformar información en conocimiento, permitiendo explorar, resumir y explicar fenómenos, así como tomar decisiones fundamentadas. Combina métodos descriptivos e inferenciales para extraer el máximo valor de los datos. Para lograr esto, se deben llevar a cabo pruebas de normalidad y, si es requerido, pruebas de homocedasticidad. Necesariamente, para diferenciar muestras independientes, se deben emplear los estadísticos T de Student o ANOVA.

d) Normalidad

La distribución de Gauss, así es llamada también, se dice que es una herramienta estadística que sirve para verificar si la distribución de los datos en un conjunto se asemeja a una distribución de campana o curva de Gauss. Estas pruebas son esenciales en estadística porque muchas técnicas y modelos estadísticos asumen que los datos son normales. Si es que los datos tienen la distribución contraria, se podría afirmar que los resultados de estos modelos pueden no ser fiables.

Para verificar la normalidad de una población, es necesario cumplir con una gama de criterios que se describen:

- Se planteará hipótesis de distribución normal de una varianza poblacional.

H_0 : La variable analizada se distribuye normalmente.

H_1 : La variable analizada no se distribuye normalmente.

- El valor de $\alpha = 0.05$ (nivel de significancia).
- Para verificar el supuesto de normalidad en muestras con un tamaño inferior a 50, se empleará otras de las pruebas llamado Shapiro-Wilk.

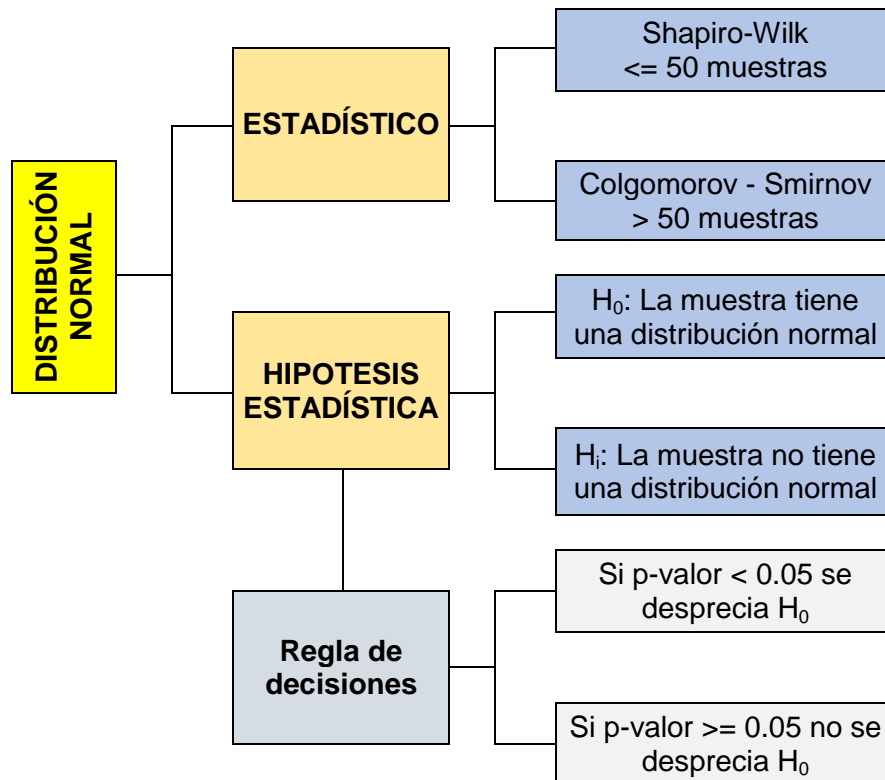
- Regla de decisión.

Si **p-valor ≥ 0.05** se aprueba la H_0 .

Si **p-valor < 0.05** se desprecia la H_0 .

Figura 16

Análisis de una distribución normal y criterios a tomar en cuenta.



Nota: Elaboración propia

e) Análisis de varianza

El estudio de la Varianza, conocido como ANOVA, se refiere a una serie de modelos estadísticos y sus procedimientos relacionados, donde la varianza es el factor esencial para identificar diferencias entre grupos.

- **ANOVA de un factor o Análisis de varianza de un factor**

Para la estadística esta técnica es muy utilizada, este método permite

comparar los promedios de tres o más grupos que no tienen relación entre sí, para determinar si existen diferencias significativas entre ellos. Este método evalúa la forma en que un factor de influencia afecta una variable de respuesta. Para lograrlo, descompone la variación total de la variable de respuesta en dos partes: la que es explicada por el factor y la que es resultado de errores aleatorios. Este análisis se aplica a datos numéricos con una distribución en forma de campana, una dispersión uniforme entre los grupos y que provienen de muestras no sesgadas.

A continuación, se detalla la sucesión para verificar el ANOVA de un factor que señale la equidad o la variación entre grupos:

- 1) Se define las hipótesis nula y alterna:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$; H_1 : al menos una de las medias es diferente de las demás.

- 2) El nivel de significancia se acepta con un valor de: $\alpha = 0.05$
- 3) Para contrastar la hipótesis usamos el análisis de varianza de un factor.
- 4) Las reglas de decisión se dan mediante:

Si **p-valor** ≥ 0.05 se acepta H_0 ; Si **p-valor** < 0.05 se rechaza H_0 .

- **Pruebas post hoc**

Son procedimientos estadísticos que se realizan después de haber obtenido resultados significativos en un análisis de varianza (ANOVA) para identificar dónde se encuentran las diferencias entre los grupos. Mientras que el ANOVA de un factor solo indica si existen diferencias significativas entre los grupos, las pruebas post hoc permiten determinar cuáles grupos son específicamente diferentes. Si los equipos de

investigación muestran valores uniformes, se procede a emplear las pruebas tukey.

Para un estudio aplicativo y experimental, tal cual es el caso de esta investigación, fue necesario calcular el promedio de los datos, su dispersión y la desviación estándar para obtener un análisis más preciso y alineado con nuestros objetivos. Por ello, resultó indispensable el uso del software IBM SPSS Statistics, principalmente para contrastar nuestras hipótesis propuestas. De esta manera, se lograron realizar algunos análisis de datos (pruebas de normalidad, ANOVA y las pruebas post hoc).

V. Resultados y discusión

5.1. Análisis de resultados

5.1.1. Análisis de resultados del objetivo general

5.1.1.1. Análisis granulométrico de cantera

Como se ilustra en la Figura 17, se realizó el análisis granulométrico después de recolectar el agregado grueso, dentro del laboratorio de ya mencionado. Según los datos de la tabla 18, los resultados del tamizado revelan que la granulometría del agregado no cumple con los requisitos necesarios para la fabricación de concreto poroso. Esto indica que el tamaño y la distribución de las partículas son inadecuados para lograr las propiedades de permeabilidad y vacío que definen a este tipo de concreto.

Figura 17

Análisis granulométrico de cantera.



Nota: Elaboración propia

Tabla 18

Resultados del tamizado del agregado de cantera.

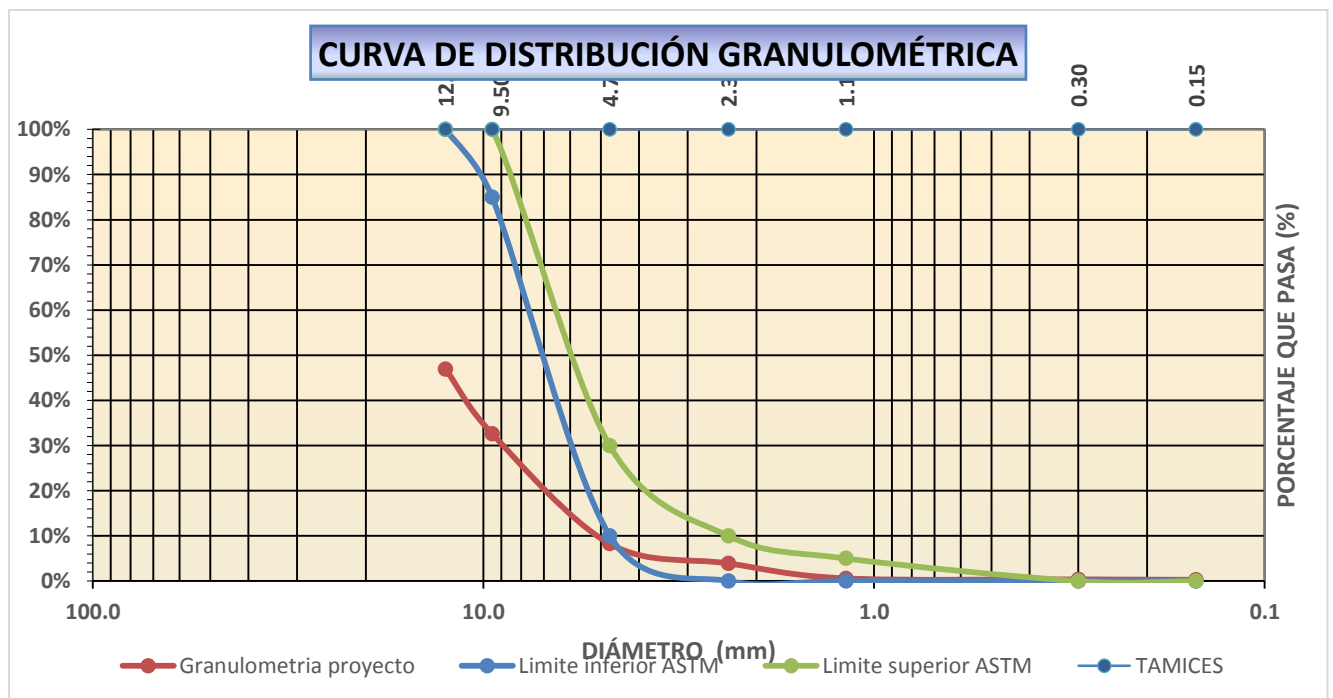
TAMAÑO DEL TAMIZ		Peso retenido (g)	Retenido parcial	Retenido acumulado	Acumulado que pasa	Descripción de la muestra
mm	Pulg.					
12.5	1/2"	2423.70	53.10%	53.10%	46.90%	Tamaño máx. : 1/2"
9.50	3/8"	651.30	14.27%	67.37%	32.63%	
4.75	No 4	1112.40	24.37%	91.74%	8.26%	Peso total (g): 4564.40
2.36	No 8	198.20	4.34%	96.08%	3.92%	
1.18	No 16	151.40	3.32%	99.40%	0.60%	Módulo de finura: 7.07
0.30	No 50	10.10	0.22%	99.62%	0.38%	
0.15	No 100	3.90	0.09%	99.71%	0.29%	
0.075	No 200	2.80	0.06%	99.77%	0.23%	
<No. 200	Cacerola	10.60	0.23%	100.00%	0.00%	

TOTAL = **4564.40 g**

Nota: Elaboración propia

Figura 18

Curva granulométrica del agregado de cantera



Nota: Elaboración propia

5.1.1.2. Análisis de la granulometría del agregado para concreto permeable

Según este análisis inicial de la cantera, se determinó que el agregado no respetaba con los requisitos del tamizado necesarios para la fabricación de concreto poroso. Es por ello que en el análisis granulométrico realizado específicamente para el concreto permeable, se propuso definir las proporciones adecuadas conforme a los parámetros del HUSO N°8. Esto implicó simular proporciones para una muestra de 1000 gramos, asegurándonos de que los resultados del tamizado cumplieran con los parámetros del huso. La siguiente tabla presenta de manera más clara el tamizado del agregado grueso utilizado en esta investigación.

Tabla 19

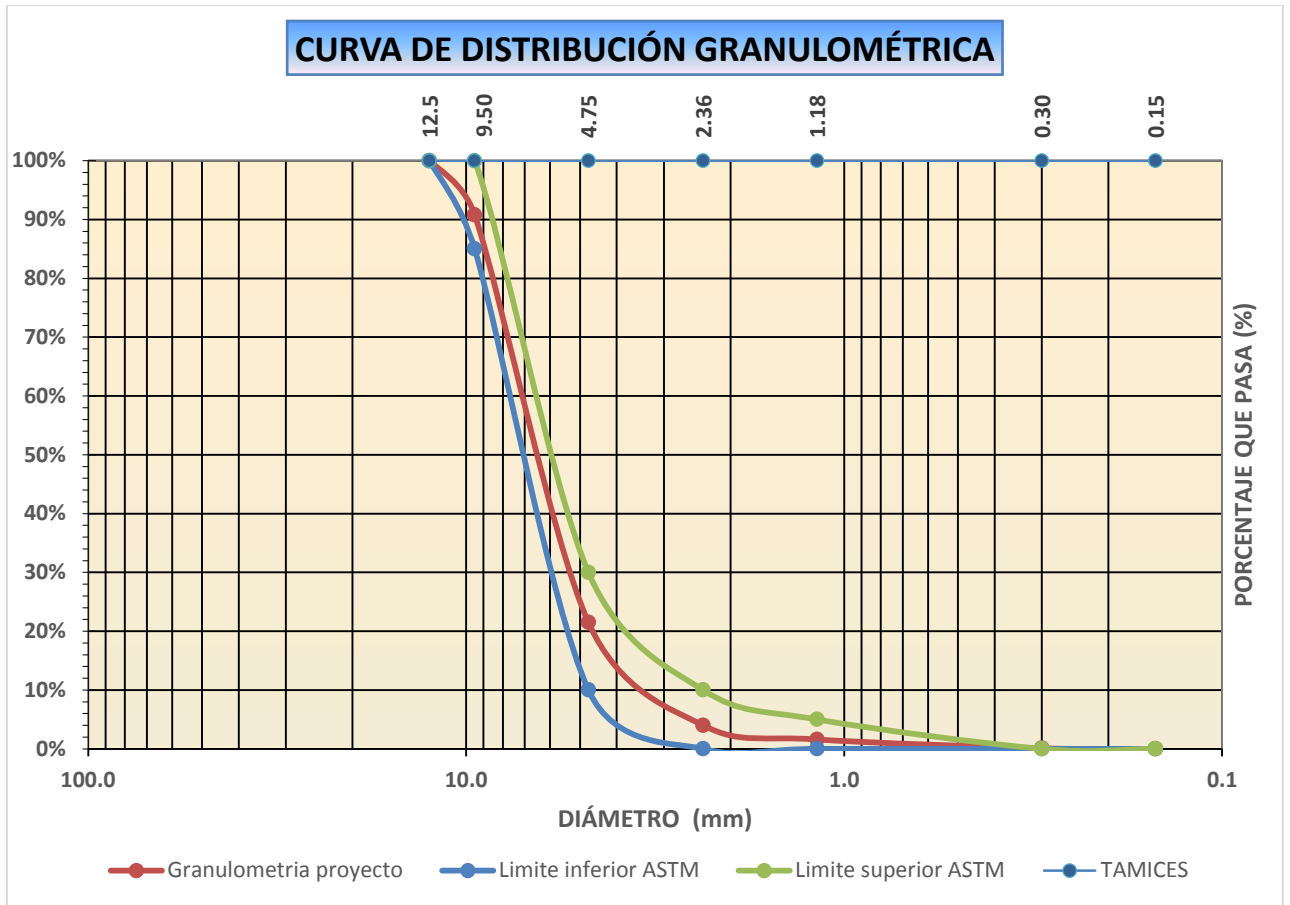
Ajustado en el Tamiz para el agregado de HUSO N° 8.

TAMAÑO DEL TAMIZ		Peso retenido (g)	Retenido parcial	Retenido acumulado	Acumulado que pasa	Descripción de la muestra
mm	Pulg					
12.5	1/2"	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	
9.50	3/8"	92.00	9.20%	9.20%	90.80%	Tamaño máx. : N°4
4.75	No 4	693.00	69.30%	78.50%	21.50%	
2.36	No 8	175.00	17.50%	96.00%	4.00%	Peso total (g): 1000.00
1.18	No 16	24.00	2.40%	98.40%	1.60%	
0.30	No 50	15.00	1.50%	99.90%	0.10%	Módulo de finura: 5.82
0.15	No 100	1.00	0.10%	100.00%	0.00%	
0.075	No 200	0.00	0.00%	100.00%	0.00%	
<No. 200	Cacerola	0.00	0.00%	100.00%	0.00%	
TOTAL =		1000.00 g				

Nota: Elaboración propia

Figura 19

Tendencia granulométrico del agregado para HUSO N° 8.







Nota: Elaboración propia

5.1.1.3. Diseño de mezcla

Conforme y estipulado a lo que manifiesta el ACI 522 R-10 apropiado para aquellos concretos porosos se hizo el diseño de mezcla, es imprescindible señalar que la dosis de PP se estableció basándose en el cemento diseñado en el concreto patrón (adiciones), con porciones de 0.5%, 1% y 1.5% respectivamente.

Tabla 20

Diseño de mezcla para Grupo de control (concreto patrón).





DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE SEGÚN ACI 522 R-10		LOTE DE PRUEBA PARA 1m ³ DE CONCRETO PERMEABLE		
Datos del diseño de mezcla para concreto permeable	$a/c = 0.30$	Materiales	Peso (Kg)	Volumen (m ³)
	$TMN = 3/8$ "  HUSO # 8 RESISTENCIA REQUERIDA :210 Kg/cm ²		Cemento	392.62
Rangos según ACI 522	% FINOS = 0%, 10%, 20%  10%	Agua	129.56	0.130
	$a/c = 0,26 - 0.34$  0,30	A. grueso	1373.32	0.543
	% vacíos recomendable debe ser mayor a 15%  17% vacíos teórico	A. fino	152.59	0.057
	Agregados 1/2 a N° 100 (12.5 a 0,15 mm)	PP	0.00	0.000
		TOTAL	2048.10	0.856
		$\% \text{vacíos} = \frac{V_{\text{total}} - V_s}{V_{\text{total}}} \times 100$		100.00%

Nota: El contenido de PP se determinará en proporción a la cantidad de cemento (0.5%, 1% y 1.5%).

Se presenta en la tabla 20 el diseño del concreto permeable para toda la mezcla sin la incorporación de PP (concreto patrón), que sirvió como fundamento para el diseño de las otras tres mezclas, destaca el 0.30 de la relación agua-cemento, el $TMN = 3/8$ ", se empleó 10% de finos y aproximadamente el 17% teórico el % de vacíos.

Tabla 21

Diseño de mezcla para Grupo experimental 1 (adición de 0.5% de PP).

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE SEGÚN ACI 522 R-10		LOTE DE PRUEBA PARA 1m ³ DE CONCRETO PERMEABLE		
Datos del diseño de mezcla para concreto permeable	$a/c = 0.30$	Materiales	Peso (Kg)	Volumen (m ³)
	$TMN = 3/8$ "  HUSO # 8 RESISTENCIA REQUERIDA :210 Kg/cm ²		Cemento	392.62
Rangos según ACI 522	% FINOS = 0%, 10%, 20%  10%	Agua	129.56	0.130
	$a/c = 0,26 - 0.34$  0,30	A. grueso	1373.32	0.543
	% vacíos recomendable debe ser mayor a 15%  17% vacíos teórico	A. fino	152.59	0.057
	Agregados 1/2 a N° 100 (12.5 a 0,15 mm)	PP	3.93	0.0015
		TOTAL	2052.02	0.8575
		$\% \text{vacíos} = \frac{V_{\text{total}} - V_s}{V_{\text{total}}} \times 100$		100.00%

Nota. El contenido de PP se determinará en proporción a la cantidad de cemento (0.5%,





1% y 1.5%).

Se presenta en la tabla 21 el diseño para concretos permeables para toda la mezcla, adicionando 0.5% de PP, 3.93 Kg/m³ de concreto representa el peso de PP a utilizarse, este valor es el 1.5% de la cantidad de cemento. Se ajustaron los valores del diseño a los que se proyectaron el hormigón patrón, aunque las masas de los otros materiales pueden variar de manera muy minima.

Se presenta en la tabla 22 el diseño para concretos permeables en toda la mezcla, con adición de 1% de PP, 7.85 Kg/m³ de concreto representa el peso de PP a utilizarse, este valor es el 3% de la cantidad de cemento. Se ajustaron los valores del diseño a los que se proyectaron el hormigón patrón, aunque las masas de los otros materiales pueden variar de manera muy minima.

Tabla 22





Diseño de mezcla para Grupo experimental 2 (adición de 1% de PP).

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE		LOTE DE PRUEBA PARA 1m ³ DE		
SEGÚN ACI 522 R-10 $a/c = 0.30$		CONCRETO PERMEABLE		
Datos del diseño de mezcla para concreto permeable		Materiales	Peso (Kg)	Volumen (m ³)
	$TMN = 3/8$ "  HUSO # 8	Cemento	392.62	0.125
	RESISTENCIA REQUERIDA :210 Kg/cm ²	Agua	129.56	0.130
	% FINOS = 0%, 10%, 20%  10%	A. grueso	1373.32	0.543
	$a/c = 0,26 - 0.34$  0,30	A. fino	152.59	0.057
	% vacíos recomendable debe ser mayor a 15%  17% vacíos teórico	PP	7.85	0.003
Rangos según ACI 522	Agregados 1/2 a N° 100 (12.5 a 0,15 mm)	TOTAL	2055.95	0.859
		$\% \text{vacios} = \frac{V_{\text{total}} - V_s}{V_{\text{total}}} \times 100$		100.00%

Nota: El contenido de PP se determinará en proporción a la cantidad de cemento (0.5%, 1% y 1.5%).

Tabla 23

Diseño de mezcla para Grupo experimental 3 (adición de 1.5% de PP).

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE SEGÚN ACI 522 R-10		LOTE DE PRUEBA PARA 1m ³ DE CONCRETO PERMEABLE		
Datos del diseño de mezcla para concreto permeable	$a/c = 0.30$	Materiales	Peso (Kg)	Volumen (m³)
	$TMN = 3/8$ "  HUSO # 8 RESISTENCIA REQUERIDA :210 Kg/cm ²		Cemento	380.84
Rangos según ACI 522	% FINOS = 0%, 10%, 20%  10%	Agua	129.56	0.130
	$a/c = 0,26 - 0.34$  0,30	A. grueso	1373.32	0.543
	% vacíos recomendable debe ser mayor a 15%  17% vacíos teórico	A. fino	152.59	0.057
	Agregados 1/2 a N° 100 (12.5 a 0,15 mm)	PP	11.78	0.0045
		TOTAL	2059.87	0.860
		$\% \text{vacios} = \frac{V_{\text{total}} - V_s}{V_{\text{total}}} \times 100$		100.00%

Nota: El contenido de PP se determinará en proporción a la cantidad de cemento (0.5%, 1% y 1.5%).

Se presenta en la tabla 23 el diseño para concretos permeables para toda la mezcla, adicionando 1.5% de PP, 11.78 Kg/m³ de concreto representa el peso de PP a utilizarse, este valor es el 4.5% de la cantidad de cemento. Se ajustaron los valores del diseño a los que se proyectaron el hormigón patrón, aunque las masas de los otros materiales pueden variar de manera muy minima.

5.1.1.4. El contenido de vacíos en el concreto

Tabla 24

El contenido de vacíos del concreto a diferentes procesos.

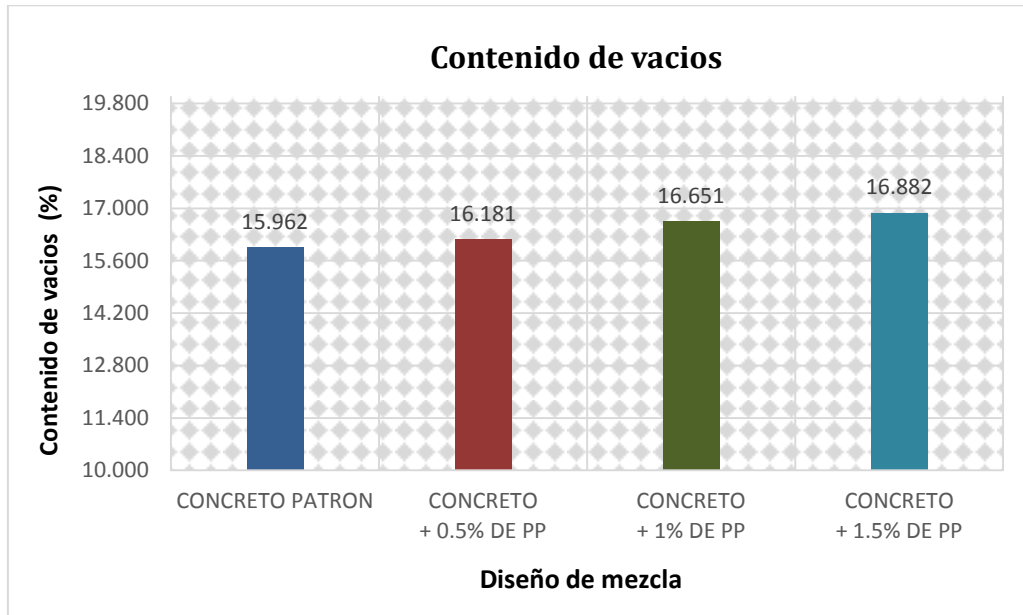
DISEÑO DE MEZCLA	NÚMERO DE MUESTRA	CONTENIDO DE VACIOS (%)	MEDIA (%)	DESVIACIÓN ESTANDAR	LÍMITE MAXIMO	LÍMITE MINIMO
CONCRETO PATRON (28 DIAS)	1	15.684	15.969	0.306	16.3	15.7
	2	16.425				
	3	16.073				
	4	15.695				
CONCRETO + 0.5% PP (28 DIAS)	5	16.128	16.181	0.582	16.8	15.6
	6	17.099				
	7	16.012				
	8	15.487				
CONCRETO + 1% PP (28 DIAS)	9	17.010	16.651	0.418	17.1	16.2
	10	16.010				
	11	17.036				
	12	16.549				
CONCRETO + 1.5% PP (28 DIAS)	13	17.569	16.882	0.471	17.4	16.4
	14	16.765				
	15	16.250				
	16	16.944				

Nota: Elaboración propia

La tabla 24 presenta el porcentaje del contenido de los vacíos del concreto poroso de todos los diseños (HUSO N°8), haciendo la comparativa de promedios, se evidencia que el diseño de mezcla con reemplazo del 1.5% de PP presenta el mayor contenido de vacíos (16.88%), seguido por el diseño con reemplazo del 1% (16.651%) y 0.5% (16.18%) de PP, por lo contrario el diseño de mezcla sin reemplazo de PP (concreto patrón) tiene el menor contenido de vacíos (15.96%). La figura 30 ilustra de forma más efectiva y visual el contraste entre los promedios de los contenidos de vacíos para todas las elaboraciones de concreto.

Figura 20

Barras de contenido de vacíos (Huso Nº8).

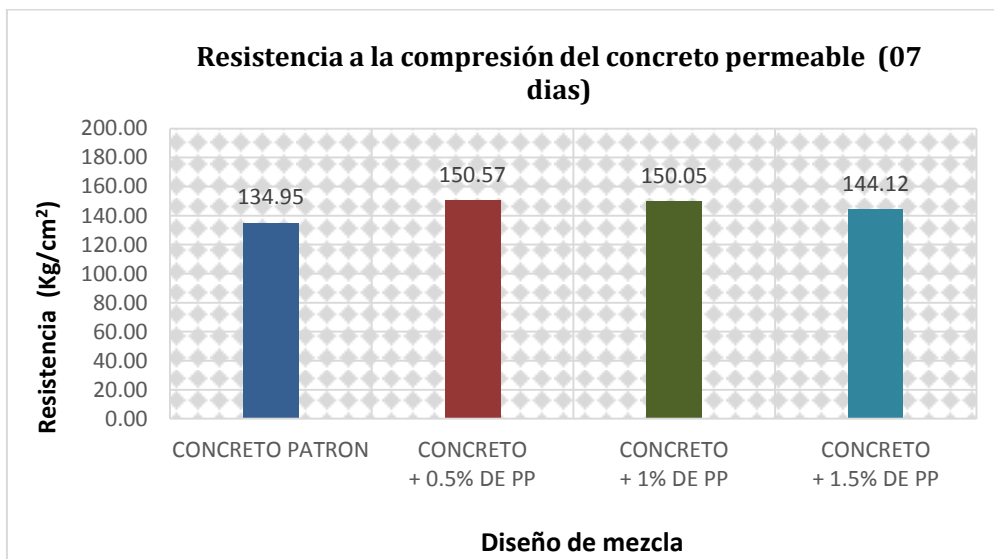


Nota: Elaboración propia

5.1.1.5. Resistencia a la Compresión del concreto permeable a edades diferentes

Figura 21

Comparativas de la Resistencia a la compresión a los 07 días.



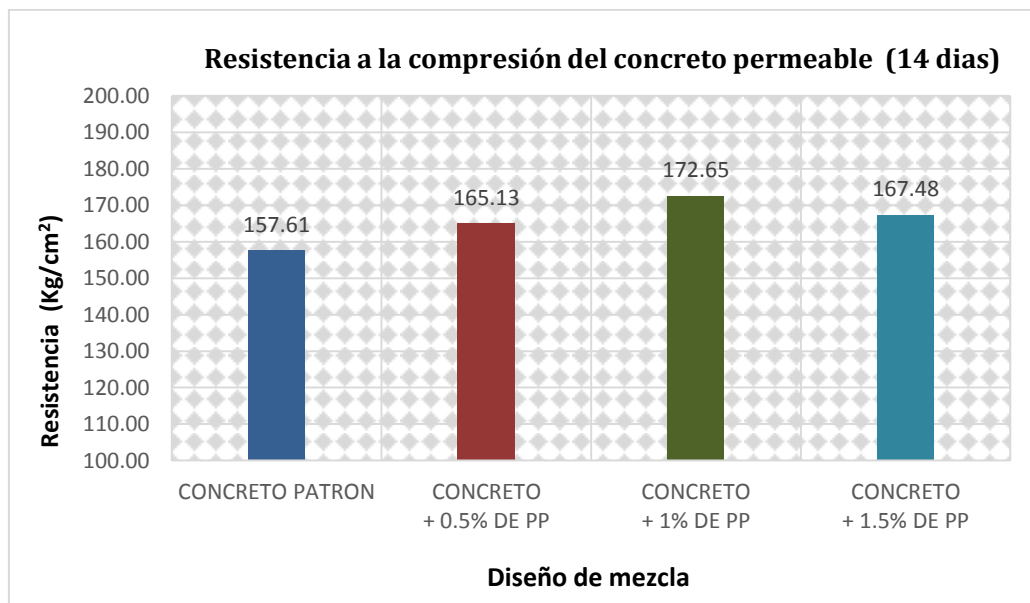
Nota: Elaboración propia

En el detalle de la Figura 21, haciendo la comparación de resistencias a compresión para los 7 días de edad. De las mezclas estudiadas, el concreto patrón

(Grupo Experimental 4) presentó la resistencia más baja, con 134.95 Kg/cm². En comparación, las mezclas con fibras de polipropileno (PP) mostraron resistencias más altas. Sin embargo, el concreto con 1.5% de PP (Grupo Experimental 3), a pesar de tener fibras, también registró una de las resistencias más modestas, con 144.12 Kg/cm². Por otro lado, las mezclas de 0.5% de PP (Grupo Experimental 1) y 1% de PP (Grupo Experimental 3) obtuvieron valores muy cercanos, con 150.57 Kg/cm² y 150.05 Kg/cm², respectivamente.

Figura 22

Comparativas de la Resistencia a la compresión a los 14 días.



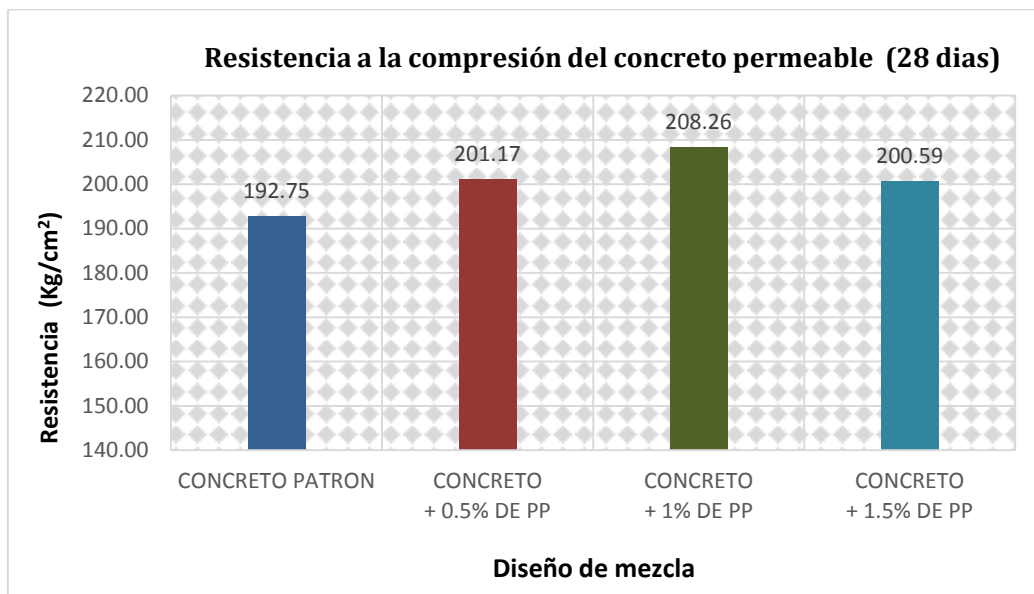
Nota: Elaboración propia

Como se demuestra en la Figura 22, haciendo las comparaciones de resistencias a compresión para los 14 días. En esta se evidencia que el diseño de mezcla del CONCRETO PATRÓN, correspondiente al "Grupo Experimental 4", presenta la menor resistencia (157.61 Kg/cm²) en comparativa con los demás diseños. Los datos indican una diferencia notable en la resistencia entre el concreto con 1% de PP (172.65 Kg/cm²) y el concreto con 1.5% de PP (167.48 Kg/cm²), que corresponden a los Grupos

Experimentales 2 y 3. Por su parte, la mezcla con 0.5% de PP (Grupo Experimental 1) también registró una de las resistencias más bajas, con 165.13 Kg/cm².

Figura 23

Comparativas de la Resistencia a la compresión a los 28 días.

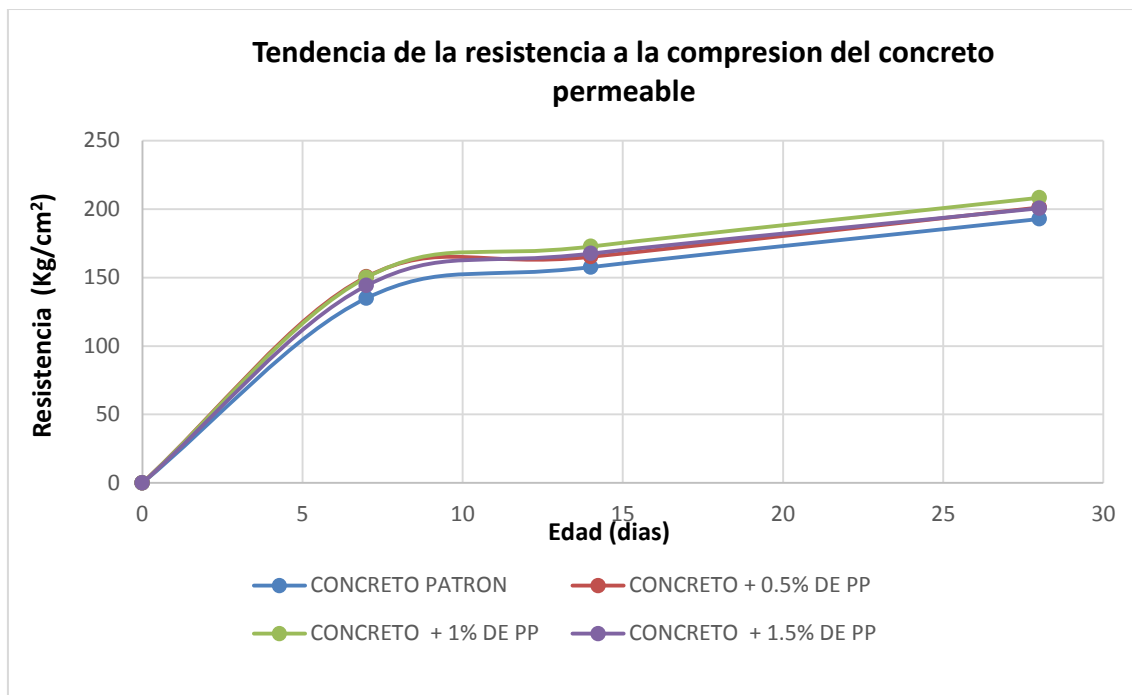


Nota: Elaboración propia

Como se demuestra la Figura 23, haciendo una comparativa de las resistencias a compresión para los 28 días. En esta se evidencia que el diseño de mezcla del CONCRETO PATRÓN, correspondiente al "Grupo Experimental 4", presenta la menor resistencia (192.75 Kg/cm²) en comparativa con los demás diseños. Asimismo, se detalla una diferencia en el diseño del CONCRETO + 1% DE PP (208.26 Kg/cm²) con el diseño del CONCRETO + 1.5% DE PP (200.59 Kg/cm²), que pertenecen al "Grupo Experimental 2 y 3", respectivamente. Por otro lado, el diseño del CONCRETO + 0.5% DE PP, representado por el "Grupo Experimental 1", también muestra una de las resistencias más bajas (201.17 Kg/cm²).

Figura 24

Gráfico de tendencia en la resistencia a la compresión.



Nota: Elaboración propia

En esta Figura 24 demuestra la tendencia de las resistencias a la compresión, evidenciando que todas las curvas correspondientes a los distintos diseños de mezcla presentan una inclinación ascendente, con diferencias mínimas entre ellas. Asimismo, se aprecia que la tendencia del diseño de mezcla correspondiente al CONCRETO PATRÓN exhibe una tendencia inferior en comparación con los demás diseños.

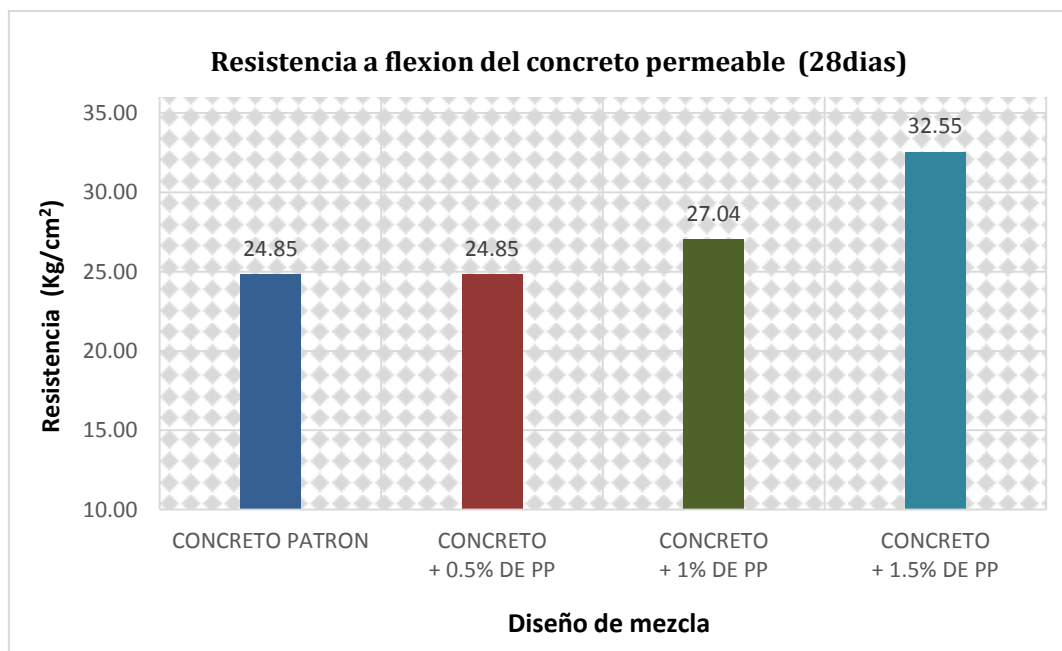
5.1.1.6. Resistencia a Flexión del concreto permeable a la edad de 28 días

Según a lo que se observa en la Figura 25, hace una comparativa de las resistencias a flexión a los 28 días de edad. En ella se observa que el diseño del CONCRETO + 0.5% DE PP alcanza una resistencia a flexión igual a la del CONCRETO PATRÓN, ambas con un valor de 24.85 Kg/cm². En contraste, los diseños con 1% de PP y 1.5% de PP mostraron incrementos notables en la resistencia a la flexión, con 27.04 Kg/cm² y 32.55 Kg/cm², respectivamente. Para contextualizar, el concreto patrón

pertenece al Grupo Experimental 4, mientras que los diseños con 0.5%, 1% y 1.5% de PP corresponden a los Grupos Experimentales 1, 2 y 3.

Figura 25

Comparativas de Resistencia a flexión a los 28 días.



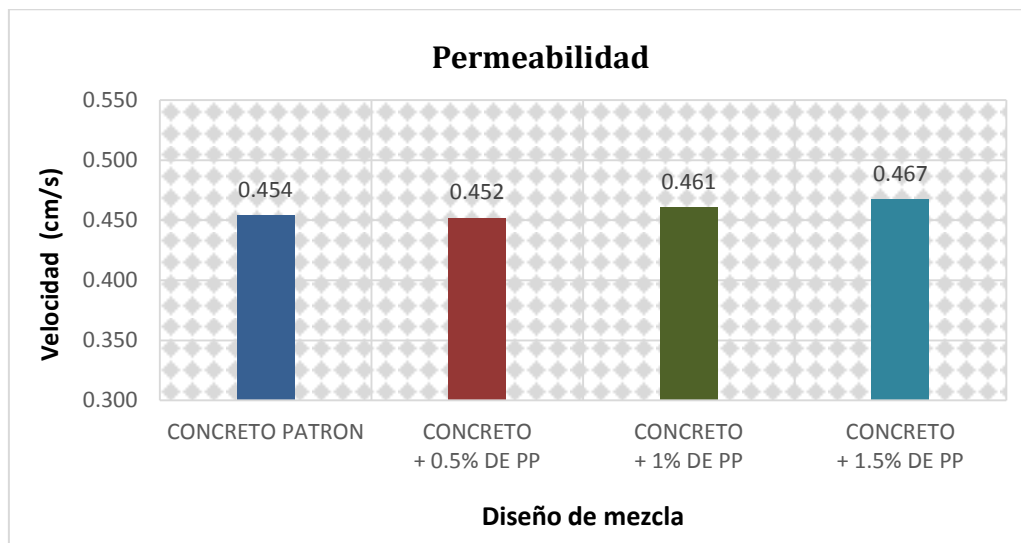
Nota: Elaboración propia

5.1.1.7. Permeabilidad o tasa de percolación o del concreto poroso

En el detalle de la siguiente figura, se hace una comparación de los promedios de permeabilidad, evidenciando un aumento notable en esta propiedad conforme se incrementa el contenido de PP. Destacan los valores obtenidos: el diseño del CONCRETO + 1.5% DE PP alcanza una tasa de percolación de 0.467 cm/s, seguido por el diseño del CONCRETO + 1% DE PP con 0.461 cm/s. Por otro lado, se observa una ligera disminución en el diseño del CONCRETO + 0.5% DE PP, que registra 0.452 cm/s, mientras que el CONCRETO PATRÓN presenta un valor de 0.454 cm/s.

Figura 26

Permeabilidad del concreto poroso.



Nota: Elaboración propia

5.1.2. Análisis de resultados del primer objetivo específico

Análisis de la resistencia a la compresión del “Grupo Experimental 1”

Tabla 25

Resistencia a la compresión del Grupo Experimental 1.

	Códigos	Resistencia (kg/cm ²)	Media (kg/cm ²)	Desviac. Estánd.	Límite superior	Límite inferior
Concreto + 0.5% PP (07 días)	C-0.5%PP-7-A	147.0	150.6	1.8	152.3	148.8
	C-0.5%PP-7-B	152.0				
	C-0.5%PP-7-C	149.7				
	C-0.5%PP-7-D	151.2				
	C-0.5%PP-7-E	152.0				
	C-0.5%PP-7-F	151.5				
Concreto + 0.5% PP (14 días)	C-0.5%PP-14-A	162.8	165.1	1.4	166.5	163.8
	C-0.5%PP-14-B	165.6				
	C-0.5%PP-14-C	165.4				
	C-0.5%PP-14-D	164.7				
	C-0.5%PP-14-E	167.5				
	C-0.5%PP-14-F	164.8				
Concreto + 0.5% PP (28 días)	C-0.5%PP-28-A	202.6	201.2	3.6	204.8	197.5
	C-0.5%PP-28-B	194.0				
	C-0.5%PP-28-C	199.6				
	C-0.5%PP-28-D	201.8				
	C-0.5%PP-28-E	203.9				
	C-0.5%PP-28-F	205.1				

Nota. El diseño de CONCRETO + 0.5% PP pertenece al “Grupo Experimental 1”

Los resultados de resistencia a la compresión para el Grupo Experimental 1, presentados en la Tabla 25, muestran un aumento progresivo con el tiempo. Las resistencias promedio fueron de 150.6 kg/cm² a los 7 días, 165.1 kg/cm² a los 14 días y 201.2 kg/cm² a los 28 días, evidenciando que estos valores son inferiores al diseño teórico propuesto en la investigación (210 kg/cm²). Asimismo, las desviaciones estándar obtenidas fueron de 1.8 kg/cm², 1.4 kg/cm² y 3.6 kg/cm² para las mismas edades, lo que indica una variabilidad aceptable en los datos. En síntesis, los resultados de la resistencia a la compresión son aceptables para todas las edades.

Análisis de la resistencia a la compresión del “Grupo Experimental 2”

Tabla 26

Resistencia a la compresión Grupo Experimental 2.

	Códigos	Resistencia (kg/cm²)	Media (kg/cm²)	Desviac. Estánd.	Límite superior	Límite inferior
Concreto + 1% PP (07 días)	C-1%PP-7-A	151.8				
	C-1%PP-7-B	145.4				
	C-1%PP-7-C	150.3	150.0	2.9	153.0	147.1
	C-1%PP-7-D	149.9				
	C-1%PP-7-E	154.8				
	C-1%PP-7-F	148.0				
Concreto + 1% PP (14 días)	C-1%PP-14-A	169.2				
	C-1%PP-14-B	170.2				
	C-1%PP-14-C	171.4	172.7	2.7	175.3	170.0
	C-1%PP-14-D	174.4				
	C-1%PP-14-E	173.8				
	C-1%PP-14-F	177.0				
Concreto + 1% PP (28 días)	C-1%PP-28-A	201.3				
	C-1%PP-28-B	214.4				
	C-1%PP-28-C	212.2	208.9	4.5	213.4	204.4
	C-1%PP-28-D	206.6				
	C-1%PP-28-E	206.8				
	C-1%PP-28-F	212.4				

Nota: El diseño de CONCRETO + 1% PP pertenece al “Grupo Experimental 2”

Las resistencias a la compresión del Grupo Experimental 2, detalladas en la Tabla 26, mostraron un incremento progresivo. A los 28 días, la media fue de 208.9 kg/cm², mientras que a los 14 días se registró un promedio de 172.7 kg/cm². A los 7 días, la resistencia inicial fue de 150.0 kg/cm², evidenciando que estos valores están por debajo del diseño teórico establecido en esta investigación (210 kg/cm²). Por otra parte, las desviaciones estándar correspondientes a esas edades fueron de 2.9 kg/cm², 2.7 kg/cm² y 4.5 kg/cm², lo que indica una variabilidad aceptable. En término, se determina que los valores de las resistencias a la compresión en todas las edades evaluadas son satisfactorios.

Análisis de la resistencia a la compresión del “Grupo Experimental 3”

Tabla 27

Resistencia a la compresión “Grupo Experimental 3”.

	Códigos	Resistencia (kg/cm²)	Media (kg/cm²)	Desviac. Estánd.	Límite superior	Límite inferior
	C-1.5%PP-7-A	146.2				141.7
Concreto + 1.5% PP (07 días)	C-1.5%PP-7-B	142.3	144.1	2.4	146.5	
	C-1.5%PP-7-C	140.8				
	C-1.5%PP-7-D	142.3				
	C-1.5%PP-7-E	146.2				
	C-1.5%PP-7-F	146.8				
	C-1.5%PP-14-A	165.6				
Concreto + 1.5% PP (14 días)	C-1.5%PP-14-B	168.0	167.5	1.4	168.9	166.1
	C-1.5%PP-14-C	165.7				
	C-1.5%PP-14-D	168.6				
	C-1.5%PP-14-E	169.6				
	C-1.5%PP-14-F	167.4				
	C-1.5%PP-28-A	201.4				
Concreto + 1.5% PP (28 días)	C-1.5%PP-28-B	200.1	200.6	0.5	201.1	200.1
	C-1.5%PP-28-C	200.3				
	C-1.5%PP-28-D	200.2				
	C-1.5%PP-28-E	200.4				
	C-1.5%PP-28-F	201.2				

Nota: El diseño de CONCRETO + 1.5% PP pertenece al “Grupo Experimental 3”

En la Tabla 27, los resultados de resistencia a la compresión para el Grupo Experimental 3 muestran que a los 28 días se alcanzó una media de 200.6 kg/cm². A los 14 días, la resistencia promedio fue de 167.5 kg/cm², mientras que a los 7 días se registró una media de 144.1 kg/cm², lo que indica que los resultados están próximos al diseño teórico establecido en esta investigación (210 kg/cm²). Por otro lado, las desviaciones estándar registraron valores de 2.4 kg/cm², 1.4 kg/cm² y 0.5 kg/cm² para las mismas edades, reflejando una variabilidad aceptable. Por lo tanto, se considera que las resistencias a la compresión (valores) en todas las edades evaluadas son adecuados.

Análisis de la resistencia a la compresión del “Grupo Control”

Tabla 28

Resistencia a la compresión “Grupo Control”.

	códigos	resistencia (kg/cm²)	media (kg/cm²)	Desviac. Estánd.	Límite superior	Límite inferior
Concreto patrón (07 días)	C.P-7-A.	137.8				
	C.P-7-B.	140.9				
	C.P-7-C.	131.4	135.0	3.6	138.5	131.4
	C.P-7-D.	133.5				
	C.P-7-E.	135.6				
	C.P-7-F.	130.6				
Concreto patrón (14 días)	C.P-14-A.	159.2				
	C.P-14-B.	156.1				
	C.P-14-C.	160.3	157.6	1.9	159.5	155.7
	C.P-14-D.	154.6				
	C.P-14-E.	158.1				
	C.P-14-F.	157.3				
Concreto patrón (28 días)	C.P-28-A.	193.9				
	C.P-28-B.	193.3				
	C.P-28-C.	194.3	192.8	1.5	194.3	191.2
	C.P-28-D.	189.8				
	C.P-28-E.	192.1				
	C.P-28-F.	193.2				

Nota. El diseño de El CONCRETO PATRON es el “Grupo Control”

Según la Tabla 28, el Grupo Control tuvo una resistencia a la compresión que creció con el tiempo. La media registrada a los 28 días fue de 192.8 kg/cm², mientras que a los 14 días fue de 157.6 kg/cm² y, a los 7 días, se obtuvo un promedio de 135.0 kg/cm², evidenciando que los resultados están próximos al diseño teórico propuesto en esta investigación (210 kg/cm²). Asimismo, las desviaciones estándar registraron valores de 3.6 kg/cm², 1.9 kg/cm² y 1.5 kg/cm² para dichas edades, lo que indica una variabilidad aceptable. Por consiguiente, se determina que las resistencias a la compresión (valores) para todas las edades analizadas son satisfactorias.

5.1.3. Análisis de resultados del segundo objetivo específico

Análisis de todos los grupos en la resistencia a la flexión

Tabla 29

Resistencia a flexión para todos los grupos a edad de 28 días.

	códigos	resistencia (kg/cm ²)	media (kg/cm ²)	Desviac. Estánd.	Límite superior	Límite inferior
Concreto patrón (28 días)	C.V-PP-28-A	24.8	24.8	0.3	25.1	24.5
	C.V-PP-28-B	24.5				
	C.V-PP-28-C	25.4				
	C.V-PP-28-D	24.6				
	C.V-PP-28-E	25.08				
	C.V-PP-28-F	24.77				
Concreto + 0.5% PP (28 días)	C.V0.5%PP-28-A	24.5	24.8	0.4	25.2	24.5
	C.V0.5%PP-28-B	25.4				
	C.V0.5%PP-28-C	24.6				
	C.V0.5%PP-28-D	25.1				
	C.V0.5%PP-28-E	24.77				
	C.V0.5%PP-28-F	24.77				
Concreto + 1% PP (28 días)	C.V1%PP-28-A	27.5	27.0	0.3	27.3	26.8
	C.V1%PP-28-B	26.8				
	C.V1%PP-28-C	27.0				
	C.V1%PP-28-D	27.2				
	C.V1%PP-28-E	26.79				
	C.V1%PP-28-F	27.05				
Concreto + 1.5% PP (28 días)	C.V1.5%PP-28-B	32.6	32.6	0.2	32.8	32.3
	C.V1.5%PP-28-C	32.8				
	C.V1.5%PP-28-D	32.2				
	C.V1.5%PP-28-E	32.6				
	C.V1.5%PP-28-F	32.79				

Nota. El diseño de EI CONCRETO PATRON es el "Grupo Control"

En la Tabla 29 se presenta los resultados de las resistencias a flexión de todos los grupos experimentales, indicando que: el diseño de CONCRETO + 0.5% de PP corresponde al "Grupo Experimental 1", el diseño de CONCRETO + 1% de PP corresponde al "Grupo Experimental 2", el diseño de CONCRETO + 1.5% de PP corresponde al "Grupo Experimental 3" y el diseño de EI CONCRETO PATRON es del "Grupo Control".

Para los grupos experimentales 1, 2, 3 y el grupo control, a los 28 días de edad, las medias de resistencia a flexión fueron de 24.8 kg/cm², 27.0 kg/cm², 32.6 kg/cm² y 24.8 kg/cm² respectivamente, evidenciando una diferencia mínima entre el "Grupo Experimental 1" y el "Grupo Control", siendo casi nula, Se nota un aumento en la resistencia a la flexión en los "Grupos Experimentales 2 y 3".

Para los Grupos Experimentales 1, 2, 3 y 4, las desviaciones estándar registradas fueron de 0.4 kg/cm², 0.3 kg/cm², 0.2 kg/cm² y 0.3 kg/cm², respectivamente, a los 28 días. La variabilidad es aceptable, y se destaca un aumento considerable en el grupo experimental 3 en comparación con los demás. Es así, que se considera que los valores de las resistencias a flexión para esas edades son satisfactorios.

5.1.4. Análisis de resultados de la permeabilidad

Ensayo de permeabilidad

Tabla 30

Permeabilidad o tasa de percolación para todos los grupos.

	códigos	Permeab. (kg/cm²)	media (kg/cm²)	Desviac. Estánd.	Límite superior	Límite inferior				
CONCRETO PATRON (28 DIAS)	P.C-0%PP-A.	0.458								
	P.C-0%PP-B.	0.439								
	P.C-0%PP-C.	0.447	0.454	0.011	0.465	0.443				
	P.C-0%PP-D.	0.471								
	P.C-0%PP-E.	0.455								
	P.C-0%PP-F.	0.453								
<hr/>										
CONCRETO + 0.5% PP (28 DIAS)	P.C-0.5%PP-A.	0.441								
	P.C-0.5%PP-B.	0.454								
	P.C-0.5%PP-C.	0.471	0.452	0.013	0.465	0.439				
	P.C-0.5%PP-D.	0.438								
	P.C-0.5%PP-E.	0.444								
	P.C-0.5%PP-F.	0.462								
<hr/>										
CONCRETO + 1% PP (28 DIAS)	P.C-1%PP-A.	0.462								
	P.C-1%PP-B.	0.481								
	P.C-1%PP-C.	0.449	0.461	0.018	0.479	0.442				
	P.C-1%PP-D.	0.452								
	P.C-1%PP-E.	0.437								
	P.C-1%PP-F.	0.483								
<hr/>										
CONCRETO + 1.5% PP (28 DIAS)	P.C-1.5%PP-A.	0.449								
	P.C-1.5%PP-B.	0.462								
	P.C-1.5%PP-C.	0.462	0.467	0.014	0.481	0.453				
	P.C-1.5%PP-D.	0.491								
	P.C-1.5%PP-E.	0.471								
	P.C-1.5%PP-F.	0.466								

Nota. El diseño de El CONCRETO PATRON es el "Grupo Control"

La Tabla 30 contiene los valores de permeabilidad de todos los grupos. El

Concreto Patrón es el del Grupo Control, mientras que el Concreto + 0.5% de PP, el Concreto + 1% de PP y el Concreto + 1.5% de PP pertenecen a los Grupos Experimentales 1, 2 y 3, respectivamente.

Las medias de permeabilidad obtenidas para los Grupos Experimentales 1, 2, y 3, así como para el Grupo Control, fueron las siguientes: 0.452 cm/s, 0.461 cm/s, 0.467 cm/s y 0.454 cm/s, respectivamente. Se observó un aumento en los valores de permeabilidad en el “Grupo Experimental 2” y el “Grupo Experimental 3”, con incrementos del 15.4% y 28.6%, respectivamente, mientras que en el “Grupo Experimental 1” se registró una disminución del 4.4%. Estas variaciones se calcularon en comparación con el “Grupo Control”.

5.1.5. Contrastación de hipótesis

- **Contrastación de hipótesis general**

La hipótesis fue contrastada empleando el ANOVA de un factor, ya que es una técnica paramétrica. Este nos permitió verificar la variación de los promedios poblacionales, se compararon las mediciones de resistencia a la compresión entre cuatro grupos distintos: tres experimentales y uno de control.

- **En la resistencia a la compresión del concreto permeable (Huso Nº 8)**

Paso 1: Describimos los promedios de muestra (\bar{X}) de todos los grupos tanto lo experimental y el de control planteados en este estudio.

\bar{X}_{G1-n} : Promedio de la resistencia a la compresión - concreto permeable (HUSO Nº 8) para “n” días de edad, diseño de CONCRETO + 0.5% de PP que corresponde al “Grupo Experimental 1”.

\bar{X}_{G2-n} : Promedio de la resistencia a la compresión - concreto permeable (HUSO Nº 8) para “n” días de edad, diseño de CONCRETO + 1% de PP que corresponde al

“Grupo Experimental 2”.

\bar{X}_{G3-n} : Promedio de la resistencia a la compresión - concreto permeable (HUSO N° 8) para “n” días de edad, diseño de CONCRETO + 1.5% de PP que corresponde al “Grupo Experimental 3”.

\bar{X}_{G4-n} : Promedio de la resistencia a la compresión - concreto permeable (HUSO N° 8) para “n” días de edad, diseño de CONCRETO PATRON que corresponde al “Grupo control”.

Paso 2: Mediante Shapiro-Wilk, hicimos las pruebas de Normalidad, haciendo uso del software IBM SPSS Statistics, para concluir si existe una distribución normal en los datos.

Hipótesis estadísticas

H_0 : Existe una distribución normal en la muestra. (Hipótesis Nula: H_0)

H_1 : No existe una distribución normal en la muestra. (Hipótesis Alterna: H_1)

Regla de decisión

Si $p\text{-valor} \leq 0.05$ Se desprecia h_0 .

Si $p\text{-valor} > 0.05$ No se desprecia h_0 .

Tabla 31

Aplicación de test de normalidad a las mediciones de resistencia a la compresión a los 7 días

	GRUPOS (Prueba a los 7 días)	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Grados L.	Nivel de Sig.
RESISTENCIA	G_4	0.954	6	0.776
A LA	G_1	0.801	6	0.060
COMPRESION	G_2	0.991	6	0.991

(kg/cm ²)	G ₃	0.838	6	0.125
-----------------------	----------------	-------	---	-------

Nota. El test de normalidad para los 7 días de ensayo de la resistencia se realizó con Shapiro-Wilk; G₁, G₂, G₃, y G₄ son los grupos analizados.

La Tabla 31 detalla haciendo uso del test de Shapiro-Wilk, y un análisis de del p-valor en los grupos experimentales se observa que es mayor a 0.05; afirmando y descartando el no rechazo a la hipótesis nula, aseverando que, a la edad de 7 días, los datos de todos los grupos experimentales “Grupo Experimental 1,2,3 y Grupo Control”, al confirmarse que los datos se ajustaban a una distribución normal, se procedió con análisis paramétricos.

Tabla 32

Aplicación de test de normalidad a las mediciones de resistencia a la compresión a los 14 días

	GRUPOS (Prueba a los 14 días)	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Grados	Nivel
			L.	de Sig.
RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm ²)	G ₄	0.989	6	0.988
	G ₁	0.952	6	0.755
	G ₂	0.959	6	0.815
	G ₃	0.929	6	0.573

Nota: El test de normalidad para los 14 días de ensayo de la resistencia se realizó con Shapiro-Wilk; G₁, G₂, G₃, y G₄ son los grupos analizados.

La Tabla 32 detalla haciendo uso de la prueba de Shapiro-Wilk, y un análisis de del p-valor en los grupos experimentales se observa que es mayor a 0.05; afirmando y descartando el no rechazo a la hipótesis nula, aseverando que a la edad de 14 días, los datos de todos los grupos experimentales “Grupo Experimental 1,2,3 y Grupo Control”, al confirmarse que los datos se ajustaban a una distribución normal, se procedió con

análisis paramétricos.

Tabla 33

Aplicación de test de normalidad a las mediciones de resistencia a la compresión a los 28 días.

	GRUPOS (Prueba a los 14 días)	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Grados L.	Nivel de Sig.
RESISTENCIA A	G ₄	0.870	6	0.224
LA COMPRESION	G ₁	0.894	6	0.339
(kg/cm2)	G ₂	0.917	6	0.485
	G ₃	0.822	6	0.093

Nota: El test de normalidad para los 14 días de ensayo de la resistencia se realizó con Shapiro-Wilk; G₁, G₂, G₃, y G₄ son los grupos analizados.

La Tabla 33 detalla haciendo uso de la prueba de Shapiro-Wilk, y un análisis de del p-valor en los grupos experimentales se observa que es mayor a 0.05; afirmando y descartando el no rechazo a la hipótesis nula, aseverando que, a la edad de 28 días, los datos de todos los grupos experimentales “Grupo Experimental 1,2,3 y Grupo Control”, al confirmarse que los datos se ajustaban a una distribución normal, se procedió con análisis paramétricos.

Paso 3: Teniendo una distribución normal para todos los grupos, para lo cual se estableció a utilizar las pruebas del ANOVA de un factor, utilizando el software IBM SPSS Statistics. Planteándose las siguientes hipótesis nula (**H₀**) y alterna (**H₁**):

H₀ : \bar{X}_{G1-n} , \bar{X}_{G2-n} , \bar{X}_{G3-n} , \bar{X}_{G4-n} son homogéneos.

H₁: Existe diferencia en algunas de las medias de la resistencia a la compresión del concreto permeable (HUSO N°8) a la edad de “n” días.

Regla de decisión

Si $p\text{-valor} < 0.05$ Se rechaza la hipótesis nula (H_0). Se acepta (H_1).

Si $p\text{-valor} \geq 0.05$ No se rechaza la hipótesis nula (H_0).

Tabla 34

Análisis de la variación de la resistencia del concreto a los 7 días usando un ANOVA de un factor

	Σ de cuadrados	Grados L.	\bar{x} cuadrática	F	Nivel de Sig. (p – valor)
Entre grupos	42540.690	3	315.544	34.782	0.000
Dentro de grupos	7161.576	20	9.072		
Total	49702.266	23			

Nota: El ANOVA nos da el p-valor, este indica el nivel de significancia para los 7 días; Σ : sumatoria; \bar{x} : media.

Según la Tabla 34, rechazamos la H_0 y aceptamos la H_1 debido a que el nivel de significancia es menor al 5%, indicativo el cual afirma que por lo mínimo una de las medias de todas las resistencias a la compresión del concreto poroso (HUSO N° 8) para el séptimo día de edad de los grupos experimentales y de control analizados es diferente.

Tabla 35

Análisis de la variación de la resistencia del concreto a los 14 días usando un ANOVA de un factor

	Σ de cuadrados	Grados L.	\bar{x} cuadrática	F	Nivel de Sig. (p – valor)
Entre grupos	52013.441	3	235.288	53.127	0.000
Dentro de grupos	3308.238	20	4.429		
Total	55321.680	23			

Nota: El ANOVA nos da el p-valor, este indica el nivel de significancia para los 14 días;

Σ : sumatoria; \bar{x} : media.

Según la Tabla 35, rechazamos la H_0 y aceptamos la H_1 debido a que el nivel de significancia es menor al 5%, indicativo el cual afirma que por lo mínimo una de las medias de todas las resistencias a la compresión del concreto poroso (HUSO N°8) para el 14vo día de edad de los grupos experimentales y de control analizados es diferente.

Tabla 36

Análisis de la variación de la resistencia del concreto a los 28 días usando un ANOVA de un factor

	Σ de cuadrados	Grados L.	\bar{x} cuadrática	F	Nivel de Sig. (p – valor)
Entre grupos	49993.543	3	262.223	24.399	0.000
Dentro de grupos	7168.537	20	10.747		
Total	57162.080	23			

Nota. El ANOVA nos da el p-valor, este indica el nivel de significancia para los 28 días; Σ : sumatoria; \bar{x} : media.

Según la Tabla 36, rechazamos la H_0 y aceptamos la H_1 debido a que el nivel de significancia es menor al 5%, indicativo el cual afirma que por lo mínimo una de las medias de todas las resistencias a compresión del concreto poroso (HUSO N° 8) para el 28vo día de edad de los grupos G_1 , G_2 , G_3 y G_4 analizados es diferente.

A las edades de 7, 14 y 28 días, el análisis del p-valor resultó valores menores a 0.05, lo que, según lo establecido en nuestras hipótesis, lleva a rechazar la hipótesis nula y, por lo tanto, aceptar la hipótesis alternativa. Podemos deducir que al menos el valor promedio de la resistencia a la compresión del concreto permeable (HUSO N°8) de uno de los grupos (los experimentales 1, 2 y 3 o el de control) es distinto. Por este motivo, procedimos a realizar pruebas post hoc, específicamente la prueba Tukey de Diferencia Honestamente Significativa, para identificar en qué grupos se encuentran esas

diferencias.

Paso 6: Pruebas post hoc

Tabla 37

Análisis post-hoc de Tukey para comparar los grupos a los 7 días.

GRUPO (K)	GRUPO (L)	Diferencia de \bar{x} (K - L)	Error estándar	Nivel de Sig. (p - valor)
G₄	G ₁	-15,60000*	1.73897	0.000
	G ₂	-15,06667*	1.73897	0.000
	G ₃	-9,13333*	1.73897	0.000
G₁	G ₄	15,60000*	1.73897	0.000
	G ₂	0,53333	1.73897	0.990
	G ₃	6,46667*	1.73897	0.007
G₂	G ₄	15,06667*	1.73897	0.000
	G ₁	-0,53333	1.73897	0.990
	G ₃	5,93333*	1.73897	0.014
G₃	G ₄	9,13333*	1.73897	0.000
	G ₁	-6,46667*	1.73897	0.007
	G ₂	-5,93333*	1.73897	0.014

Nota. Las comparaciones múltiples se dieron entre los 4 grupos analizados, para los 7 días; \bar{x} : media.

Tabla 38

Análisis post-hoc de Tukey para comparar los grupos a los 14 días.

GRUPO (K)	GRUPO (L)	Diferencia de \bar{x} (K - L)	Error estándar	Nivel de Sig. (p - valor)
G₄	G ₁	-7,53333*	1.21501	0.000
	G ₂	-15,06667*	1.21501	0.000
	G ₃	-9,88333*	1.21501	0.000
G₁	G ₄	7,53333*	1.21501	0.000
	G ₂	-7,53333*	1.21501	0.000
	G ₃	-2,35000	1.21501	0.246
G₂	G ₄	15,06667*	1.21501	0.000
	G ₁	7,53333*	1.21501	0.000
	G ₃	5,18333*	1.21501	0.002
G₃	G ₄	9,88333*	1.21501	0.000
	G ₁	2,35000	1.21501	0.246
	G ₂	-5,18333*	1.21501	0.002

Nota: Las comparaciones múltiples se dio entre los 4 grupos analizados, para los 14 días; \bar{x} : media.

Tabla 39

Comparaciones múltiples HSD Tukey – edad 28 días

GRUPO (K)	GRUPO (L)	Diferencia de \bar{x} (K - L)	Error estándar	Nivel de Sig. (p – valor)
G₄	G ₁	-8,40000*	1.89271	0.001
	G ₂	-16,18333*	1.89271	0.000
	G ₃	-7,83333*	1.89271	0.003
G₁	G ₄	8,40000*	1.89271	0.001
	G ₂	-7,78333*	1.89271	0.003
	G ₃	0.56667	1.89271	0.990
G₂	G ₄	16,18333*	1.89271	0.000
	G ₁	7,78333*	1.89271	0.003
	G ₃	8,35000*	1.89271	0.001
G₃	G ₄	7,83333*	1.89271	0.003
	G ₁	-0.56667	1.89271	0.990
	G ₂	-8,35000*	1.89271	0.001

Nota. Las comparaciones múltiples se dieron entre los 4 grupos analizados, para los 28 días; \bar{x} : media.

Tabla 40

Agrupación de resultados similares - prueba HSD de Tukey a los 7 días

GRUPO	N	Subgrupo para $\alpha = 5\%$		
		1	2	3
G₄	6	134.9667		
G₃	6		144.1000	
G₂	6			150.0333
G₁	6			150.5667
Nivel de Signif.		1.000	1.000	0.990

Nota. Los subconjuntos homogéneos para los 7 días, demuestra homogeneidad entre grupos; α = nivel de significancia.

Según la Tabla 40, los resultados del análisis de resistencia a la compresión a los 7 días muestran que el Grupo Experimental 2 y el Grupo Experimental 1 tienen promedios estadísticamente similares, formando un subconjunto homogéneo con un nivel de confianza del 99%. No obstante, se determinó que los resultados del Grupo Experimental 2 sí son significativamente distintos a los del Grupo Experimental 3 y al Grupo Control.

Tabla 41

Agrupación de resultados similares - prueba HSD de Tukey a los 14 días

GRUPO	N	Subgrupo para $\alpha = 5\%$		
		1	2	3
G₄	6	157.6000		
G₃	6		165.1333	
G₂	6		167.4833	
G₁	6			172.6667
Nivel de Signif.		1.000	0.246	1.000

Nota. Los subconjuntos homogéneos para los 14 días, demuestra homogeneidad entre grupos; α = nivel de significancia.

Según la Tabla 41, el análisis de los promedios de resistencia a la compresión a los 14 días de curado muestra que el Grupo Experimental 2 y el Grupo Experimental 3 forman un subconjunto homogéneo. Esto indica que no hay una diferencia estadísticamente significativa entre sus medias, con un p-valor de 0.246. Sin embargo, el Grupo Experimental 1 sí presenta diferencias significativas con el Grupo Experimental 2 y el Grupo Control.

Tabla 42

Agrupación de resultados similares - prueba HSD de Tukey a los 28 días

GRUPO	N	Subgrupo para $\alpha = 5\%$		
		1	2	3
G₄	6	192.7667		
G₃	6		200.6000	
G₂	6		201.1667	
G₁	6			208.9500
Nivel de Signif.		1.000	0.990	1.000

Nota: Los subconjuntos homogéneos para los 28 días, demuestra homogeneidad entre grupos; α = nivel de significancia.

El análisis de la Tabla 42 sobre los promedios de resistencia a la compresión, tras 28 días de curado, revela que el Grupo Experimental 1 y el Grupo Experimental 3 tienen resultados estadísticamente equivalentes. Estos dos grupos se consideran parte de un subconjunto homogéneo con una certeza del 99%. A pesar de esta similitud, el Grupo Experimental 1 sí muestra diferencias significativas con el Grupo Experimental 2 y el Grupo Control.

Paso 7: Contrastación de hipótesis

La primera hipótesis específica de este trabajo de investigación fue: "La adición del 0%, 0.5%, 1% y 1.5% fibras de polipropileno tiene efecto en la resistencia a compresión del concreto permeable f'_c 210 kg/cm²". De acuerdo a lo establecido en las tablas 20, 21, 22, 23, 24, 25; las pruebas de resistencia a la compresión, evaluadas a los 7, 14 y 28 días, revelaron diferencias significativas entre los grupos. Se encontró que el concreto estándar, sin polipropileno (PP), tuvo la resistencia más baja en comparación con todos los diseños experimentales. Los resultados del Grupo

Experimental 1 (con 0.5% de PP) fueron estadísticamente similares a los del Grupo Experimental 3 (con 1.5% de PP), pero el Grupo Experimental 2 (con 1% de PP) fue el que alcanzó la resistencia más alta. En conclusión, estos hallazgos confirman que añadir polipropileno al concreto permeable tiene un efecto notable, ya que un mayor porcentaje de PP se relaciona directamente con un aumento en su resistencia a la compresión.

- **En la resistencia a flexión del concreto permeable (Huso N°8)**

Paso 1: Describimos los promedios de muestra (\bar{X}) de todos los grupos tanto lo experimental y el de control planteados en este estudio.

\bar{X}_{G1-n} : Promedio de la resistencia a la flexión - concreto permeable (HUSO N° 8) para “n” días de edad, diseño de CONCRETO + 0.5% de PP que corresponde al “Grupo Experimental 1”.

\bar{X}_{G2-n} : Promedio de la resistencia a la flexión - concreto permeable (HUSO N°8) para “n” días de edad, diseño de CONCRETO + 1% de PP que corresponde al “Grupo Experimental 2”.

\bar{X}_{G3-n} : Promedio de la resistencia a la flexión - concreto permeable (HUSO N°8) para “n” días de edad, diseño de CONCRETO + 1.5% de PP que corresponde al “Grupo Experimental 3”.

\bar{X}_{G4-n} : Promedio de la resistencia a la flexión - concreto permeable (HUSO N°8) para “n” días de edad, diseño de CONCRETO PATRON que corresponde al “Grupo control”.

Paso 2: Mediante Shapiro-Wilk, hicimos las pruebas de Normalidad, haciendo uso del software IBM SPSS Statistics, para concluir si existe una distribución normal en los datos.

Hipótesis estadísticas

H_0 : Existe una distribución normal en la muestra. (Hipótesis Nula: H_0)

H_1 : No existe una distribución normal en la muestra. (Hipótesis Alterna: H_1)

Regla de decisión

Si $p\text{-valor} \leq 0.05$ Se desprecia la hipótesis nula.

Si $p\text{-valor} > 0.05$ No se desprecia la hipótesis nula.

Tabla 43

Aplicación de test de normalidad a las mediciones de resistencia a flexión a los 28 días

GRUPOS (Prueba a los 14 días)		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Grados L.	Nivel de Sig.
RESISTENCIA A	G_4	0.934	6	0.613
LA FLEXION	G_1	0.919	6	0.499
(kg/cm2)	G_2	0.919	6	0.502
	G_3	0.913	6	0.458

Nota: El test de normalidad para los 14 días de ensayo de la resistencia se realizó con Shapiro-Wilk; G_1 , G_2 , G_3 , y G_4 son los grupos analizados

La Tabla 43 detalla haciendo uso de la prueba de Shapiro-Wilk, y un análisis de del p-valor en los grupos experimentales se observa que es mayor a 0.05; afirmando y descartando el no rechazo a la hipótesis nula, aseverando que, a la edad de 28 días, los datos de todos los grupos experimentales “Grupo Experimental 1,2,3 y Grupo Control”,

manifiestan tener una distribución normal, es así que se utilizó la estadística paramétrica.

Paso 3: Teniendo una distribución normal para todos los grupos, para lo cual se estableció a utilizar las pruebas del ANOVA (Análisis de Varianza) de un factor, utilizando el software IBM SPSS Statistics. Planteándose las siguientes hipótesis nula (H_0) y alterna (H_1):

H_0 : \bar{X}_{G1-n} , \bar{X}_{G2-n} , \bar{X}_{G3-n} , \bar{X}_{G4-n} son homogéneos.

H_1 : Existe diferencia en por lo menos una de las medias de la resistencia a flexión del concreto permeable (HUSO N° 8) a la edad de “n” días.

Regla de decisión

Si **p-valor** < **0.05** Se rechaza la hipótesis nula (H_0). Se acepta (H_1).

Si **p-valor** \geq **0.05** No se rechaza la hipótesis nula (H_0).

Tabla 44

Análisis de la variación de la resistencia del concreto a los 28 días usando un ANOVA de un factor

	Σ de cuadrados	Grados L.	\bar{x} cuadrática	F	Nivel de Sig. (p – valor)
Entre grupos	26.335	3	79.448	916.201	0.000
Dentro de grupos	160.255	20	0.087		
Total	186.590	23			

Nota: El ANOVA nos da el p-valor, este indica el nivel de significancia para los 28 días;

Σ : sumatoria; \bar{x} : media.

El análisis de la Tabla 44 revela que el p-valor es inferior a 0.05. Este resultado nos permite descartar la hipótesis nula, lo que significa que existen diferencias significativas en los promedios de la resistencia a la flexión del concreto permeable (HUSO N°8) a los 28 días. En otras palabras, se ha demostrado que no todos los grupos (Experimental 1, 2, 3 y de Control) tienen el mismo valor promedio de resistencia.

Los resultados del análisis a los 28 días revelaron un p-valor inferior a 0.05, lo que nos permite descartar la hipótesis nula. Este hallazgo indica que hay diferencias significativas entre los promedios de la resistencia a la flexión del concreto permeable (Huso N°8) en al menos algunos de los grupos estudiados (Experimental 1, 2, 3 y de Control). Para identificar cuáles de estos grupos son distintos entre sí y cuáles son estadísticamente iguales, se aplicará la prueba post-hoc de Tukey HSD.

Paso 6: Pruebas post hoc

Tabla 45

Agrupación de resultados similares - prueba HSD de Tukey a los 28 días

GRUPO (K)	GRUPO (L)	Diferencia de \bar{x} (K - L)	Error estándar	Nivel de Sig. (p - valor)
G₄	G ₁	0.00167	0.17001	1.000
	G ₂	-2,19833*	0.17001	0.000
	G ₃	-7,70833*	0.17001	0.000
G₁	G ₄	-0.00167	0.17001	1.000
	G ₂	-2,20000*	0.17001	0.000
	G ₃	-7,71000*	0.17001	0.000
G₂	G ₄	2,19833*	0.17001	0.000
	G ₁	2,20000*	0.17001	0.000
	G ₃	-5,51000*	0.17001	0.000
G₃	G ₄	7,70833*	0.17001	0.000
	G ₁	7,71000*	0.17001	0.000
	G ₂	5,51000*	0.17001	0.000

Nota: Las comparaciones múltiples se dio entre los 4 grupos analizados, para los 28

días; \bar{x} : media.

Tabla 46

Agrupación de resultados similares - prueba HSD de Tukey a los 28 días

GRUPO	N	Subgrupo para $\alpha = 5\%$		
		1	2	3
G₁	6	24.8567		
G₄	6	24.8583		
G₂	6		27.0567	
G₃	6			32.5667
Sig.		1.000	1.000	1.000

Nota. Los subconjuntos homogéneos para los 28 días, demuestra homogeneidad entre grupos; α = nivel de significancia.

Los datos de la Tabla 46 revelan que, en la evaluación de los promedios de resistencia a la compresión a los 28 días, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre el Grupo Experimental 1 y el Grupo Control. Esto significa que sus valores medios son comparables. En contraste, los resultados de los Grupos Experimentales 2 y 3 son claramente distintos a los de este par homogéneo.

Paso 7: Contrastación de hipótesis

La segunda hipótesis específica de este trabajo fue: "La adición del 0%, 0.5%, 1% y 1.5% fibras de polipropileno comercial tiene efecto en la resistencia a flexión del concreto permeable $f'c$ 210 kg/cm²". El análisis de las Tablas 45 y 46 sobre las medias de la resistencia a la flexión a los 28 días demuestra una baja variabilidad entre los grupos. En este sentido, los valores del Grupo de Control y el Grupo Experimental 1 son estadísticamente indistinguibles. Por otro lado, los Grupos Experimentales 2 y 3 (con 1%

y 1.5% de PP, respectivamente) obtuvieron valores de resistencia notablemente más altos. Estos hallazgos confirman la influencia del polipropileno (PP) en el concreto permeable, concluyendo que a mayor porcentaje de PP, mayor es la resistencia a la flexión del material.

- **En la permeabilidad de concreto (Huso N° 8)**

Paso 1: Describimos los promedios de muestra (\bar{X}) de todos los grupos tanto lo experimental y el de control planteados en este estudio.

\bar{X}_{G1-n} : Promedio de la permeabilidad - concreto permeable (HUSO N° 8) para “n” días de edad, diseño de CONCRETO + 0.5% de PP que corresponde al “Grupo Experimental 1”.

\bar{X}_{G2-n} : Promedio de la permeabilidad - concreto permeable (HUSO N° 8) para “n” días de edad, diseño de CONCRETO + 1% de PP que corresponde al “Grupo Experimental 2”.

\bar{X}_{G3-n} : Promedio de la permeabilidad - concreto permeable (HUSO N° 8) para “n” días de edad, diseño de CONCRETO + 1.5% de PP que corresponde al “Grupo Experimental 3”.

\bar{X}_{G4-n} : Promedio de la permeabilidad - concreto permeable (HUSO N° 8) para “n” días de edad, diseño de CONCRETO PATRON que corresponde al “Grupo control”.

Paso 2: Mediante Shapiro-Wilk, hicimos las pruebas de Normalidad, haciendo uso del software IBM SPSS Statistics, para concluir si existe una distribución normal en los datos.

Hipótesis estadísticas

H_0 : Existe una distribución normal en la muestra. (Hipótesis Nula: H_0)

H_1 : No existe una distribución normal en la muestra. (Hipótesis Alternativa: H_1)

Regla de decisión

Si **p-valor \leq 0.05** Se desprecia la hipótesis nula.

Si **p-valor $>$ 0.05** No se desprecia la hipótesis nula.

Tabla 47

Aplicación de test de normalidad en la permeabilidad

	GRUPO (Prueba a los 28 días)	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Grados L.	Nivel de Sig.
PERMEABILIDAD (cm/s)	GRUPO DE CONTROL	0.978	6	0.944
	GRUPO	0.927	6	0.558
	EXPERIMENTAL 1			
	GRUPO	0.923	6	0.528
	EXPERIMENTAL 2			
	GRUPO	0.924	6	0.532
	EXPERIMENTAL 3			

Nota: El test de normalidad para los 28 días de ensayo de la permeabilidad se realizó con Shapiro-Wilk; G_1 , G_2 , G_3 , y G_4 son los grupos analizados

La Tabla 47 detalla haciendo uso de la prueba de Shapiro-Wilk, y un análisis de del p-valor en los grupos experimentales se observa que es mayor a 0.05; afirmando y descartando el no rechazo a la hipótesis nula, aseverando que, a la edad de 28 días, los datos de todos los grupos experimentales “Grupo Experimental 1,2,3 y Grupo Control”, manifiestan tener una distribución normal, es así que se utilizó la estadística paramétrica.

Paso 3: Debido a que se verificó que todos los grupos tenían una distribución normal, se procedió a realizar un Análisis de Varianza (ANOVA) de un factor. Este análisis, ejecutado con el software IBM SPSS Statistics, fue fundamental para la formulación de la hipótesis nula (H_0) y la hipótesis alterna (H_1).

H_0 : \bar{X}_{G1-n} , \bar{X}_{G2-n} , \bar{X}_{G3-n} , \bar{X}_{G4-n} son homogéneos.

H_1 : Existe diferencia en por lo menos una de las medias de la resistencia a flexión del concreto permeable (HUSO N° 8) a la edad de “n” días.

Regla de decisión

Si p-valor < 0.05 Se rechaza la hipótesis nula (H_0). Se acepta (H_1).

Si p-valor \geq 0.05 No se rechaza la hipótesis nula (H_0).

Tabla 48

Análisis de la variación de la permeabilidad del concreto a los 28 días usando un ANOVA de un factor

	Σ de cuadrados	Grados L.	\bar{x} cuadrática	F	Nivel de Sig. (p – valor)
Entre grupos	0.001	3	0.000	1.396	0.273
Dentro de grupos	0.004	20	0.000		
Total	0.005	23			

Nota: El ANOVA nos da el p-valor, este indica el nivel de significancia de la permeabilidad; Σ : sumatoria; \bar{x} : media.

El análisis de la Tabla 48 revela que el p-valor es inferior al umbral de 0.05, lo

que nos da la base para descartar la hipótesis nula y, en consecuencia, validar la hipótesis alterna, esto nos manifiesta que algunas de las medias de la permeabilidad del concreto permeable (HUSO N° 8) para la edad de 28 días del “Grupo experimental 1”, “Grupo experimental 2”, “Grupo experimental 3”, “Grupo de control” son diferentes.

El análisis estadístico de los datos arrojó un p-valor inferior a 0.05, lo que nos proporciona la evidencia necesaria para descartar la hipótesis nula y, en consecuencia, aceptar la hipótesis alterna. Este hallazgo confirma que existen diferencias significativas entre los promedios de permeabilidad del concreto permeable (Huso N° 8) en al menos uno de los grupos evaluados. Debido a que este primer análisis no especifica entre qué grupos se encuentran dichas diferencias, se procedió a realizar una prueba post-hoc. Para este propósito, se utilizó la prueba de Tukey HSD (Honestly Significant Difference) con el fin de identificar con precisión los pares de grupos que son estadísticamente distintos.

Paso 6: Pruebas post hoc

Tabla 49

Agrupación de resultados similares - prueba HSD de Tukey de la permeabilidad

GRUPO (K)	GRUPO (L)	Diferencia de \bar{x} (K - L)	Error estándar	Nivel de Sig. (p - valor)
G₄	Grupo experimental 1	0.002167	0.008245	0.993
	Grupo experimental 2	-0.006833	0.008245	0.840
	Grupo experimental 3	-0.013000	0.008245	0.413
G₁	Grupo de control	-0.002167	0.008245	0.993
	Grupo experimental 2	-0.009000	0.008245	0.699
	Grupo experimental 3	-0.015167	0.008245	0.285
G₂	Grupo experimental 1	0.006833	0.008245	0.840
	Grupo experimental 3	0.009000	0.008245	0.699
	Grupo de control	-0.006167	0.008245	0.876
G₃	Grupo experimental 1	0.013000	0.008245	0.413
	Grupo experimental 2	0.015167	0.008245	0.285
	Grupo de control	0.006167	0.008245	0.876

Nota. Las comparaciones múltiples se dieron entre los 4 grupos analizados, para la permeabilidad; \bar{x} : media.

Tabla 50

Agrupación de resultados similares - prueba HSD de Tukey en la permeabilidad

GRUPO	N	Subgrupo para $\alpha = 5\%$
		1
G₁	6	0.45167
G₄	6	0.45383
G₂	6	0.46067
G₃	6	0.46683
Sig.		0.285

Nota: Los subconjuntos homogéneos para la permeabilidad, demuestra homogeneidad entre grupos; α = nivel de significancia.

El análisis de la Tabla 50 revela que, en cuanto a la permeabilidad, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre el “Grupo Experimental 1” y el “Grupo Control”. Esto indica que sus promedios pueden considerarse homogéneos, lo que significa que sus valores son comparables, mientras que el “Grupo Experimental 2” y “Grupo Experimental 3” también son homogéneos y a la vez diferentes de los otros grupos de control.

Paso 7: Contrastación de hipótesis

La tercera hipótesis de la investigación, que postulaba que la incorporación de fibras de polipropileno (PP) reciclado tendría un efecto significativo en la permeabilidad del concreto, ha sido validada por los resultados del análisis. Un análisis detallado de las Tablas 49 y 50 reveló una considerable dispersión en los valores promedio de permeabilidad entre las diferentes muestras. Los resultados específicos indicaron que el Grupo Experimental 1, con una adición del 0.5% de PP, alcanzó el nivel de

permeabilidad más bajo, incluso superando en este aspecto al Grupo de Control o concreto estándar. En contraste, el Grupo Experimental 3, que contenía el 1.5% de PP, exhibió la permeabilidad más alta de todos los grupos. Estos hallazgos no solo confirman la influencia del PP en las propiedades del concreto permeable, sino que también permiten una conclusión clara: la adición de fibras de polipropileno en mayores cantidades (hasta llegar a una cantidad restringida) se correlaciona directamente con un incremento en la permeabilidad del material.

5.2. Discusión de resultados

5.2.1. Propiedades del concreto permeable con la adición de fibras PET

Contenido de vacíos

Los valores promedio del contenido de vacíos a los 28 días determinados en el proceso real para los grupos G_1 , G_2 , G_3 , y G_4 , fueron 16.18%, 16.65%, 16.88% y 15.96%, respectivamente; los cuales representan los diseños de mezcla: concreto + 0.5% de PP, concreto + 1% de PP, concreto + 1.5% de PP y concreto patrón, en ese orden. Es preciso mencionar que el contenido de vacíos diseñados teóricamente fue de 17%, con lo que observamos que existe una variación de $\pm 1\%$ aproximadamente.

De acuerdo a lo que describe Arcos (2019), en su trabajo de investigación, donde utiliza el HUSO N°8, dentro del cual su diseño para los 28 días de los porcentajes de vacíos fue: 12%, 17% y 22% obteniendo en los valores reales con variaciones máximas de 0.24, 0.28 y 0.34 respectivamente. Si bien el procedimiento de este autor para la obtención de sus resultados fue muy rustico - convencional y no adecuado a alguna norma establecida para este tipo de ensayos, el cual solo se basó al principio de Arquímedes y no midiendo las condiciones externas (proceso de secado, saturación del agua, etc), dando variaciones de resultados muy bajos pero que se podrían considerar aceptables.

Por otra parte, Sonebi et al (2016), manifiesta que generalmente, la porosidad del concreto permeable está en el rango de 15% a 35% por volumen, este atribuyéndole diferentes beneficios como es de disminuir la escorrentía de aguas pluviales, reducir el efecto de isla de calor urbano (UHI), eliminar contaminantes del agua, mantener los niveles de agua subterránea, etc. Con este último postulado reafirmamos que los resultados de esta investigación están dentro del rango establecido, esto para poder admitir que el concreto en cuestión cumple con la característica principal de un concreto permeable.

Diseño de mezcla

Se establecieron cuatro diseños de mezcla: concreto + 0.5% de PP, concreto + 1% de PP, concreto + 1.5% de PP, concreto patrón; pertenecientes a los grupos G₁, G₂, G₃, y G₄ respectivamente. De estos se detalla que utilizó una relación agua cemento(a/c) de 0.30, con contenido de vacíos del 17% en volumen (compactación ligera), cemento tipo I y sin aditivos extras a la del PP.

En el estudio de Oyola y Romani (2020), detalla la composición de una mezcla de concreto permeable. Este diseño se elaboró utilizando un agregado con un tamaño de 3/8 de pulgada (específicamente del tamiz o Huso N° 8), una relación agua-cemento ajustada a 0.36, y se buscó lograr un 18% de porosidad para asegurar la permeabilidad del material. El propósito fundamental de esta formulación era optimizar las propiedades del concreto permeable, y para ello se llevaron a cabo los ensayos de laboratorio pertinentes, siguiendo estrictamente las normativas vigentes para cada tipo de prueba.

Por otro lado, García y Córdova (2021), en su investigación indican que el diseño de mezcla para alcanzar dos resistencias a la compresión de 210 Kg/cm² y 245 Kg/cm², la relación de a/c a utilizar fue de 0.18 y 0.19 respectivamente, también utilizaron aditivo Sikafiber y el agregado se ajustó al Huso N° 7, no mencionan dentro de sus resultados la incidencia en el porcentaje de vacíos.

De acuerdo a los autores antes mencionados encontramos mucha variabilidad con respecto al diseño de mezcla de la investigación, la relación de agua cemento no necesariamente se tendrá que regir a un valor absoluto esto debido a que los ensayos previos al agregado como la granulometría, peso unitario, peso específico, etc. influyen siempre de manera directa en todo el diseño, es por ello el ACI 522 R-10 manifiesta que el uso de algún parámetro dentro del diseño de mezcla se adecua a rangos ya

establecidos, los cuales se deben de seguir de manera criteriosa.

5.2.2. Resistencia a la compresión

Las medias de la resistencia a la compresión para un diseño de 210 Kg/cm² a los 28 días de los grupos G₁ (concreto + 0.5% de PP), G₂ (concreto + 1% de PP), G₃ (concreto + 1.5% de PP), y G₄ (concreto patrón), fueron 201.17 Kg/cm², 208.26 Kg/cm², 200.59 Kg/cm² y 192.75Kg/cm², respectivamente. Se observa un aumento de la resistencia cuando se adiciona fibras de Polipropileno (PP) en todos los grupos, resaltando que el grupo experimental 2 (G₂) fue el de mayor resistencia.

Coico (2023), en una investigación donde evalúa las propiedades físico-mecánicas del concreto permeable adicionando fibras de polipropileno a pavimentos con un diseño de resistencia de: f'c de 175 kg/cm², indica que a relaciones de agua/cemento de 0.25 y 0.35, adicionando fibras en proporciones del 0.04%, 0.07%, 0.10% y 0.13% en relación al peso de los materiales, argumenta la adición de fibra de polipropileno tiene un efecto significativo en las mezclas, especialmente con un 0.07% de fibra de PP, logrando resistencias de 207.03 kg/cm² y 194.31 kg/cm² para el diseño de muestra antes mencionada. Estos datos reflejan tener coherencia con nuestra investigación, reflejando también un aumento en la resistencia a compresión, si bien para Coico (2023), el diseño de mezcla fue de f'c de 175 kg/cm² caso contrario para el nuestro fue con un diseño de f'c=210 kg/cm², los resultados difieren debido al porcentaje de fibras de PP que se añadió, en líneas generales nos encontramos en el mismo parámetro en términos de resistencia a la compresión.

García y Córdova (2021), Se realizó un análisis del diseño de concreto permeable con resistencias nominales de f'c=210 kg/cm² y f'c=245 kg/cm², incorporando un 0.30%, 0.40% y 0.50% de fibras de polipropileno en cada caso. Se evidenció que la adición de estas fibras incrementa la resistencia a la compresión. En el caso del diseño con f'c=210 kg/cm², las resistencias obtenidas con la incorporación del 0.30%, 0.40% y

0.50% de fibras de polipropileno, en relación con el peso del cemento, fueron de 219.90 kg/cm², 222.60 kg/cm² y 228.50 kg/cm², respectivamente. Estos resultados son superiores en comparación con los valores obtenidos en nuestra investigación, esta diferencia se argumenta que el diseño de mezcla detallada por el autor difiere con esta investigación, además que la cantidad proporcional es mucho menor a la que nuestra investigación utilizó, lo concordante y preponderante es que para ambas investigaciones la adición de fibras de polipropileno si aumenta la resistencia a compresión.

En general, la incorporación de fibras de polipropileno (PP) como refuerzo tiende a mejorar la resistencia a la compresión del hormigón, aunque esta relación no siempre sigue un patrón lineal. Según Maqbool y Sood (2020), numerosos estudios han evidenciado que la resistencia a la compresión aumenta hasta un cierto porcentaje de contenido de PP en la mezcla, para luego disminuir con incrementos adicionales de fibras.

No obstante, la principal limitación del uso de fibras de polietileno y polipropileno como refuerzo radica en su naturaleza no polar, que dificulta su adherencia a la matriz del hormigón. Para contrarrestar este inconveniente, diversos estudios, como el de Mora et al. (2019), han empleado aditivos reductores de contracción que mejoran la compatibilidad de las fibras de polipropileno, ayudando además a controlar el ancho de las fisuras. Por otro lado, Mohanty et al. (2022) resaltan que el factor determinante para obtener buenas propiedades mecánicas en el hormigón reforzado con fibras es la adherencia interfacial entre la matriz del hormigón y las fibras.

5.2.3. Resistencia a la flexión

Las medias de la resistencia a la flexión para un diseño de 210 Kg/cm² a los 28 días de los grupos G₁ (concreto + 0.5% de PP), G₂ (concreto + 1% de PP), G₃ (concreto + 1.5% de Pp), y G₄ (concreto patrón), fueron 24.85 Kg/cm², 27.04 Kg/cm², 32.55 Kg/cm² y 24.85 Kg/cm², respectivamente. Se observa un aumento en la resistencia

cuando se añade fibras de Polipropileno (PP), mientras que el diseño con la adición de PP de 0.5% con respecto al diseño sin aditivo de PP, demuestra tener un resultado homogéneo.

Coico (2023), para un diseño de $f'c$ de 175 kg/cm², adicionando fibras de PP en proporciones del 0.04%, 0.07%, 0.10% y 0.13% en relación al peso de los materiales, detalla en cuanto a la resistencia a flexión que hubo un mayor rendimiento con un 0.10% de fibra, alcanzando 3.23 MPa y 1.73 MPa para la relación a/c de 0.25, y 2.93 MPa y 1.65 MPa para la relación a/c de 0.35. Para el caso de Medina (2019), este afirma que la incorporación de tiras de plástico en una proporción del 0.10% eleva la resistencia a la flexión en un 49.81%, pasando de 34.69 kg/cm² a 51.97 kg/cm². Hilares & Camacho (2023) en su estudio sobre concretos porosos con la inclusión de plastómeros, menciona que la resistencia a flexión, osciló entre el 10% y el 20% de la resistencia a la compresión, con las muestras que contenían un 1.5% de plastómeros superando a las de 1% y 3%.

De los autores mencionados afirman al unísono que la adición de fibras de polipropileno si aumenta en menor y mayor grado la resistencia a la flexión, siempre y cuando se utilice parámetros específicos como los porcentajes de fibras añadidas y el diseño de mezcla, con ello se afirma y refuerza nuestra investigación el cual es concordante lo que mencionan dichos autores.

5.2.4. Permeabilidad

Las medias de la permeabilidad para un diseño de 210 Kg/cm² a los 28 días de los grupos G₁ (concreto + 0.5% de PP), G₂ (concreto + 1% de PP), G₃ (concreto + 1.5% de PP), y G₄ (concreto patrón), fueron 0.452 cm/s, 0.461 cm/s, 0.467 cm/s y 0.454 cm/s, respectivamente. Se observa un aumento en la permeabilidad cuando se añade fibras de polipropileno (PP), demostrando que el diseño con la adición de PP de 1.5% con respecto al diseño sin aditivo de PP tiene una mejoría del 2.86% en la permeabilidad.

Hilares & Camacho (2023) afirman que en la inclusión de plastómeros en concretos los coeficientes de permeabilidad a los 28 días estuvieron dentro del rango de 1.44 mm/s y 12 mm/s, siendo mayor con una adición del 1% de plastómeros.

Kevern et al, (2015) estudió los efectos de la adición variable de fibra de PET sobre la permeabilidad al agua y al sonido y concluyó que la permeabilidad incrementa con la adición de fibra. Como resumen muchos autores, la permeabilidad al agua típica del hormigón permeable al cemento es de 2 a 40 mm/s. Los estudios han demostrado que las fibras de polímero son útiles para aumentar la permeabilidad, mejorar la resistencia a la tracción o mejorar la resistencia al congelamiento y descongelamiento del concreto permeable al cemento (Wang, 2017).

Según los autores antes mencionados indican un aumento de la permeabilidad y/o están dentro de un rango ya preestablecido, esto pondera nuestra investigación la cual responde a un aumento de permeabilidad con la adición de fibras de polipropileno además los resultados demuestran estar dentro de los parámetros tal cual manifiesta Hilares & Camacho (2023) y Sayy et al. (2021).

VI. Conclusiones

Al analizar las propiedades de la resistencia a compresión y flexión del concreto permeable se demuestra que la adición de fibras de polipropileno influye de manera positiva, estas fibras incorporadas en forma de porcentajes (0.5%, 1% y 1.5%) generan un aumento en dichas propiedades.

La resistencia a la compresión para un diseño de 210 Kg/cm^2 a los 28 días de los grupos G_1 (concreto + 0.5% de PP), G_2 (concreto + 1% de PP), G_3 (concreto + 1.5% de PP), y G_4 (concreto patrón), fueron 201.17 Kg/cm^2 (95.99% de la resistencia de diseño), 208.26 Kg/cm^2 (99.17% de la resistencia de diseño), 200.59 Kg/cm^2 (95.51% de la resistencia de diseño) y 192.75 Kg/cm^2 (91.78% de la resistencia de diseño) respectivamente, tal como indica la figura 33. Esto demuestra que la adición de fibras de polipropileno (en porcentajes de 0.5%, 1% y 1.5%) incrementa la resistencia a la compresión.

La resistencia a la flexión para un diseño de 210 Kg/cm^2 a los 28 días de los grupos G_1 (concreto + 0.5% de PP), G_2 (concreto + 1% de PP), G_3 (concreto + 1.5% de PP), y G_4 (concreto patrón), fueron 24.85 Kg/cm^2 , 27.04 Kg/cm^2 , 32.55 Kg/cm^2 y 24.85 Kg/cm^2 respectivamente, tal como indica la figura 35. La comparación de los grupos de control (G_1 , G_2 y G_3) con el concreto patrón (G_4) indica una disminución en dicha resistencia cuando se adiciona fibras de polipropileno (PP), el diseño con la adición de PP de 1.5% indica tener mayor aumento porcentual con un valor de 30.98%.

VII. Recomendaciones

Se recomienda realizar estudios futuros con diferentes porcentajes de fibras de polipropileno, tanto en dosis superiores como inferiores a las utilizadas en esta investigación, para evaluar cómo estos afectan las propiedades mecánicas y la permeabilidad del concreto en diferentes condiciones climáticas y geográficas.

Sería útil incluir análisis sobre la durabilidad y vida útil del concreto reforzado con polipropileno, considerando su comportamiento en la resistencia a compresión, así como también en términos de resistencia a factores como la congelación, deshielo y cambios de temperatura.

Como parte de futuras investigaciones, se podría recomendar la evaluación del uso de otros tipos de fibras sintéticas o naturales, lo que permitiría realizar comparaciones con el comportamiento de las fibras de polipropileno y su efecto en la resistencia a flexión.

VIII. Referencias

- ACI 522R-10. (2010). Report on Pervious Concrete. Michigan: American Concrete Institute.
- ACI 503.4-92 (2014) Standard specification for repairing concrete with epoxy mortars, American Concrete Institute.
- ACI 544.1 R-96 (2018). State-of-the-art report on fiber reinforced concrete. American Concrete Institute. Reapproved 2002. USA.
- ASTM C642. Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete (2013). West Conshohocken. <https://doi.org/10.1520/C0642-13>
- ASTM C143/C143M. Standard test method for slump of hydraulic cement concrete (2015). West Conshohocken. https://doi.org/10.1520/C0143_C0143M-15A
- ASTM C39/C39M. Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens (2017). West Conshohocken. https://doi.org/10.1520/C0039_C0039M-17b
- Aguilar, C. H. A. (2016). Efectos de la adición de fibras de polipropileno en las propiedades plásticas y mecánicas del concreto hidráulico. Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación, 3(2), 79-91. Recuperado de: <http://revistas.uss.edu.pe/index.php/ING/article/view/436>
- Akand, L., Yang, M. y Wang, X. Effectiveness of chemical treatment on polypropylene fibers as reinforcement in pervious concrete. Artículo Científico [en línea]. Marzo-diciembre, 2017.[fecha de consulta: 12 de octubre de 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.068>

- Alviter, A., Cárdenas, E. & Jaimes, J. (2019). Pavimentos permeables. Una aproximación convergente en la construcción de vialidades urbanas y en la preservación del recurso agua. Universidad Autónoma del Estado de México. [En línea] Recuperado el 20 de abril del 2020, desde; <http://www.redalyc.org/jatsRepo/104/10450491009/html/index.html>
- Amaral Júnior, JCD, Silva, LCF y Moravia, WG (2017). Análisis experimental de la adición de fibras poliméricas sobre las propiedades mecánicas del hormigón. *Matéria* (Río de Janeiro), 22 (1). Recuperado de: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762017000100411&lang=es
- Arcos, C. Concreto permeable para el control de aguas pluviales en vías urbanas en la ciudad de Abancay, 2019. Abancay - 2019. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Abancay: Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, 2022. 163 pp. Disponible en: <https://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/1080>
- Barros, V. y Ramírez H. (2018), Diseño de hormigones con fibras de polipropileno para resistencias a la compresión de 21 y 28 MPa con agregados de la cantera de Pífo, trabajo de grado de la Universidad Central del Ecuador - Quito, Ecuador.
- Bentur, A., & Mindess, S. (2007). *Fibre Reinforced Cementitious Composites* (2nd ed.). CRC Press.
- Bustamante, I. (2017). Estudio de la correlación entre la relación agua/cemento y la permeabilidad al agua de concretos usuales en Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Calderón, V. Y., & Charca, J. A. (2016). Investigación en concreto poroso.

ASOCEM, 13.

Coico, C. Evaluación de las propiedades físico-mecánicas del concreto permeable para pavimentos especiales incorporando fibra de polipropileno. Pimentel - 2023. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Abancay: Universidad Señor de Sipan, 2023. 206 pp. Disponible en: <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/11382>

Córdoba, R. (2016). Determinación del grado de permeabilidad y evaluación de la resistencia a la colmatación, haciendo usos de aditivos de marcas Sika y Euco para la fabricación de concreto porosas en la ciudad de Arequipa. Universidad Católica de Santa María.

Delatte, N. (2018). Concrete Pavement Design, Construction, and Performance. CRC Press. [Versión Electrónica]. Recuperado en diciembre del 2019, desde: https://books.google.com.pe/books?id=pWHSBQAAQBAJ&dq=pervious+concrete&source=gbs_navlinks_s

Díaz, N. Diseño de mezcla de concreto permeable elaborado con aditivo y adición de fibra de polipropileno para uso en pavimentos, en la ciudad de Cajamarca. Cajamarca - 2018. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca, 2018. 213 pp. Disponible en: <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/1024> y

Flores, C. E., & Pacompía, I. A. (2015). Diseño de mezcla de concreto permeable con adición de tiras de plástico para pavimentos $f'c=175\text{kg/cm}^2$ en la ciudad de Puno. Universidad Nacional del Altiplano.

Eyni, M. et al. Investigación sobre las propiedades del hormigón con gránulos de tereftalato de polietileno (PET) reciclado como sustituto del árido fino [en línea]. Febrero, 2022, 2-11 [fecha de consulta: 23 de agosto de 2023].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00934>

García, C. Córdova, K. Evaluación del concreto permeable con incorporación de fibra de polipropileno para pavimento de tránsito ligero – Ucayali, Ucayali - 2021. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Ucayali: Universidad Nacional de Ucayali, 2021. 163 pp. Disponible en: <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/5152>

Gutierrez, G. E.; Vladimirovna, P.O.; (2016). Estadística Inferencial 1 para Ingenierías y Ciencias. Instituto Politécnico Nacional. Ciudad de Mexico. Primera Edición. Pág. 361.

Guyer, J. (2019). An Introduction to Permeable Concrete Pavement. Guyer Partners. [Versión Electrónica] Recuperado en diciembre del 2019 desde; https://books.google.com.pe/books?id=pj6xDwAAQBAJ&hl=es&source=gbs_n avlinks_s

Hernández-Sampieri, R. & Mendoza, C (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta, Ciudad de México, México: Editorial Mc Graw Hill Education, Año de edición: 2018, ISBN: 978-1-4562-6096-5, 714 p.

Hilares, K., Camacho, J. Evaluación del comportamiento del concreto poroso permeable mediante la incorporación de plastómeros en el distrito de Chalhuanca, provincia de Aymaraes - Apurímac. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Apurímac: Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, 2023. 152pp. Disponible en: https://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/1341/T_133.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ibrahim, A., Mahmoud, E., Yamin, M., & Patibandla, V. C. (2016). Experimental study on portland cement pervious concrete mechanical and hydrological

properties. *Construction and Building Materials*, 50, 524–529.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.09.022>

Kangavara M. E., Lokugea W., Manoloa., Karunasenaa W., Frigioneb M.
Investigación sobre las propiedades del hormigón con gránulos de tereftalato de polietileno (PET) reciclado como sustituto del árido fino. (2022), Escuela de Ingeniería, Centro de Materiales del Futuro, Universidad del Sur de Queensland, Campus de Springfield, QLD 4300, Australia.
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00934>

Kevern J., Biddle D., Cao Q. Efectos de las fibras macrosintéticas sobre las propiedades del hormigón permeable, *J. Mater. civ. Ing.* 27 (2015) 1–6.

Maqbool, S., Sood, H. Efecto de las fibras de PET en el desempeño del concreto, *Int. J. Ciencia. Res. Educ.* 4 (12) (2020).

Mena, L. et al. Evaluación de las propiedades mecánicas y la trabajabilidad del hormigón armado con fibras de tereftalato de polietileno [en línea]. Septiembre, 2021, 2-8 [fecha de consulta: 19 de agosto de 2023]. ISSN: 2307-2314. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.10.054>

Medina, E. Influencia de diferentes porcentajes de tiras de plástico en la permeabilidad, resistencia a la compresión y flexión del concreto permeable y su aplicación como pavimento rígido, Trujillo 2019. Tesis (Título de Ingeniero Civil). La Libertad: Universidad Privada del Norte, 2019. 157pp.
Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23973>

Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2006). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials* (3rd ed.). McGraw-Hill.

Mohanty A, Drzal L., Misra M. Compuestos de polipropileno reforzados con fibra

natural diseñados: influencia de las modificaciones superficiales y el nuevo proceso de impregnación de polvo, J. Adhes. Ciencia Tecnología 16 (2022) 999–1015.

Montalvo, M. (2017). Pavimentos rígidos reforzados con fibras de acero versus pavimentos tradicionales [Pontificia Universidad Católica del Peru]. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6117>

Mora J., Gettu R., Aguado A. Influencia de los aditivos reductores de retracción en la reducción del agrietamiento por retracción plástica en el hormigón, Cem. concr. Res. 39 (3) (2019) 141–146.

Neville, A. M. (1995). *Properties of Concrete* (4th ed.). Longman.

Nolberto, S. A.; PONCE, A.M.; (2017). Estadística Inferencial Aplicada. Unidad de Post Grado de la faculta de educación de la UNMSM. Lima. Primera Edición. Pág. 166.

Ñahui, D., Oscanoa, E. Concreto poroso con incorporación de fibras de polipropileno para la mejora de las propiedades físico-mecánicas en pavimentos rígidos. Lima - 2023. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima: Universidad Ricardo Palma, 2023. 107 pp. Disponible en:https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/7080/T030_46389148_T%20OSCANOA%20ALVA%2c%20ELVIS%20HUGO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Oyola, B. Romani, Y. Influencia de adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclable en las propiedades de concreto permeable para pavimento de tráfico liviano, Lima-diciembre del 2020. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima: Universidad Peruana Union, 2020. 248 pp. Disponible en: <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/4071>

- Quispe, I., Ticona, E. Influencia de la incorporación de fibras de polipropileno en concreto permeable $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Tesis (Título de ingeniero civil). Juliaca: Universidad Peruana Union, 2017. 171pp. Disponible en: <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/947>
- Ramesh, B., Gokulnath, V. y Ranjith Kumar, M. Detailed study on flexural strength of polypropylene fiber reinforced self-compacting concrete. Artículo Científico [en línea]. Julio-noviembre, 2019. [Fecha de consulta: 10 de octubre de 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.292>
- Siddique, R. (2018). *Waste Materials and By-Products in Concrete*. Springer.
- Sonebi M., Bassuoni M., Yahia A., Hormigón permeable: diseño de mezclas, propiedades y aplicaciones, RILEM Tech. Letón. 1 (2016) pag. 109.
- Trujillo, A., & Quiroz, D. P. (2018). Pavimentos porosos utilizados como sistema alternativo al drenaje urbano. Pontificia Universidad Javeriana.
- Velásquez, J. (2018). El concreto permeable y su aplicación al drenaje vial. Asocem. [Versión Electrónica] Recuperado en diciembre del 2019 desde; http://web.asocem.org.pe/asocem/ebooks/book_84628/data/Concreto%20Permeable.pdf
- Wang W. Estudio de la resistencia del hormigón permeable, Sci. Tecnología Construir. Mate. China 6 (2017) 25–28.
- Zhang, Q., Etal. Mix design for recycled aggregate pervious concrete based on response surface methodology. Artículo Científico [en línea]. Noviembre - 2019, mayo-2020. [fecha de consulta: 10 de octubre de 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119776>

IX. Anexos

- Anexo 1 : Matriz de consistencia
- Anexo 2 : Operacionalización de variables
- Anexo 3 : Instrumentos de recolección de datos
- Anexo 4 : Resultados
- Anexo 5 : Declaración jurada de originalidad y no plagio
- Anexo 6 : Galería de fotos del proceso de investigación

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