



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**EFFECTO DE LA ADICIÓN DE FIBRAS PET RECICLADAS EN
LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DEL CONCRETO
PERMEABLE $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ PARA PAVIMENTOS EN LA
CIUDAD DE AYAVIRI**

TESIS

PRESENTADA POR:

BLADIMIR JHULYNIO HUAYNASI PARI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2024



NOMBRE DEL TRABAJO

**EFFECTO DE LA ADICIÓN DE FIBRAS PET
RECICLADAS EN LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DEL CONCRETO PER**

AUTOR

BLADIMIR JHULYNIO HUAYNASI PARI

RECuento de palabras

35345 Words

RECuento de caracteres

184470 Characters

RECuento de páginas

193 Pages

Tamaño del archivo

5.7MB

FECHA DE ENTREGA

Jul 24, 2024 9:31 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jul 24, 2024 9:34 AM GMT-5

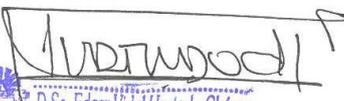
● **14% de similitud general**

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

- 12% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 8% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)


D.Sc. Edgar Vidal Hurtado Chávez
ING. CIVIL CIP: 37002
DOCENTE

VºBº

25 Julio 2024
Ing. Jaime Medina Leiva
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 910546
SUBDIRECCION DE INVESTIGACION EPIC

[Resumen](#)



DEDICATORIA

Dedico mi tesis principalmente a Dios, quien me dio la fuerza necesaria para lograr este objetivo.

A mis padres, Don Julio H. Huaynasi Muñoz y Doña Cristina Pari Mamani. Gracias por enseñarme a afrontar las adversidades.

A mis hermanos Silvia y Yeltsin por su apoyo y compartir sus experiencias y alegrías.

Bladimir Jhulynio Huaynasi Pari



AGRADECIMIENTOS

Ante todo, quiero agradecer a Dios por darme la fuerza y el vigor necesario para llevar a cabo mi investigación a pesar de los obstáculos que he encontrado en el camino.

Quisiera reconocer y agradecer a mis padres, así como a toda mi familia, por su inquebrantable apoyo, paciencia e invaluable consejos.

A mi alma mater, por impartirme competencias esenciales que han desempeñado un papel crucial en mi desarrollo tanto académico como profesional.

A mis jurados, D.Sc. Cesar Edwin Guerra Ramos, Ing. Silvia Leonor Ingaluque Arapa y a la Ing. Gleny Zoila De La Riva Tapia, cuya dedicación y asesoramiento perspicaz, los cuales han sido cruciales para el desarrollo y culminación de mi investigación.

También quisiera reconocer al D. Sc. Edgar Vidal Hurtado Chávez, mi director de tesis, quien ha sido mi guía y apoyo constante para superar los obstáculos que se han presentado.

A mis amigos y compañeros que siempre estuvieron dispuestos a brindarme su apoyo incondicional cuando más lo necesité, así como a mis docentes, que compartieron sus conocimientos a lo largo de mi formación.

Finalmente, estoy agradecido a todos los que me han ayudado de alguna manera.

Bladimir Jhulynio Huaynasi Pari



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	20
ABSTRACT.....	21
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	22
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	24
1.2.1. Problema general.....	24
1.2.2. Problemas específicos	24
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	24
1.3.1. Hipótesis general.....	24
1.3.2. Hipótesis específicas	24
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	25
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
1.5.1. Objetivo general	25
1.5.2. Objetivos específicos	26

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA



2.1.	ANTECEDENTES	27
2.1.1.	Antecedentes internacionales	27
2.1.2.	Antecedentes nacionales	30
2.1.3.	Antecedentes locales	35
2.2.	MARCO TEÓRICO	40
2.2.1.	Concreto Permeable	40
2.2.2.	Componentes del concreto permeable.....	41
2.2.2.1.	Agregados	41
2.2.2.2.	Cemento	42
2.2.2.3.	Agua.....	42
2.2.3.	Propiedades del concreto permeable	43
2.2.3.1.	Propiedades físicas	43
2.2.3.2.	Propiedades mecánicas	44
2.2.3.3.	Propiedades hidráulicas.....	45
2.2.4.	Aplicaciones	46
2.2.5.	Proceso de construcción del concreto permeable.....	47
2.2.5.1.	Preparación del suelo	47
2.2.5.2.	Proyecto y dimensionamiento.....	47
2.2.5.3.	Selección de materiales.....	47
2.2.5.4.	Mezcla.....	48
2.2.5.5.	Curado.....	48
2.2.5.6.	Mantenimiento	48
2.2.6.	Beneficios y limitaciones del concreto permeable.....	49
2.2.7.	Compactación del concreto permeable	50
2.2.8.	Juntas en el concreto permeable.....	52
2.2.9.	Tereftalato de polietileno	54
2.2.9.1.	Propiedades	54
2.2.9.2.	Aplicaciones del PET.....	56
2.2.9.3.	Reciclaje del PET.....	58



2.2.9.4. Fibras PET reciclado	59
2.2.9.5. Implementación de fibras PET recicladas en el concreto	60
2.2.10. Diseño estructural del pavimento permeable	60
2.2.10.1. Sub base	60
2.2.10.2. Geomembrana de HDPE	61
2.2.10.3. Subrasante	61
2.2.10.4. Drenaje subterráneo	61
2.2.10.5. Método AASHTO 93	62
2.2.10.6. Factores de diseño	62
2.2.11. Estudio Geotécnico	63
2.2.12. Estudio Topográfico	63

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO	65
3.1.1. Condiciones Geográficas y climáticas	66
3.1.2. Condiciones del suelo	66
3.1.3. Infraestructura existente	66
3.1.4. Aspectos Socioeconómicos	66
3.2. PERIODO DE DURACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	67
3.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	67
3.3.1. Tipo de investigación	67
3.3.2. Nivel de investigación	68
3.3.3. Diseño de investigación	68
3.3.4. Enfoque de la investigación	69
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO	69
3.4.1. Población	69
3.4.2. Muestra	70



3.5.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	72
3.6.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	72
3.6.1.	Técnicas de recolección de datos	72
3.6.2.	Instrumentos de recolección de datos	73
3.6.3.	Procedimiento de recolección de datos	73
3.6.4.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	74
3.7.	PROCEDENCIA DE LOS MATERIALES EMPLEADOS.....	74
3.7.1.	Agregado fino y grueso	74
3.7.2.	Cemento	75
3.7.3.	Fibras de tereftalato de polietileno.....	76
3.7.4.	Agua	77
3.8.	ENSAYO DE LOS AGREGADOS.....	77
3.8.1.	Ensayos para la obtención de las propiedades físicas de los agregados .	77
3.8.1.1.	Contenido de humedad de los agregados.....	77
3.8.1.2.	Peso específico y absorción del agregado fino	79
3.8.1.3.	Peso específico y absorción de los agregados gruesos	83
3.8.1.4.	Peso unitario de los agregados	85
3.8.1.5.	Análisis granulométrico	89
3.8.1.6.	Módulo de fineza de los agregados.....	92
3.8.1.7.	Abrasión los ángeles	93
3.9.	DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO PERMEABLE	95
3.9.1.	Procedimiento del diseño de mezclas	95
3.9.1.1.	Elección del contenido de vacíos de acuerdo a la f^c de diseño	95
3.9.1.2.	Elección de la relación agua/cemento.....	96
3.9.1.3.	Obtención del volumen de la pasta	96
3.9.1.4.	Métodos de volúmenes absolutos y correcciones	98
3.9.1.5.	Corrección por humedad y absorción	98
3.9.2.	Diseño de mezcla final	99



3.9.2.1. Materiales	99
3.9.2.2. Criterios de diseño	99
3.9.2.3. Elección del contenido de vacíos de acuerdo a la $f'c$ de diseño	100
3.9.2.4. Elección de la relación agua/cemento	100
3.9.2.5. Elección del volumen de la pasta	101
3.9.2.6. Determinación de volúmenes absolutos.....	103
3.9.2.7. Corrección del agregado grueso por incorporación de agregado fino	103
3.9.2.8. Corrección por humedad y absorción	104
3.9.2.9. Valores de diseño corregidos por humedad	104
3.9.2.10. Proporciones de la mezcla.....	105
3.9.3. Resumen de diseño de mezclas con adición de fibras PET recicladas .	105
3.10. ELABORACIÓN DEL CONCRETO PERMEABLE.....	106
3.10.1. Especímenes cilíndricas y prismáticas de concreto permeable	107
3.10.2. Curado de los especímenes	108
3.11. ENSAYOS REALIZADOS DEL CONCRETO PERMEABLE.....	109
3.11.1. Ensayos en estado fresco.....	109
3.11.2. Ensayos en estado endurecido.....	110
3.11.2.1. Ensayo de resistencia a compresión.....	110
3.11.2.2. Ensayo de resistencia a flexión con carga en los puntos tercios	112
3.11.2.3. Ensayo de permeabilidad	114
3.11.2.4. Aspecto hidrológico	116
3.11.3. Estudio geotécnico	118
3.11.4. Estudio topográfico	127
3.12. DISEÑO ESTADÍSTICO Y PRUEBA DE HIPÓTESIS	128
3.12.1. Análisis estadístico.....	128
3.12.1.1. Rango de datos (R_x)	129
3.12.1.2. Número de intervalos clases (K).....	129
3.12.1.3. Tamaño de intervalos de clase (C).....	129
3.12.1.4. Medidas de tendencia central.....	129



3.12.1.5. Medidas de dispersión central.....	131
3.12.2. Prueba de hipótesis.....	132

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ENSAYOS EN ESTADO FRESCO DEL CONCRETO PERMEABLE... 135	
4.1.1. Ensayo de asentamiento	135
4.2. RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS..... 136	
4.2.1. Resistencia a la compresión del concreto permeable	136
4.2.1.1. Análisis comparativo de los resultados entre el concreto patrón (CP) y C 0.25%	140
4.2.1.2. Análisis comparativo de los resultados entre el concreto patrón (CP) y C 0.50%	141
4.2.1.3. Análisis comparativo de los resultados entre el concreto patrón (CP) y C 1.00%	142
4.2.2. Resistencia a la flexión del concreto permeable	144
4.2.2.1. Análisis comparativo de los resultados entre el concreto patrón (VP) y V 0.25%	147
4.2.2.2. Análisis comparativo de los resultados entre el concreto patrón (VP) y V 0.50%	148
4.2.3. Análisis comparativo de los resultados entre el concreto patrón (VP) y V 1.00%	149
4.3. RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES HIDRÁULICAS 151	
4.3.1. Permeabilidad del concreto permeable	151
4.3.2. Interpretación resultados de la permeabilidad.....	152
4.3.3. Compatibilidad con las precipitaciones en la ciudad de Ayaviri	153
4.4. DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO PERMEABLE..... 155	
4.4.1. Diseño del pavimento: método AASHTO 93	155
4.4.2. Sección del pavimento permeable con adición de fibras PET	160



4.5.	ANÁLISIS DE COSTO DEL CONCRETO PERMEABLE	161
4.6.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	164
4.6.1.	Análisis estadístico de la resistencia a la compresión	164
4.6.2.	Análisis estadístico de la resistencia a la flexión	165
4.6.3.	Análisis estadístico de la permeabilidad	167
4.7.	PRUEBA DE HIPÓTESIS	169
4.7.1.	Resistencia a la compresión	170
4.7.2.	Resistencia a la flexión.....	171
4.7.3.	Permeabilidad.....	173
4.8.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	174
V.	CONCLUSIONES.....	179
VI.	RECOMENDACIONES	181
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	182
ANEXOS.....		191

Área : Transportes

Tema : Concreto permeable para pavimentos

Línea de investigación: Transportes y gestión vial

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 01 de agosto del 2024



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Muestra de concreto permeable filtrando agua	40
Figura 2 Concreto permeable variando el contenido de agua	43
Figura 3 Ensayo: resistencia a la flexión.....	45
Figura 4 Equipo para medir la permeabilidad del concreto	46
Figura 5 Compactación del concreto permeable con un rodillo pesado.....	51
Figura 6 Compactación local con rodillo manual y pisón	52
Figura 7 Rodillo para la realización de las juntas	53
Figura 8 Reacción de síntesis de PET	54
Figura 9 Representación cartográfica la provincia de Melgar.....	65
Figura 10 Localización de la cantera San Antonio.....	75
Figura 11 Acopio de agregados	75
Figura 12 Obtención de fibras PET recicladas	77
Figura 13 Contenido de humedad de los agregados.....	78
Figura 14 Desintegración SSS del agregado fino.....	81
Figura 15 Eliminación de aire del agregado fino	81
Figura 16 Secado en paño del agregado saturado	84
Figura 17 Pesado del agregado sumergido.....	84
Figura 18 Eliminación de material excedente del molde y pesado de la misma.....	86
Figura 19 Enrase del molde con varilla de apisonado.....	87
Figura 20 Proceso de tamizado de los agregados fino y grueso.....	89
Figura 21 Curva granulométrica: agregado fino	90
Figura 22 Curva granulométrica: agregado grueso	91
Figura 23 Ensayo de abrasión de los ángeles	94



Figura 24	Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la compresión.....	96
Figura 25	Correlación entre el contenido de pasta y el contenido de vacíos	97
Figura 26	Resistencia a la compresión vs el contenido de vacíos.....	100
Figura 27	Relación: contenido de vacíos y la pasta	101
Figura 28	Elaboración del concreto.....	107
Figura 29	Compactado de los especímenes.....	108
Figura 30	Curado de especímenes cilíndricas y prismáticas	109
Figura 31	Determinación del asentamiento.....	110
Figura 32	Compresión simple	111
Figura 33	Representación: prueba de flexión con carga en los puntos tercios.....	113
Figura 34	Ensayo: resistencia a flexión.....	113
Figura 35	Ensayo de permeabilidad	115
Figura 36	Precipitación pluvial: últimos 25 años de la ciudad de Ayaviri.....	117
Figura 37	Ensayo de calicata en la localidad de Ayaviri	119
Figura 38	Contenido de humedad de la calicata.....	121
Figura 39	Análisis granulométrico del material de la calicata	122
Figura 40	Proceso del Proctor modificado	124
Figura 41	Curva de contenido de humedad vs densidad seca	125
Figura 42	Proceso de CBR	126
Figura 43	Levantamiento topográfico	127
Figura 44	Nivelación topográfico.....	128
Figura 45	Evolución de resistencia a compresión del concreto permeable.....	139
Figura 46	Curva de evolución de la resistencia a compresión del concreto permeable	139
Figura 47	Variabilidad: resistencia a compresión entre CP y C 0.25%	141



Figura 48	Variabilidad: resistencia a la compresión entre CP y C 0.50%	142
Figura 49	Variabilidad en la resistencia a la compresión entre CP y C 1.00%	143
Figura 50	Evolución: resistencia a flexión del concreto permeable.....	146
Figura 51	Curva de evolución: resistencia a flexión del concreto permeable.....	147
Figura 52	Variabilidad: resistencia a la flexión entre VP y V 0.25%	148
Figura 53	Variabilidad: resistencia a la flexión entre VP y V 0.50%	149
Figura 54	Variabilidad: resistencia a la flexión entre VP y V 1.00%	150
Figura 55	Variación: permeabilidad del concreto permeable	153
Figura 56	Sección: pavimento permeable	160
Figura 57	Comparación de costos de concreto.....	163



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Beneficios y limitaciones del concreto permeable frente al concreto tradicional	49
Tabla 2 Beneficios de la producción del concreto permeable y el concreto convencional	50
Tabla 3 Propiedades intrínsecas del PET	55
Tabla 4 Propiedades químicas del PET.....	55
Tabla 5 Localización del distrito de Ayaviri.....	65
Tabla 6 Total de muestras: resistencia a compresión.....	71
Tabla 7 Total de muestras: resistencia a flexión	71
Tabla 8 Total de muestras: permeabilidad	72
Tabla 9 Operacionalización de variables	72
Tabla 10 Instrumentos de recolección de datos	73
Tabla 11 Ubicación y coordenadas UTM de la cantera San Antonio.....	74
Tabla 12 Características químicas y físicas del cemento utilizado.....	76
Tabla 13 Contenido de humedad: agregado fino	79
Tabla 14 Contenido de humedad: agregado grueso 3/8"	79
Tabla 15 Gravedad específica: agregado fino.....	82
Tabla 16 Gravedad específica: agregado grueso de 3/8"	85
Tabla 17 Peso unitario suelto seco: agregado fino.....	87
Tabla 18 Peso unitario compactado seco: agregado fino	88
Tabla 19 Peso unitario suelto seco: agregado grueso de 3/8"	88
Tabla 20 Peso unitario suelto compactado: agregado grueso de 3/8".....	88
Tabla 21 Granulometría: agregado fino	90



Tabla 22	Granulometría: agregado grueso	91
Tabla 23	Resultados de abrasión de los ángeles del agregado grueso de 3/8"	95
Tabla 24	Resumen de las propiedades de los agregados, cemento y agua	99
Tabla 25	Volúmenes absolutos para el diseño de mezclas	103
Tabla 26	Cálculo de peso del agregado grueso	104
Tabla 27	Corrección por humedad y absorción	104
Tabla 28	Mezcla final diseñada con y sin inclusión de fibras PET	105
Tabla 29	Contenido de humedad Natural	120
Tabla 30	Resultados de Proctor modificado	124
Tabla 31	Valores de dispersión en el control del concreto	132
Tabla 32	Asentamiento de mezcla de concreto permeable	135
Tabla 33	Resistencia a compresión: concreto patrón (CP)	136
Tabla 34	Resistencia a compresión con 0.25% de fibras PET (C 0.25%)	137
Tabla 35	Resistencia a compresión con 0.50% de fibras PET (C 0.50%)	137
Tabla 36	Resistencia a la compresión con 1.00% de fibras PET (C 1.00%)	138
Tabla 37	Resistencia promedio a compresión del concreto permeable a los 7, 14 y 28 días	138
Tabla 38	Resistencia: flexión del concreto patrón (VP)	144
Tabla 39	Resistencia: flexión del concreto con 0.25% de fibras PET (V 0.25%)	145
Tabla 40	Resistencia: flexión del concreto con 0.50% de fibras PET (V 0.50%)	145
Tabla 41	Resistencia: flexión del concreto con 1.00% de fibras PET (V 1.00%)	145
Tabla 42	Resistencia promedio a flexión del concreto permeable a los 14 y 28 días	146
Tabla 43	Permeabilidad: muestra patrón	151
Tabla 44	Permeabilidad de la muestra con 0.25% de fibras PET	151



Tabla 45	Permeabilidad: muestra con 0.50% de fibras PET.....	152
Tabla 46	Permeabilidad de la muestra con 1.00% de fibras PET	152
Tabla 47	Capacidad: filtración de probetas de diseño	153
Tabla 48	Capacidad de filtración por m ²	154
Tabla 49	Índice de Servicialidad.....	156
Tabla 50	El periodo de diseño según las vías se clasifica.....	156
Tabla 51	Confiabilidad: periodo de diseño	157
Tabla 52	Desviación estándar	158
Tabla 53	Coefficiente de drenaje.....	159
Tabla 54	Costo: concreto convencional de 175 kg/cm ² por metro cúbico.....	161
Tabla 55	Costo: concreto permeable patrón por metro cúbico	161
Tabla 56	Costo: concreto permeable con adición de 0.25% de Fibra PET por metro cúbico.....	162
Tabla 57	Costo: concreto permeable con adición de 0.50% de Fibra PET por metro cúbico	162
Tabla 58	Costo: concreto permeable con adición de 1.00% de Fibra PET por metro cúbico	162
Tabla 59	Resultados descriptivas de los datos de la resistencia a la compresión - 28 días	164
Tabla 60	Interpretación del coeficiente de variación y desviación estándar para los grupos de control de la resistencia a la compresión a los 28 días de edad	165
Tabla 61	Resultados descriptivos de los datos: resistencia a la flexión - 28 días	166
Tabla 62	Interpretación del coeficiente de variación y desviación estándar para los grupos de control de la resistencia a la flexión a los 28 días de edad	167
Tabla 63	Resultados descriptivos de los datos de la permeabilidad - 28 días	168



Tabla 64	Interpretación del coeficiente de variación y desviación estándar para los grupos de control de permeabilidad a los 28 días de edad.....	169
Tabla 65	Resumen de la prueba t: resistencia a compresión a los 28 días.....	170
Tabla 66	Prueba de hipótesis de los resultados: resistencia a compresión a los 28 días	171
Tabla 67	Resumen de la prueba t: resistencia a flexión a los 28 días	172
Tabla 68	Prueba de hipótesis de los resultados: resistencia a flexión a los 28 días..	172
Tabla 69	Resumen de la prueba t: permeabilidad a los 28 días	173
Tabla 70	Prueba de hipótesis para los diferentes grupos de control de permeabilidad	174



ACRÓNIMOS

PET:	Tereftalato de polietileno
CP:	Concreto patrón/normal.
C 0.25%:	Concreto con 0.25% de fibras PET reciclada.
C 0.50%:	Concreto con 0.50% de fibras PET reciclada.
C 1.00%:	Concreto con 1.00% de fibras PET reciclada.
ACI:	American Concrete Institute.
ASTM:	American Society of Testing Materials.
f'_c :	Resistencia de diseño a la compresión.
Mr:	Modulo de ruptura del concreto (resistencia a la flexión)
a/c:	Relación agua cemento.
NTP:	Norma Técnica Peruana.
H ₀ :	Hipótesis nula.
H _a :	Hipótesis alternativa.
TMN:	Tamaño máximo nominal del agregado.
SSS:	Peso de la muestra saturada superficialmente seca.
PUSS:	Peso unitario suelto seco del agregado.
PUCS:	Peso unitario compactado seco del agregado.



RESUMEN

En el presente estudio, el capítulo I aborda el problema del estudio, destacando la baja resistencia del concreto permeable, lo cual limita su utilidad en entornos sometidos a cargas de tráfico. Esta deficiencia compromete la durabilidad, resultando en un deterioro prematuro. Como una solución viable, surge esta investigación que trata de la adición de fibras PET recicladas en el concreto permeable $f'c$ 175 kg/cm² para pavimentos en la ciudad de Ayaviri. En el capítulo II, se presenta una revisión de antecedentes que fundamenta teóricamente la presente investigación. Por otro lado, en el capítulo III, se describe la metodología utilizada que fue de tipo aplicativo, nivel explicativo, con un diseño experimental y enfoque cuantitativo. Se realizaron pruebas de resistencia a compresión, flexión y permeabilidad, utilizando testigos para mezclas diseñadas con un tamaño de agregado 3/8"; añadiendo fibras PET recicladas de dimensiones de 3mm x 30mm y en proporciones de 0.25%, 0.50% y 1.00% con respecto al peso del cemento. En el capítulo IV se presenta los resultados, indicando que la adición de 0.25% de fibra PET recicladas es óptima, mejorando la resistencia a compresión en un 11.33%, resistencia a flexión en 28.93% y aumentando la permeabilidad en 0.020cm/s, manteniéndose dentro de los rangos establecidos por la (ACI 522R-10, 2010). Así mismo, el diseño de pavimento de concreto permeable calculado tuvo un espesor de 20 cm. Finalmente, se concluye que la adición de fibras PET recicladas al concreto permeable es eficiente tanto en las propiedades mecánicas del concreto como en la evacuación de agua.

Palabras clave: Concreto, Compresión, Fibras PET, Flexión, Permeabilidad y Resistencia.



ABSTRACT

In this study, Chapter I addresses the study problem, highlighting the low strength of pervious concrete, which limits its usefulness in environments subjected to traffic loads. This deficiency compromises durability, resulting in premature deterioration. As a viable solution, this research arises, which deals with the addition of recycled PET fibers in pervious concrete $f'c$ 175 kg/cm² for pavements in the city of Ayaviri. Chapter II presents a background review that theoretically supports this research. On the other hand, Chapter III describes the methodology used, which was of an applicative type, explanatory level, with an experimental design and quantitative approach. Compressive strength, flexural strength and permeability tests were carried out, using cores for mixtures designed with an aggregate size of 3/8"; adding recycled PET fibers with dimensions of 3mm x 30mm and in proportions of 0.25%, 0.50% and 1.00% with respect to the weight of the cement. Chapter IV presents the results, indicating that the addition of 0.25% of recycled PET fiber is optimal, improving the compressive strength by 11.33%, flexural strength by 28.93% and increasing the permeability by 0.020cm/s, keeping within the ranges established by the (ACI 522R-10, 2010). Likewise, the calculated pervious concrete pavement design had a thickness of 20 cm. Finally, it is concluded that the addition of recycled PET fibers to the pervious concrete is efficient both in the mechanical properties of the concrete and in water evacuation.

Keywords: Concrete, Compression, PET fibers, Flexure, Permeability and Strength.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El concreto permeable es ampliamente valorado por su capacidad para permitir la infiltración de agua, reduciendo el escurrimiento superficial y contribuyendo a la gestión sostenible del agua urbana, sin embargo, una de las principales limitaciones de este material es su baja resistencia mecánica, particularmente en aplicaciones de construcción de pavimentos sometidas a cargas de tráfico y otras exigencias estructurales, esta deficiencia compromete significativamente la durabilidad y la integridad estructural del pavimento, resultando en un deterioro prematuro y en costos adicionales de mantenimiento (Guyer, 2019).

La baja resistencia del concreto permeable puede atribuirse a varios factores, entre ellos la falta de cohesión entre los materiales constituyentes, la alta porosidad del material y la ausencia de un esfuerzo adecuado, estas características intrínsecas del concreto permeable afectando negativamente su capacidad para soportar las cargas aplicadas, lo que conduce a la formación de fisuras, grietas y deformaciones (Guyer, 2019).

Por otro lado, en últimos años, Perú ha enfrentado problemas de drenaje debido a las precipitaciones, incluyendo la incapacidad para evacuar el agua de lluvia, la contaminación, cambios en el ciclo hidrológico y un aumento en el caudal de esorrentía. Esto ha resultado en una pérdida de tiempo de concentración y un aumento de las inundaciones, atribuibles al desarrollo de áreas pavimentadas y al crecimiento poblacional (Guerra & Guerra, 2020). Las inundaciones urbanas, causadas por la insuficiente capacidad de diseño de los sistemas de drenaje ante lluvias intensas,



representan una preocupación global con graves implicaciones económicas y sociales (Alfaro, 2017).

La ciudad de Ayaviri no está exenta de esta problemática, ya que experimenta precipitaciones moderadas durante todo el año, que se intensifican entre diciembre y marzo. Sin embargo, su infraestructura vial, compuestos principalmente por pavimentos convencionales, no está suficientemente preparado para soportar estas circunstancias climáticas.

Por otra parte, el tereftalato de polietileno (PET), es un polímero termoplástico muy utilizado en la industria textil y de envases debido a sus características. A pesar de su amplio uso, su falta de biodegradabilidad lo convierte en una de las causas más comunes de contaminación en la actualidad, lo que subraya la importancia de desarrollar aplicaciones que fomenten la reutilización de este material (Gomes et al., 2019).

Para contrarrestar los impactos negativos mencionados anteriormente, se propone emplear concreto permeable con la adición de fibras de (PET) en los pavimentos, con el objetivo de optimizar las propiedades mecánicas y disminuir las inundaciones en la ciudad de Ayaviri.

Considerando lo expuesto, surgen cuestionamientos tanto generales como específicos.



1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿Cuál es el efecto de la adición de fibras PET recicladas en las propiedades físico - mecánicas del concreto permeable $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ para pavimentos?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo afecta la adición de fibras PET recicladas en la resistencia a la compresión del concreto permeable $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$?
- ¿Cómo afecta la adición de fibras PET recicladas en la resistencia a flexión del concreto permeable $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$?
- ¿Cómo afecta la adición de fibras PET recicladas en el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis general

La adición de fibras PET recicladas en el concreto permeable $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ para pavimentos tiene efectos positivos en las propiedades físico – mecánicas.

1.3.2. Hipótesis específicas

- La adición fibras PET recicladas en el concreto permeable $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ tiene un efecto positivo en la resistencia a compresión.
- La adición fibras PET recicladas en el concreto permeable $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ tiene un efecto positivo en la resistencia a flexión.



- La adición fibras PET recicladas en el concreto permeable $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ tiene un efecto positivo en las propiedades del coeficiente de permeabilidad.

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Uno de los focos centrales de este estudio es la baja resistencia observada en el concreto permeable, lo cual motiva la búsqueda de una solución que combine resistencia y permeabilidad eficazmente. Es por esto que se consideró de vital importancia llevar a cabo esta investigación para evaluar cómo la integración de fibras PET recicladas podría incidir en estas propiedades. Estas fibras son reconocidas por su excepcional flexibilidad, durabilidad y capacidad para resistir agentes químicos, características que las convierten en un aditivo prometedor para elevar significativamente el estándar del concreto. la información obtenida será beneficiosa para el desarrollo de un concreto permeable que no solo sea robusto, sino que también pueda redistribuir esfuerzos eficientemente y soportar cargas considerables. Esta mejora será crucial para su implementación en la construcción de vías en la ciudad de Ayaviri. Además de fortalecer la infraestructura vial, se espera que esta innovación contribuya de manera efectiva a la gestión integrada de aguas pluviales, reduciendo así el riesgo de inundaciones y escorrentías.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

Determinar el efecto de la adición de fibras PET recicladas en las propiedades físico - mecánicas del concreto permeable $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ para pavimentos en la ciudad de Ayaviri.



1.5.2. Objetivos específicos

- Determinar la incidencia de la adición de fibra PET recicladas en la resistencia a la compresión del concreto permeable $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.
- Determinar la incidencia de la adición de fibra PET recicladas en la resistencia a flexión del concreto permeable $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.
- Determinar la incidencia de la adición de fibras PET recicladas en el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Antecedentes internacionales

Gómez (2022) en su estudio “Incremento de las prestaciones físico-mecánicas de un concreto permeable ante sollicitaciones estáticas adaptando la matriz con PET y microfibras”, tuvo como finalidad determinar la incidencia de PET triturado y microfibras de plástico en las características físico-mecánicas del concreto permeable; la formulación de las mezclas se realizó conforme a las pautas establecidas por la norma ACI 522R-10 y se elaboraron mezclas de concreto con la incorporación del 0.08% de PET en forma de escamas, y con un 0.08% de microfibras con un tamaño de 0.5 mm x 20 mm, ambos en relación al peso de la mezcla. La conclusión a la que se llega es que tanto el PET como las microfibras contribuyen significativamente a mejorar el comportamiento mecánico. No obstante, la presencia de PET resulta en una mayor capacidad de compresión en comparación con las microfibras.

Hernández & Hernández (2022) en su investigación denominado “Evaluación de la escorrentía en el concreto permeable adicionado con sustitución parcial de residuos de PET”, cuyo propósito fue evaluar el comportamiento físico-mecánico del concreto permeable adicionado con sustitución parcial de PET triturado; en la parte experimental se elaboraron 5 tipos de mezclas: M1 (20% de arena y 10% de PET), M2 (30% de PET), M3 (5% de PET), M4 (10% de PET) y M5 (15% de PET). Los datos obtenidos indican que el concreto permeable



presentó una resistencia a compresión mucho menor que al concreto convencional, debido a la escasez de agregado fino. Las muestras que contenían un porcentaje de PET como agregado fino tenían resistencias que oscilaban entre 2,90 y 8,82 MPa, cumpliendo así con los criterios especificados en la norma ACI 522R-10; asimismo, de las cinco muestras con diferentes características, sólo las muestras M3, M4 y M5 presentaron buenos resultados en cuanto al absorción óptima de la escorrentía. Esto se debe principalmente a que estas muestras tienen una permeabilidad mayor que el resto.

Al-Luhybi & Qader (2021) en su estudio “Mechanical properties of concrete with recycled plastic waste”, tuvo como propósito evaluar experimentalmente las propiedades mecánicas del concreto adicionados con residuos plásticos de PET reciclados; en este estudio, se cortaron las botellas en fibras con un grosor constante de 0,13 mm. Se emplearon tres tamaños de fibra distintos: 4 mm x 22 mm, 4 mm x 45 mm y 4 mm x 67 mm y se adicionó en tres porcentajes al concreto en un 0.1%, 0.3% y 0.5 % en función al peso del cemento. Se realizaron varios ensayos con las mezclas de concreto, como la prueba de asentamiento, compresión, tracción y flexión. Los resultados indicaron que el uso de fibras de PET reduce la trabajabilidad del concreto, disminuyendo gradualmente conforme se incrementa el porcentaje de fibras de PET; a pesar de que las fibras de PET tuvieron una influencia menor en la resistencia a la compresión del concreto, todas las mezclas siguieron la misma tendencia de aumento de la resistencia con la edad. Sin embargo, la resistencia a la tracción del concreto que contenía fibras PET se redujo drásticamente, sobre todo en las mezclas con un porcentaje de fibras del 0.1 al 0.5%. Aunque el 0.1% mejoró la



resistencia a la flexión, a niveles más altos de fibras PET provocó una reducción debido a la mala unión entre las fibras y los componentes del concreto.

Guamán & Pinenla (2019) en su estudio denominado “Análisis de las propiedades físico-mecánicas de un hormigón elaborado con fibras recicladas de envases PET, con y sin aditivo plastificante”, cuyo objetivo fue analizar las propiedades físico-mecánicas de un concreto adicionado con fibras recicladas de envases PET, con y sin aditivo plastificante. La investigación tuvo un diseño experimental. Se diseñó la mezcla añadiendo fibras PET con dimensiones de 3 mm. x 120 mm. y con un porcentaje de 0.5%. Los resultados indicaron que el concreto adicionado con fibras PET mejoraba la resistencia a la tracción indirecta, el módulo de ruptura por flexión y la resistencia a la adherencia en aproximadamente un 5%, a diferencia de las tres mezclas restantes: concreto sin fibras, concreto con fibras PET y concreto con fibras PET más aditivo plastificante, las cuales tenían una resistencia a compresión y una elasticidad inferior al concreto convencional.

Caldeira et al., (2021) en su tesis de grado, se centraron en estudiar el comportamiento de mezclas de hormigón con sustitución parcial del árido fino por residuos de botellas de PET con el fin de minimizar los efectos sobre el medio ambiente provocados por el abastecimiento de materiales de construcción convencionales. Por ejemplo, en el caso del hormigón, se investiga constantemente la búsqueda de materiales de construcción alternativos. El propósito de este estudio fue examinar el desempeño de la textura, resistencia a la compresión axial, densidad aparente y absorción de agua en comparación con la sección control, que excluyó la incorporación de PET, al consumir el 5 % y el 10 % del volumen de arena reemplazado por residuos de PET. Los resultados



revelaron que: la consistencia de los conglomerados se alteró con la adición de PET, incluso con un aumento en la relación a/c respecto al control; se observó una disminución en la resistencia a la compresión axial a medida que incrementa el contenido de PET; hubo una disminución de la densidad aparente con la adición de PET; y la absorción de agua fue mayor para la mezcla de 5% de PET y menor para la mezcla de 10% en comparación con el control. Por lo tanto, se puede concluir que la adición de porcentajes de 5% y 10% interfirió con las propiedades estudiadas, mientras que el 10% de PET proporcionó un mejor diseño de las mezclas, resultando en un ligero aumento en la resistencia en comparación con el porcentaje de 5% y una menor tasa de absorción de agua.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Hilares & Camacho (2023) en su estudio “Evaluación del comportamiento del concreto poroso permeable mediante la incorporación de plastómeros en el distrito de Chalhuanca, provincia de Aymaraes-Apurímac”, tuvo como objetivo determinar las propiedades físicas, mecánicas y la permeabilidad del concreto permeable $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ al adicionar plastómeros. La estrategia empleada fue de tipo aplicativo, nivel de investigación explicativo y un diseño experimental. El diseño de las mezclas se llevó a cabo siguiendo las pautas establecidas de la norma ACI 522R - 10, se elaboraron muestras de concreto poroso con la adición de plastómeros de 2.5 mm x 30 mm en cantidades de 1.0%, 1.5% y 3.0% en relación al peso del agregado grueso. Los resultados mencionan que, al incorporar un 1.5% de plastómeros, mejoran las propiedades físicas (el asentamiento) y mecánicas (la resistencia a compresión y flexión) del concreto poroso, al tiempo decrece la permeabilidad, cumpliendo las especificaciones de la norma ACI 522 R-10.



Coico (2023) en su investigación denominada “Evaluación de las propiedades físico-mecánicas del concreto permeable para pavimentos especiales incorporando fibra de polipropileno”, cuyo propósito fue evaluar el comportamiento físico y mecánico de concreto permeable de $f'c = 175\text{kg/cm}^2$ con incorporación de fibras de polipropileno; la metodología utilizada estuvo centrada en el enfoque cuantitativo y con un diseño experimental. Se elaboraron especímenes de concreto permeable con relaciones de agua/cemento de 00.25 y 00.35, incorporando tiras de polipropileno en porciones de 00.04%, 00.07%, 00.10% y 00.13% en función al peso total de los componentes. El estudio mostró en sus resultados que la relación ideal a/c era de 0.25, la cual resultó mejoras significativas en la resistencia y la permeabilidad a la edad 28 días del concreto permeable. La adición de un 0.10% de fibra de polipropileno resultó en incrementos del 7% en la resistencia a la compresión, del 64% en la resistencia a la flexión, y del 65% en la resistencia a la tracción, respectivamente. La permeabilidad se redujo con la adición de fibras de polipropileno, y cuanto mayor fue la proporción de polipropileno, menor fue el coeficiente de permeabilidad. Para ambas relaciones agua/cemento, la cantidad ideal de polipropileno es del 0.04%, indicando que las diferencias en los coeficientes se atribuyen a la influencia del agua en el diseño de la mezcla.

Oyola & Romaní (2020) en su investigación “Influencia de adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclable en las propiedades de concreto permeable para pavimento de tráfico liviano”, tuvo como finalidad determinar la influencia de la incorporación de fibras de PET en las propiedades de concreto permeable de $f'c = 175\text{kg/cm}^2$. La metodología adoptada se fundamentó en un estudio cuantitativo y un diseño experimental. El diseño de la mezcla se efectuó



utilizando el tamaño de agregado grueso del Huso 8 y siguiendo las pautas establecidas por la norma ACI 522R-10. Adicionaron fibras PET con dimensiones de 2 mm x 45 mm a la mezcla en porcentajes de 0.25%, 0.50%, 1.00% y 1.50% en función de la masa del plastificante. los resultados muestran que la resistencia máxima a la compresión, registrando 192.26 kg/cm², se logró al añadir un 0.50% de fibras PET. Cuanto, a la resistencia a la flexión, que alcanzó 19.59 kg/cm², se tiene con una incorporación del 1.00% de fibras PET. Por último, el porcentaje óptimo de fibras PET para la permeabilidad es del 0.25%.

Medina (2020) en su investigación, tuvo como propósito calcular cómo la adición de tiras plástico afecta la permeabilidad, así como en la resistencia a compresión y resistencia a flexión. La metodología fue aplicativa, nivel exploratorio, con diseño experimental y enfoque cuantitativo. La formulación de las mezclas se realizó según las directrices de la norma ACI 522R-10, se fabricaron muestras de concreto permeable adicionando tiras de plástico con dimensión de 2 mm x 20 mm, en cantidades del 0.05%, 0.10%, 0.15% y 0.20% del peso total de los materiales. Los resultados mostraron a 28 días de edad un aumento de 17.09% en las resistencias a compresión y 49.81% en las resistencias a la flexión, contenido del 0.10% de tiras de plástico. Asimismo, la permeabilidad presentó una disminución de 19.83% con el mismo porcentaje de tiras de plástico. Además, la permeabilidad presentó una disminución en todos los porcentajes adicionados con tiras de plástico.

Castillo & Trujillo (2019), en su investigación titulada “Elaboración de concreto permeable con adición de material plástico reciclado para pavimentación en el distrito de Pariacoto-Ancash”, cuya finalidad fue evaluar las propiedades del concreto permeable de $f'c = 175\text{kg/cm}^2$ con la incorporación de material plástico



reciclado. La metodología utilizada fue de aplicada y un diseño experimental. La formulación de las mezclas se llevó a cabo siguiendo los procedimientos por la norma ACI 522R-10. En la etapa experimental, se elaboraron especímenes cilíndricos de concreto permeable con agregado grueso del Huso 67 y se incorporó materiales plásticos reciclados en proporciones del 0.075%, 0.10% y 0.125% respecto al peso total de la mezcla, con dimensiones de 4 mm x 20 mm. Los resultados mostraron que la incorporación de un 0.075% de tiras de plásticos reciclado aumenta la resistencia a la compresión en un 5.33% a 28 días. Asimismo, conforme incrementa la cantidad de tiras, la permeabilidad y el porcentaje de vacíos disminuyen; no obstante, estos valores están dentro del rango aceptable según la norma ACI 522R-10.

Esquivel & Ticliahuanca (2019), en su tesis “Resistencia y agrietamiento por contracción del concreto para pavimentos rígidos con incorporación de fibras PET”, estudiaron la dosificación del agregado con la incorporación de fibra PET en porcentajes de 0.03%, 0.05% y 0.07% respecto al peso del agregado, para obtener un diseño adecuado y determinar en cuanto mejora la resistencia a compresión y flexión. Los resultados indicaron que a medida que se aumenta el contenido de fibras PET en la mezcla, la trabajabilidad del concreto se ve reducida. Sin embargo, la resistencia a compresión con 0.07% de fibras PET generó un incremento de 10.2% respecto a la muestra control y la resistencia a flexión 0.05% de fibras PET causó un incremento de 20.0% en comparación a la muestra control. No obstante, la presencia de PET recicladas presenta mejoras en las propiedades del concreto.

Navarro & Leon (2018), en su investigación, utilizó una metodología básico-adaptativa con capacidades aplicadas y explicativas y un diseño



experimental. En su análisis se consideraron estos compuestos permeables con agregados de 3/4" y 3/8" y porcentajes de infiltración del 10%, 12 % y 15%. Para determinar el índice óptimo se llevaron a cabo 36 ensayos, 9 ensayos con agregado de 3/4" y arena, 9 ensayos con agregado de 3/4" y 9 ensayos con agregado de 3/8" y arena y. 9 con 3/8", variando según el porcentaje de huecos. Se realizó una encuesta a los alumnos para mejorar el proyecto del parque de estacionamiento de la UNSM y un estudio individual para el proyecto del camino de arcilla. Un análisis del diseño del tránsito vehicular y del nivel de la vía arrojó que, al espesor mínimo reglamentario. es de 200 mm, el espesor para el estacionamiento se fijó en 100 mm, con un espesor final de sólo 20 cm de superficie y un coeficiente de permeabilidad de 1,00. Finalmente, se extraen varias conclusiones. determinar el proyecto más adecuado en términos de resistencia y permeabilidad o rugosidad.

Castromente et al. (2020), en su artículo titulado "Propuesta de diseño de un pavimento permeable como un sistema innovador ecológico de drenaje en la ciudad de Huaraz-Huaraz-Ancash-2020", brindan una descripción detallada del sector público respecto a la construcción vial y afirman que existen muchas. referencias en la actualidad y afirma que existen muchas referencias en el mercado de la construcción y sostiene que vale la pena centrarse en los pavimentos de concreto permeable ya que tienen potencial para ser promocionados y beneficiar al público. El principal objetivo de este estudio es recopilar puntos de diseño de pavimentos de concreto permeable de diferentes autores, especialmente revistas científicas y editores científicos, como información previa que contribuya a este estudio como método ecológico para el drenaje de aguas pluviales en el distrito de Huaraz, Ancash. Metodológicamente, para lograr los objetivos específicos del estudio, se recolectaron 40 artículos de revistas científicas y se consultó a varios



autores que coincidieron en el tema. Se destacan resultados respecto a la resistencia, permeabilidad, control y dimensionamiento de pavimentos de concreto permeable fresco. En conclusión, se deben considerar pavimentos permeables para rutas de bajo tráfico de vehículos en la región de Huaraz.

2.1.3. Antecedentes locales

Lopez (2023), en su investigación fue evaluar la efectividad del pavimento de concreto poroso como opción viable para mejorar el drenaje en vías. La metodología usada fue de tipo cuasi experimental, nivel aplicativo y enfoque cuantitativo. Se ejecutaron pruebas de resistencia a compresión y permeabilidad en muestras representativas de varias combinaciones del Huso 8; se incorporó material fino en proporciones de 5%, 10% y 15% en relación al peso total de los componentes; los resultados indican que con la incorporación de agregado fino presenta una mejora la resistencia a compresión y una disminución de la permeabilidad.

Carcausto & Lanza (2022), en su investigación “Comportamiento mecánico y físico del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ incorporado con fibras PET para un pavimento rígido, Puno, 2021”, cuya finalidad fue evaluar el comportamiento mecánico y físico del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con la adición de fibras PET en pavimentos rígidos para su aplicación en la región de Puno. La metodología fue de tipo aplicativo, de nivel correlacional, con diseño experimental y enfoque cuantitativo. En la etapa experimental, se elaboraron cilindros y vigas con la incorporación del 0.25%, 0.50%, y 0.75% de fibras de PET en función al peso total de los materiales, con dimensiones de 3 mm x 4 mm. Los resultados indican que la adición del 0.25% de fibras de PET aumenta la resistencia a la compresión



en un 3,6%. Sin embargo, el aumento del contenido de fibra de 0.50% y 0.75% reduce la resistencia en un 3,7% y un 6,8%, respectivamente. Además, el uso de fibras de PET al 0.25% produce un aumento de la resistencia a la flexión del 5,1%, mientras que las demás concentraciones inducen una disminución. Se ha observado que una concentración de fibras de PET superior al 0.25% repercute negativamente en la trabajabilidad, la resistencia a compresión y la flexibilidad. A su vez, se determinó que la cantidad óptimo de incorporación fue del 0,25% de fibra de PET, dado que mejoró las propiedades mecánicas del concreto.

Mamani & Valera (2022) en su estudio “Influencia de la adición de fibras de vidrio en las propiedades mecánicas e hidráulicas del concreto permeable $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ empleado para pavimentos en la ciudad de Juliaca”, cuya finalidad fue evaluar la influencia de la incorporación de fibras de vidrio en las propiedades del concreto permeable utilizado en los pavimentos de la ciudad de Juliaca. La metodología empleada fue de tipo aplicativo, nivel explicativo y con diseño cuasi experimental. Elaboraron especímenes cilíndricos y prismáticos, siendo los factores a medir, la resistencia a compresión, resistencia a flexión como permeabilidad. La formulación de la mezcla se llevó a cabo utilizando el tamaño de agregado grueso de 3/8", con una resistencia de diseño de 175 kg/cm^2 , conforme a las indicaciones de la directriz ACI 522R-10. Adicionaron fibras de vidrio en porcentajes 0.05%, 0.10% y 0.15% en relación al peso de los componentes. Los resultados mostraron una mejora de las propiedades tanto en compresión como en flexión. Sin embargo, conforme se aumentó la cantidad de fibras de vidrio, la permeabilidad disminuyó en comparación con el concreto patrón. Además, la mejor de fibras de vidrio fue el 0.10%, debido a que



experimento un incremento del 5.42% en la resistencia a la compresión y del 21.72% en la resistencia a flexión.

Quenta (2019), en su estudio denominado “Efecto del reciclado de las fibras de las botellas PET en las propiedades del concreto normal, Puno”, tuvo como propósito determinar el impacto de la incorporación de las fibras de botellas PET recicladas en las propiedades del concreto de 210 kg/cm^2 convencional. La metodología empleada se basó en un diseño experimental. A la mezcla adicionó 2%, 4%, 6% y 8% fibras de botella PET en relación al cemento y con dimensiones de 2 mm x 30 mm; los resultados indican que cuando se adiciona un 2% de fibras de botella PET, la resistencia a compresión incrementa en 2,6%, pero cuando se añade un 4,0% de fibras, la resistencia disminuye un 6,3%. La resistencia a la flexión aumenta un 24% cuando se utiliza un 4% de fibras de PET. Se pueden utilizar fibras de PET de hasta un 4,0% para conservar la trabajabilidad, superar los 210 kg/cm^2 de resistencia a compresión y aumentar la resistencia a flexión. Un contenido superior al 4,0% de fibras de botella PET disminuye la trabajabilidad y la resistencia a compresión.

Flores & Pacompia (2015) en su investigación “Diseño de mezcla de concreto permeable con adición de tiras de plástico para pavimentos $f'c$ 175 kg/cm^2 en la ciudad de Puno”, cuyo propósito fue evaluar el efecto de la incorporación de tiras de plástico en las propiedades del concreto permeable $f'c$ 175 kg/cm^2 para pavimentos en la ciudad de Puno. La metodología de investigación se centró en el tipo correlacional, con nivel explicativo y método cuantitativo. Se siguió las instrucciones de la directriz ACI 522R-10 para la formulación de la mezcla, elaborando especímenes de concreto permeable con agregado grueso del Huso 8 y con la adición de tiras de plástico de 0.3 cm x 3.0



cm en proporciones del 0.05%, 0.10% y 0.15% en función a la masa total de los materiales. Los resultados muestran un incremento de la resistencia a la compresión del 16.70% y 4.20% al incrementar fibras de plástico al 0.05% y 0.10%, en el mismo orden, a la vez que experimenta una reducción del 10.70% al incorporar el 0.15%. La proporción óptima de tiras se determinó en el 0.05% del peso total de los materiales. Así mismo, se evaluó el coeficiente de permeabilidad, y los resultados estuvieron dentro de los parámetros establecidos para el concreto permeable.

Guerra (2019) en su investigación “Diseño de un pavimento rígido permeable como sistema de drenaje urbano sustentable, tiene como objetivo analizar cómo se comporta el pavimento poroso frente al drenaje en cuatro tramos de la vía en estudio”. En su metodología se aplica el tipo de diseño preexperimental, donde se formuló el diseño del pavimento en estudio de acuerdo con las indicaciones de AASHTO 93, en el cual se agregaron tiras de polipropileno, los datos obtenidos mostraron un esfuerzo de compresión se obtuvieron 196.95 kg/cm², logrando una permeabilidad de 0.463 cm/s. Sin embargo, el espesor obtenido de la base del filtro granular fue de 0.30 y 0.40 m y la carpeta de concreto de 0.20 m. En los drenajes principales, la tubería tenía una perforación con radio 15.00 a 17.50 cm. Por lo tanto, concluyo que la implementación de pavimento poroso no solo es viable, sino que también demuestra eficiencia en el drenaje de aguas, cumpliendo satisfactoriamente con los requisitos estructurales necesarios.

Caxi & Mamani (2021) en su estudio “Estudio de la influencia del tereftalato de polietileno (PET) y polipropileno (PP) en concreto convencionales para su aplicación en pavimentos rígidos” cuyo objetivo principal fue estudiar la



influencia del tereftalato de polietileno (PET) y polipropileno (PP) sobre el concreto convencional para aplicaciones de pavimento rígido, el objetivo del presente estudio es comparar los efectos del tereftalato de polietileno (reciclado), PET), polipropileno (PP) y una combinación de ambos polímeros sobre la resistencia a la compresión y flexión del hormigón. Si bien la dificultad fue menor al momento de reemplazar el agregado grueso, los índices aumentaron desde una consistencia plástica hasta un concreto firme al final. Se observaron resultados similares al combinar hormigón regular con PP y, finalmente, al combinar los dos polímeros, dando como resultado un hormigón aún más uniforme que dificultó su usabilidad. Al aumentar los porcentajes e incorporación de ambos polímeros (PET-PP) en los porcentajes de sus componentes en un 2%, 4%, 6% y 0,5%, 1,0%, 1,5%, las resistencias a compresión disminuyeron en los 7, 14 y 28 días, pero no más que el concreto estándar. En cuanto a la resistencia a flexión, se observó un aumento a los 7 días con el reemplazo de agregado fino en los porcentajes de 0.5%, 1%, 2% y 4%, el cual fue el siguiente: 46 .94 kg/cm² y 71 .09 kg/cm², respecto al agregado grueso en el porcentaje de 6%,1,5% 47.33 kg/cm², así como a 14 días 68.39 kg/cm², 78.77 kg/cm² y 56.89 kg/cm² y los 28 días 89.92 kg/cm², 94.70 kg/cm² y 66.29 kg/cm². Concluyendo que los resultados indican que, con la adición de PET, PP y ambos presentan una mejora en las propiedades mecánicas del concreto.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Concreto Permeable

Según lo estipulado en (ACI 522R-10, 2010), el concreto permeable es un tipo de concreto altamente poroso que facilita el filtrado del agua de lluvia y otras fuentes a través de él. Está compuesto de cemento Portland, agregados gruesos (de 3/4 a 3/8 pulg.) y agua. A diferencia del concreto tradicional, que normalmente rellena los espacios vacíos entre las partículas gruesas, el concreto permeable tiene poco o ningún agregado fino, lo que aumenta la porosidad y facilita el drenaje del agua, una característica que no se ve en el concreto convencional. La Figura 1 muestra cómo responde el concreto permeable a la acumulación de agua.

Figura 1

Muestra de concreto permeable filtrando agua



Nota: tomado de Recomendaciones sobre Pavimentos de Hormigón Permeable (p. 5), por Spalvier et al., 2021.

El concreto permeable tiene un porcentaje de vacíos que varía 15.00% al 35.00%, mientras su resistencia a compresión va de 2,80 a 28 MPa (400.00 a 4000.00 psi). La tasa de infiltración de los concretos porosos suele situarse en un



rango de 0.14 a 1.21 cm/s. Estos valores varían en función de la densidad y el tipo de agregado utilizado (ACI 522R-10, 2010).

2.2.2. Componentes del concreto permeable

Los principales son los agregados gruesos, cemento y el agua. En la mayoría de los casos se añade el agregado fino, principalmente para mejorar las propiedades mecánicas de la mezcla, lo que reduce su capacidad de infiltración.

2.2.2.1. Agregados

A. Agregado grueso

El agregado grueso “puede ser grava, piedra chancada o triturada, es el material que queda retenida en el tamiz N.º 4 (4,75 mm). Este tipo de agregado proviene de la desintegración natural o mecánica de rocas y debe cumplir las especificaciones de la norma ASTM C 33” (Abanto, 2017, p. 26).

En las mezclas del concreto permeable, el tamaño de los agregados es fundamental para la resistencia y permeabilidad. Por lo general, se utiliza un tamaño de agregado grueso, que oscila entre 3/4 a 3/8 pulg. (ACI 522R-10, 2010).

B. Agregado fino

Se define como arena o piedra natural partida en pequeñas partículas que pasan a través del tamiz de N.º 4 (4,75 mm), según lo indicado en la norma ASTM C 33 (Abanto, 2017).



Por otra parte, MTC (2016) “recomienda que, en el caso de las mezclas de agregados gruesos y finos, dividir el agregado global en dos fracciones utilizando el tamiz N.º 4 (4,75 mm)”.

2.2.2.2. Cemento

El Cemento Portland es el aglutinante principal utilizado en la elaboración de concreto permeable, cuyos requisitos están estipulados en la norma ASTM C 150.

El material cementante más utilizado en el concreto poroso es el cemento Portland tipo I, sobre todo cuando no se requieren criterios especiales (Chandrappa & Biligiri, 2017). El clinker (entre 54% y 90%) y el yeso constituyen la mayor parte de este material, y generalmente se emplea en dosificaciones que van desde 270 hasta 415 kg/m³ (ACI 522R-10, 2010).

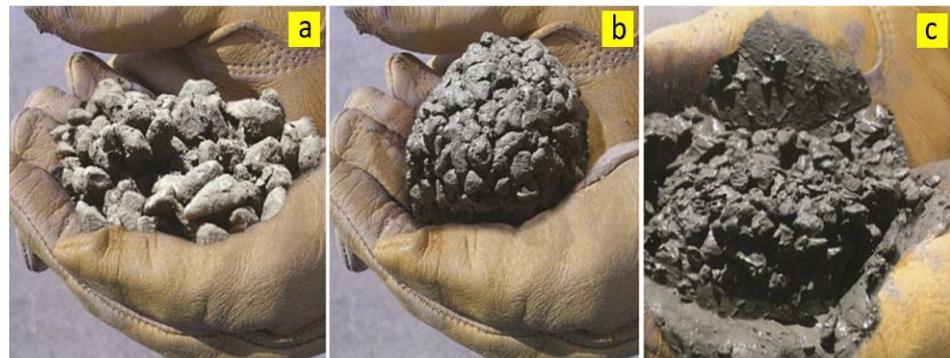
2.2.2.3. Agua

La calidad para el concreto permeable debe ser la misma que para el concreto convencional debiendo cumplir con los requisitos estipulados por la norma. El concreto permeable requiere una baja relación (a/c), que normalmente varía entre 0,26 y 0,40. Esto se debe a que demasiada agua podría hacer que la pasta se drene, obstruyendo el sistema de poros (ACI 522R-10, 2010).

En la Figura 2, se observa un puñado de concreto permeable en estado fresco con diferentes cantidades de agua.

Figura 2

Concreto permeable variando el contenido de agua



Nota: a) Escasez de agua, b) Volumen optimo de agua y c) Exceso de agua. Tomado y adaptado de Pervious Concrete Pavements (p. 8), por Tennis et al., 2004, Cement Association, and Natinal Ready Mixed Concrete.

2.2.3. Propiedades del concreto permeable

2.2.3.1. Propiedades físicas

A. Trabajabilidad

Según la norma ACI 309R-05 (2005), es la facilidad con la que el concreto puede mezclarse, transportarse y compactarse empleando una cantidad específica de energía. Se evalúa mediante el ensayo de asentamiento, asegurando el cumplimiento los requisitos de la norma ASTM C 143. Es de vital importancia tener en cuenta que el concreto permeable se distingue por no tener un asentamiento alguno, es decir, cero slump y generalmente se encuentran valores que oscilan entre 0 y 2 cm cuando se mide (Flores & Pacompia, 2015).

B. Consistencia

La consistencia describe el nivel de facilidad que el concreto recién preparado puede moldearse y se necesita:



- Tamaño de agregados.
- Agua de amasado.
- “La estructura de los agregados tiene un impacto significativo en el proceso de compactación” (Abanto, 2017).

2.2.3.2. Propiedades mecánicas

A. Resistencia a la compresión

Abanto (2017), define como la capacidad máxima de una probeta cilíndrica de concreto para resistir una carga axial hasta el fallo en compresión. Es crucial seguir las directrices establecidas por la norma ASTM C 39 al llevar a cabo este experimento.

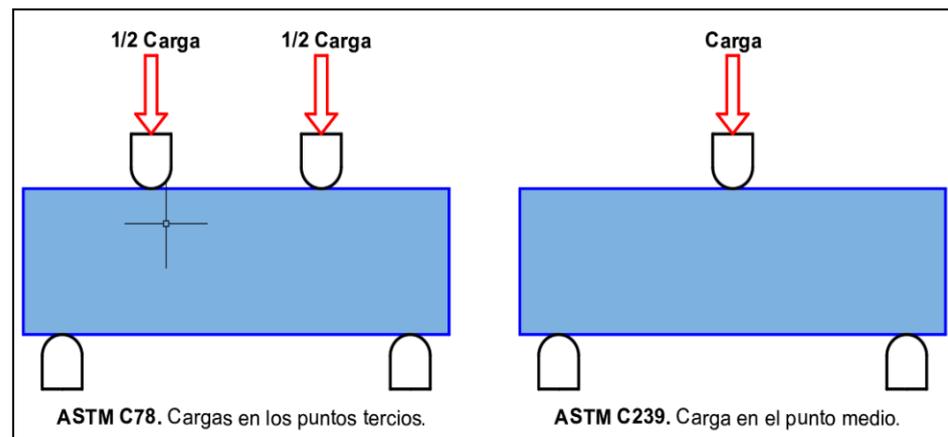
La resistencia del concreto poroso se ve directamente influenciada por la cantidad de aire que contiene, ya que ambas están inversamente relacionadas. Como resultado, el concreto permeable tiene una resistencia menor que el concreto convencional, que suele oscilar entre 2,8 y 28 MPa (Gómez, 2022, p. 22).

B. Resistencia a la flexión

Se le conoce como módulo de ruptura y se calcula mediante un ensayo a flexión en una viga de concreto con una o dos cargas concentradas, tal como se describe en las normas ASTM C 78 (con carga en los puntos tercios) y ASTM C 293 (con carga central) como se observa en la Figura 3. Este parámetro evalúa la resistencia de una viga o losa de concreto no armado al fallo por momento.

Figura 3

Ensayo: resistencia a la flexión



Fuente: ASTM C78 y ASTM C239

Por otro lado Gómez (2022), señala que a medida que aumenta el contenido de aire al concreto, disminuyen sus resistencias a la flexión y a la compresión. El esfuerzo a la flexión del concreto poroso oscila entre 1 y 3,8 MPa. La ACI aconseja que añadir alrededor de un 5% de finos a la mezcla para mejorar esta propiedad.

2.2.3.3. Propiedades hidráulicas

A. Permeabilidad

Se puede definir como la disposición de un cuerpo para facilitar el acceso de un líquido por medio de él sin cambiar su estructura o composición. Ejemplos claros de ello son el aire y la luz. Al observar esta característica en el material, se deduce que su estructura contiene poros interconectados que facilitan el paso de elementos a través de él (Pomalaza, 2021).

Para que una mezcla cumpla con los criterios de permeabilidad, es necesario que posea al menos un 15% espacios vacíos, para así asegurar el

paso del agua. El k de permeabilidad fluctúa normalmente 0,14 y 1,22 cm/s. Para determinar el coeficiente de permeabilidad, se emplea un permeámetro de cargas variable como se ilustra en la Figura 4, en el cual se prueban muestras de concreto. Luego, se calcula el coeficiente utilizando la Ley de Darcy (ACI 522R-10, 2010).

Figura 4

Equipo para medir la permeabilidad del concreto



Nota: tomado y adaptado de la norma (ACI-522R,2010)

2.2.4. Aplicaciones

El concreto permeable se utiliza habitualmente en la pavimentación de zonas tanto vehiculares como peatonales, en particular cuando se requiere una superficie permeable que facilite la infiltración del agua de lluvia en el subsuelo. Esto, a su vez, puede dar lugar a la disminución o incluso la supresión de los sistemas de drenaje de aguas pluviales (ACI 522R-10, 2010).



Debido a la porosidad del material, en todas estas aplicaciones se emplea concreto permeable no reforzado, ya que el acero es muy susceptible a la corrosión.

2.2.5. Proceso de construcción del concreto permeable

Recomendaciones importantes para el proceso de construcción del concreto permeable (ACI 522R-10, 2010).

2.2.5.1. Preparación del suelo

Asegúrese de que el suelo esté adecuadamente nivelado y compactado antes de comenzar la construcción. Eliminar cualquier vegetación, desechos u obstáculos que puedan afectar la instalación del concreto permeable (ACI 522R-10, 2010).

2.2.5.2. Proyecto y dimensionamiento

Asegúrese de que el diseño y las especificaciones, incluyendo el espesor y la profundidad adecuados del concreto permeable, se cumplan. Considere la capacidad de drenaje, la carga de tráfico y las condiciones del suelo al diseñar el sistema de drenado (ACI 522R-10, 2010).

2.2.5.3. Selección de materiales

Use agregados gruesos limpios y de alta calidad para garantizar la permeabilidad del concreto. Si elige utilizar fibras PET recicladas, asegúrese de que estén debidamente limpias y libres de contaminantes para garantizar su eficacia (ACI 522R-10, 2010).



2.2.5.4. Mezcla

Prepara la mezcla de concreto permeable de acuerdo con las proporciones y especificaciones recomendadas. Al colocar, evite la compactación excesiva, que podría comprometer la permeabilidad del hormigón. Utilizar equipos y métodos adecuados para garantizar la distribución uniforme del concreto y evitar la segregación de los agregados (ACI 522R-10, 2010).

2.2.5.5. Curado

Después de la colocación, es esencial seguir un proceso de curación adecuado para promover el fortalecimiento y la durabilidad del concreto permeable. Se pueden utilizar métodos como la aplicación de membranas de curación, el riego frecuente o el uso de cubiertas de polietileno para mantener los niveles adecuados de humedad y temperatura (ACI 522R-10, 2010).

2.2.5.6. Mantenimiento

Realice inspecciones periódicas del concreto permeable para verificar si hay daños, erosión o acumulación de sedimentos. Implementar medidas de mantenimiento preventivo, como la limpieza regular de la superficie, para eliminar bloqueos y preservar la permeabilidad del material (ACI 522R-10, 2010).

2.2.6. Beneficios y limitaciones del concreto permeable

En la Tabla 1, se presenta algunos beneficios y limitaciones importantes del concreto permeable.

Tabla 1

Beneficios y limitaciones del concreto permeable frente al concreto tradicional

Aspecto	Concreto tradicional	Concreto Permeable
Beneficios	Evita la infiltración del agua, lo que provoca la escorrentía.	Facilita el paso del agua a través de su superficie y subsuelo, regulando así el drenaje pluvial y disminuyendo el peligro de inundaciones.
	No contribuye a la recarga de acuíferos.	Ayuda a recargar los acuíferos al facilitar la infiltración del agua en el suelo.
	Retiene más calor, contribuyendo a islas de calor.	Puede reducir la temperatura superficial al ser menos denso y permitir la evaporación más rápida del agua.
	No tiene capacidad de filtración de contaminantes.	Ayuda a filtrar contaminantes del agua al pasar a través de sus poros.
Limitaciones	Requiere mantenimiento regular para evitar grietas y daños.	Necesita mantenimiento regular para prevenir obstrucciones y mantener su permeabilidad.
	Presenta menor riesgo de obstrucción de poros, pero con una posible acumulación de agua superficial.	Sus poros pueden obstruirse con el tiempo, afectando su eficacia en el drenaje.
	Mayor resistencia estructural debido a su mayor densidad y compacidad.	Generalmente tiene menor resistencia en comparación con el concreto convencional.

Fuente: (Spalvier et al., 2021, p. 20)

Asimismo, en la Tabla 2 se muestra una comparación detallada de los beneficios en términos de producción entre el concreto permeable y el concreto normal/convencional.

Tabla 2

Beneficios de la producción del concreto permeable y el concreto convencional

Aspecto	Concreto Tradicional	Concreto Permeable
Uso de Materiales	de Usa una cantidad estándar de agregados y cemento	Requiere menos agregados gruesos y puede incluir materiales reciclados
Consumo de Energía	de Alto debido al proceso convencional de mezclado y producción de agregados	Menor, ya que requiere menos mezcla y menos procesamiento de agregados
Costos	Generalmente más caro debido a la cantidad de materiales	Potencialmente más económico debido a menos materiales y menor tiempo de producción
Durabilidad	Similar en términos de resistencia estructural	de Menor resistencia a largo plazo a la compresión comparado con el concreto convencional
Mantenimiento	Puede requerir más mantenimiento y reparaciones	Requiere mantenimiento similar, pero puede ser más fácil de reparar
Beneficios Ambientales	Contribuye a la escorrentía y contaminación del agua	Mejora el drenaje y reduce la escorrentía, promoviendo la recarga de acuíferos y la gestión de aguas pluviales

Fuente: (Spalvier et al., 2021, p. 32)

2.2.7. Compactación del concreto permeable

La compactación adecuada del concreto permeable es fundamental, ya que facilita la formación de una estructura homogénea y resistente a las acciones mecánicas. Sin embargo, una compactación excesiva puede reducir el contenido de aire y dañar significativamente el sistema de poros, reduciendo la capacidad de la estructura para filtrar el agua con eficacia (Jacinto, 2021).

El rodillo pesado es uno de las herramientas más utilizadas para la compactación del concreto fresco permeable, debe tener un ancho total de 3,7 m para cubrir toda el área a compactar. Además, su peso debe oscilar entre 270 y

320 Kg para lograr la compactación adecuada. La Figura 5 muestra el proceso de compactación y un primer plano del rodillo. No es necesario realizar más trabajos de acabado cuando se utiliza el rodillo para compactar (ACI 522R-10, 2010).

Figura 5

Compactación del concreto permeable con un rodillo pesado



Nota: tomado de Control de calidad y colocación de concretos permeables (p. 63), por López, 2010.

Después de la compactación con el rodillo pesado, pueden ser necesarios algunos ajustes locales. Para ello, se puede emplearse un rodillo manual que pese entre 32 y 90 kg, o bien, optar por un pisón, como se muestra en la Figura 6, para nivelar depresiones o áreas irregulares. Además, es conveniente realizar una compactación local de los laterales y bordes del pavimento antes de usar el rodillo pesado (ACI 522R-10, 2010).

Figura 6

Compactación local con rodillo manual y pisón



Nota: tomado de Recomendaciones sobre Pavimentos de Hormigón Permeable (p. 29), por Spalvier et al., 2021, Grupo de Hormigón Estructural, Instituto de Estructuras y Transporte, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay.

Para garantizar una compactación efectiva, se debe completar en los primeros 15 minutos tras ser vertido el concreto, debido al rápido endurecimiento y evaporación del agua. Los retrasos pueden causar fisuras y futuras fallas, ya que el rodillo no compactará de manera óptima (Tennis et al., 2004).

Así mismo, otros investigadores optaron por compactar el concreto permeable utilizando un martillo Proctor Estándar, con el objetivo simular el proceso de compactación en la superficie (Rizvi et al., 2009).

2.2.8. Juntas en el concreto permeable

El uso de una baja relación agua-cemento en el concreto permeable ayuda a reducir las grietas de contracción. Esto implica que las juntas pueden estar más separadas que en el pavimento tradicional, y que algunas juntas pueden incluso no ser necesarias. De acuerdo con la norma ACI 522R-10 (2010), las juntas de contracción no deben estar separadas más de 6 metros y deben tener entre 1/4 y

1/3 del espesor del pavimento. Además, se requiere una anchura de junta mínima de 3 mm para el corte.

Figura 7

Rodillo para la realización de las juntas



Nota: tomado de Recomendaciones sobre Pavimentos de Hormigón Permeable (p. 30)

Las herramientas de unión convencionales del concreto pueden emplearse en áreas pequeñas como las aceras. El instrumento adecuado es una empalmadora compactadora de rodillos construido específicamente con una cuchilla de al menos 1/4 del grosor de la losa y lo suficientemente pesada como para lograr un corte de unión limpio, como se observa en la Figura 7.

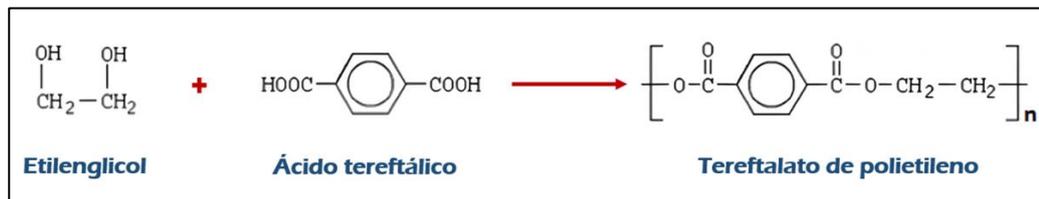
Las juntas también pueden cortarse con sierra, pero no es lo preferible. Esto se debe a que el líquido creado durante las operaciones de corte puede obstruir los poros del pavimento, y se produce un desprendimiento excesivo de áridos en las juntas. Además, el corte con sierra requiere la eliminación de los recubrimientos, lo que interrumpe el curado; si esto ocurre, la superficie debe humedecerse de nuevo antes de volver a recubrir (Spalvier et al., 2021).

2.2.9. Tereftalato de polietileno

El tereftalato de polietileno, también conocido como PET, es un poliéster termoplástico semicristalino, se obtiene a partir de una reacción de polimerización entre ácido tereftálico (un ácido dicarboxílico) y etilenglicol (un dialcohol) (Welle, 2015). Se ilustra detalladamente el procedimiento para la obtención del PET.

Figura 8

Reacción de síntesis de PET



Nota: adaptado a partir de estudios sobre el reciclaje de polímeros enfocados en la generación de materiales con valor añadido (p. 91), por Arnaiz, 2014.

Los poliésteres se produjeron por primera vez en la década de 1930 como fibras sintéticas. Sin embargo, hubo que esperar hasta la década de 1970 para que la producción de botella de PET para el envasado de refrescos, y posteriormente de agua (Welle, 2015).

Este material se destaca por su dureza y resistencia, así como por su estabilidad química y térmica. Además, presenta una baja permeabilidad a los gases y es fácil de procesar y manipular (Welle, 2015).

2.2.9.1. Propiedades

El PET posee una excelente resistencia mecánica y tenacidad, lo que lo hace perfecto para aplicaciones que requieren materiales resistentes y duraderos. Además, es resistente a una amplia gama de sustancias

químicas, y no se ve afectado por ácidos ni gases atmosféricos. Algunas propiedades del PET se resumen de manera concisa en la Tabla 3 y la Tabla 4.

Tabla 3*Propiedades intrínsecas del PET*

Propiedad	Método de prueba	Valor	(unidad)
Peso molecular promedio	-	30,000 - 80,000	g/mol
Densidad	-	1.41	g/cm ³
Temperatura de transición vítrea	DSC	69 - 115	°C
Temperatura de fusión	DSC	255 - 265	°C
Calor de fusión	DSC	166	J/g
Resistencia a la rotura	Tracción	50	Mpa
Módulo de Young	-	1700	Mpa
Tensión de fluencia	Tracción	4	%
Resistencia al impacto	ASTM D256-86	90	J/m
Absorción de agua (tras 24 h)	-	0.5	%

Nota: obtenido y adaptado de "Recycling of PET" (p. 1455), por Awaja & Pavel, 2005, European Polymer Journal, 41(p.7).

Tabla 4*Propiedades químicas del PET*

Propiedad	Resistencia
Ácidos - concentrados	Buena
Ácidos - diluidos	Buena
Álcalis	Mala
Alcoholes	Buena
Cetonas	Buena
Grasas y Aceites	Buena
Halógenos	Buena
Hidrocarburos aromáticos	Aceptable

Nota: obtenido de Aplicación para Polietileno Tereftalato (PET) reciclado (p. 37), por Toro, 2004.



Con respecto a las propiedades biológicas Muñoz (2012), indica que el PET exhibe una notable resistencia a la degradación causado por microorganismos, que carecen de las capacidades esenciales para atacarlo. Esta característica impide que se desarrolle un entorno propicio para el crecimiento de hongos, parásitos o bacterias. Además, resiste los ataques de polillas, insectos y roedores. Dado que no es biodegradable, el PET permanece inalterado con el paso del tiempo, lo que le otorga una vida útil prolongada. Además, el PET es inodoro, reciclable y carece de los componentes nocivos presentes en otros plásticos (p. 53).

2.2.9.2. Aplicaciones del PET

El PET es ampliamente utilizado debido a su versatilidad y utilidad en diversas aplicaciones. Entre las más importantes se encuentran:

A. PET grado textil

Se utiliza para sustituir a las fibras naturales como el algodón o el lino en la producción de fibras sintéticas, en particular el poliéster, también conocido como PET de grado textil. El PET es el principal polímero textil, tanto en forma de filamento continuo como de fibra cortada. Se utiliza en la producción de fibras para prendas, donde suele combinarse con algodón en cantidades variables, y como material de relleno en almohadas. También se utiliza en la fabricación de tejidos industriales para reforzar gomas, lonas, cintas transportadoras y una variedad de otros productos (López, 2016).



B. PET para envases

Se emplea en la fabricación de envases debido a sus ventajas, como resistencia química, alta transparencia, ligereza, costos de fabricación más bajos y facilidad de manipulación. Estas características aportan un valor añadido al cliente final (Aguilera & Diestra, 2017).

C. PET grado película

Se emplea en diversos ámbitos, desde medios magnéticos como películas fotográficas y de rayos X, hasta aplicaciones eléctricas como audio, condensadores y contactos, además de su empleo en la industria y las artes gráficas, como el estampado en caliente (Ávila et al., 2015)

D. PET grado ingeniería

Se utiliza en la producción de una amplia gama de artículos de plástico, como cuerdas, hilos, refuerzos de llantas, mangueras, mangos de brochas, cepillos industriales, entre otros (López, 2016).

E. PET grado sustituto

Estas variedades tienen mayores cantidades de impurezas y pueden presentarse en forma de escamas, aunque algunas también pueden presentarse en forma de gránulos, y se utilizan para sustituir a las resinas vírgenes en la producción de artículos de plástico (García & Areche, 2023).



2.2.9.3. Reciclaje del PET

El reciclaje es el proceso de reutilización de productos desechados para reducir la demanda de nuevas materias primas. Al recuperar y reutilizar materiales desechados en el desarrollo de nuevos productos, ayudamos a conservar los recursos naturales, ahorrando grandes cantidades de energía, tiempo y agua que de otro modo se utilizarían en la producción (Molina et al., 2007).

A continuación, se ofrece una descripción básica de las distintas formas en que puede reciclarse el PET.

A. Reciclado mecánico

Es el método más frecuente, que consiste en recolectar, clasificar, lavar y triturar los envases para producir escamas que pueden utilizarse en diversas aplicaciones. Incluso puede utilizarse en el proceso de producción de envases de capas múltiples y ser reutilizado para envasar alimentos (Rodríguez, 2001).

B. Reciclado químico

Los procesos químicos se diferencian por su calidad y sofisticación, aunque también son más costosos debido a la necesidad de una inversión mayor. Estos procesos implican la despolimerización del PET, donde las cadenas de moléculas idénticas se separan y se utilizan para fabricar nuevamente el PET. Se aplican cuando el plástico está altamente degradado o es imposible separarlo de la mezcla en la que se encuentra, sin necesidad de separar los distintos tipos de plásticos ni



realizar una limpieza exhaustiva. Dependiendo de su nivel de pureza, este material puede emplearse incluso para envasar alimentos (Paz, 2016).

C. Reciclado energético

El PET destaca como fuente de energía por su alto poder calorífico de 5.373 Kcal/Kg y su eficaz proceso de combustión, que suele llevarse a cabo en condiciones cuidadosamente reguladas. No se utilizan aditivos ni modificadores en todo el proceso de producción, por lo que no hay emisiones nocivas. Su combustión sólo genera dióxido de carbono y vapor de agua (Rodríguez, 2001).

2.2.9.4. Fibras PET reciclado

El proceso de producción de fibra de PET comienza con la selección del material en función de su transparencia y color. Luego, se realiza un lavado para eliminar residuos abrasivos, materiales biodegradables, papel, adhesivos y etiquetas, y se eliminan impurezas como arena, vidrio y metales. Una vez limpio, el PET puede comprimirse en pacas para minimizar su volumen, sobre todo en el caso de las botellas, o triturarse para reducir su tamaño o cortarse en proporciones específicas en función del fin previsto (Aguilera & Diestra, 2017).

Las fibras de PET se obtienen mediante el proceso de reciclado mecánico que comienza con la recolección de botellas de PET de tamaño uniforme, retirando cuidadosamente las etiquetas y las tapas. Luego se limpian las botellas en un entorno adecuado para garantizar la máxima limpieza del material. En el paso siguiente, las botellas de PET se cortan con una guillotina o tijera, empleando únicamente el cuerpo para



garantizar un tamaño uniforme y facilitar el procedimiento de corte, eliminando el cuello y el fondo de las botellas. Este procedimiento se realiza con precisión para garantizar que las fibras obtenidas cumplan los criterios de calidad. Finalmente, se obtienen las fibras, que se ajustan al tamaño previamente definidos (Quenta, 2019).

2.2.9.5. Implementación de fibras PET recicladas en el concreto

El PET reciclado se utiliza como material de refuerzo en la producción del concreto, mejorando cualidades como la resistencia, la rigidez, la tenacidad, la resistencia a altas temperaturas y la conductividad. Es fundamental que el material de refuerzo sea compatible con la matriz del concreto y que pueda soportar la agresividad de los productos de hidratación del cemento (Ávila et al., 2015).

2.2.10. Diseño estructural del pavimento permeable

2.2.10.1. Sub base

“Es una parte integral de la estructura del pavimento rígido, situada entre la sub rasante y la losa pavimento rígida. Esta capa, compuesta por una o varias capas compactas de material granular o estabilizado; la función principal de la sub base es evitar el fenómeno de levantamiento en suelos compuesto por partículas finas. Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las fuerzas ejercidas sobre la capa de rodadura del pavimento rígido” (Larico, 2016).



2.2.10.2. Geomembrana de HDPE

En el caso de retención completa, para el aprovechamiento de agua de lluvia, en la subrasante, se debe instalar una membrana impermeable de polietileno que detenga el agua dentro de la zona de almacenamiento, el calibre debe ser calculado de acuerdo a la carga aplicada y a la resistencia al punzonamiento, el fabricante deberá proveer esta información (Castro, 2011, p. 47).

2.2.10.3. Subrasante

Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no comprometa la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa, ya sea de corte o de relleno, debe compactarse para cumplir con las secciones transversales y las pendientes delineadas en los planos de diseño. El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la muestra (suelo de la sub rasante), por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento rígido es esencialmente el ajuste de la carga de diseño como por rueda a la capacidad de la sub rasante (Larico, 2016).

2.2.10.4. Drenaje subterráneo

Asenjo & Davila (2020), menciona que el sub dren evacua el agua de lluvias. Reduciendo la presión de vacíos y evitar su incremento, se logra aumentar la resistencia.



2.2.10.5. Método AASHTO 93

Según la AASHTO (1993) “señala que la losa soporta la mayoría de las tensiones aplicadas al pavimento, que permite una distribución uniforme de las cargas de las ruedas y reduce significativamente la tensión sobre la subrasante”.

2.2.10.6. Factores de diseño

Se deben considerar diversos aspectos al determinar el espesor del pavimento rígido, con el sistema de drenaje, el volumen de tráfico, las condiciones climáticas y las propiedades del suelo, al diseñar un pavimento. Todos estos factores son fundamentales para planificar adecuadamente la estructura del pavimento.

$$\begin{aligned} \log_{10}(W18) = & Zr \times So + 7.35 \times \log_{10}(D + 1) - 0.06 \\ & + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}\right)}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 \times Pt) \times \end{aligned}$$

$$\log_{10}\left[215.63 \frac{S'c \times Cd \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \times (D^{0.751} - \frac{18.42}{(Ec/k)^{0.251}})}\right]$$

W18 = Número de cargas 18 kips (80 KN).

So = Desviación estándar de variable.

ZR = Valor de Z para una confiabilidad R (área debajo de la curva de distribución).



D = Grosor del pavimento en pulgadas.

ΔPSI = En el diseño se prevé la pérdida de Servicialidad.

P_t = La final de Servicialidad que tendrá.

$S'c$ = Módulo de rotura de concreto (psi).

J = Coeficiente de transferencia de carga.

C_d = Coeficiente de drenaje.

EC = Módulo de elasticidad de concreto (psi).

K = Módulo de reacción de la subrasante, (psi/pul.).

2.2.11. Estudio Geotécnico

Según Braja (2015), un estudio geotécnico implica la realización de investigaciones y análisis detallados para caracterizar las propiedades físicas y mecánicas del suelo y las rocas a lo largo del trazado propuesto. Este estudio proporciona información crítica sobre la capacidad de soporte del terreno, la estabilidad de taludes, la influencia de las condiciones del suelo en el diseño de la pavimentación y la evaluación de posibles problemas geotécnicos, asegurando así la seguridad y durabilidad de la infraestructura vial.

2.2.12. Estudio Topográfico

De acuerdo con Villalba (2016), la finalidad del estudio topográfico es representar la superficie terrestre en un plano, generalmente en áreas de terrenos pequeños. Este proceso se basa en el uso del triángulo plano, donde la suma de los ángulos internos es de 180 grados. Además, se emplea un sistema de referencia



cartesiano con ejes perpendiculares para localizar puntos, utilizando términos como norte, este y cota.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO

Esta investigación se llevó a cabo en la ciudad de Ayaviri de la provincia de Melgar, región de Puno, que se encuentra a una altitud de 3936 m. s. n. m., lo que da lugar a un clima templado frío seco. Las temperaturas por lo general oscilan entre -5°C y 18°C , y pueden mostrar variaciones entre el día y la noche debido a la altitud y la geografía del lugar.

Tabla 5

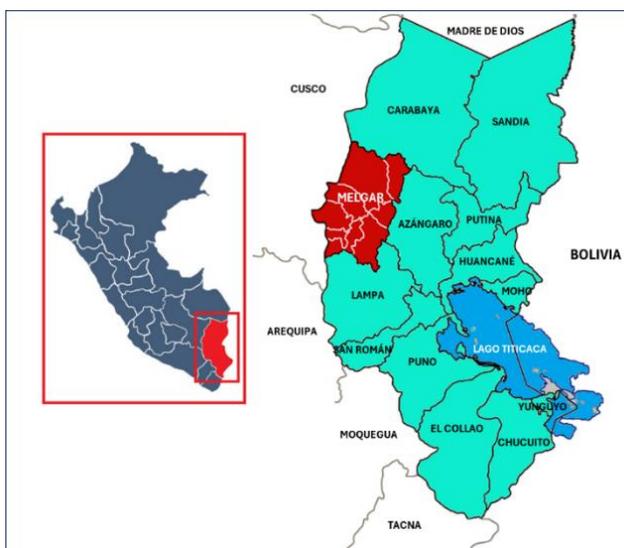
Localización del distrito de Ayaviri

Ubicación	Coordenadas UTM
Ayaviri	Norte : 8354122
	Este : 328951

Nota: se muestra la ubicación del distrito de Ayaviri, provincia de Melgar.

Figura 9

Representación cartográfica la provincia de Melgar



Nota: adaptada del mapa del departamento de Puno, GRPPAT 2013.



3.1.1. Condiciones Geográficas y climáticas

Está situada a una altitud elevada y experimenta un clima frío y seco, lo que permite estudiar cómo el concreto permeable se comporta en condiciones de bajas temperaturas y baja humedad

La variabilidad estacional de las precipitaciones ofrece una oportunidad para evaluar la capacidad de infiltración del concreto permeable durante diferentes épocas del año.

3.1.2. Condiciones del suelo

El suelo es predominantemente arcilloso, lo que presenta un desafío significativo para la infiltración de agua. Esto permite analizar la eficacia del concreto permeable en condiciones de suelo de baja permeabilidad.

La susceptibilidad a la erosión del suelo proporciona un contexto ideal para estudiar las propiedades de control de erosión del concreto permeable.

3.1.3. Infraestructura existente

La infraestructura de drenaje puede no estar completamente desarrollada, lo que permite investigar cómo el concreto permeable puede complementar y mejorar los sistemas de drenaje existentes.

3.1.4. Aspectos Socioeconómicos

La disponibilidad y costo de materiales locales influye en la viabilidad económica del concreto permeable.



La implementación de concreto permeable puede proporcionar beneficios significativos a la comunidad local, como la reducción de inundaciones y la mejora de la calidad del agua.

Los ensayos tuvieron lugar en el laboratorio de construcciones de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano. En este laboratorio, se ejecutaron una serie de ensayos que abarcaron la resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y permeabilidad.

3.2. PERIODO DE DURACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Durante un lapso de 12 meses, que se extendió desde julio de 2023 hasta junio de 2024, se llevó a cabo este proyecto, que incluyó la fase de elaboración del perfil de tesis. En el transcurso de la investigación, se recopilaron datos fundamentales con el propósito de generar un documento preciso, apropiada y relevante.

3.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1. Tipo de investigación

“La investigación aplicada también suele denominarse investigación tecnológica aplicada, investigación práctica o investigación empírica. Se distingue por aplicar la información adquirida en la investigación pura a retos prácticos, empíricos y técnicos. Su objetivo principal es impulsar el avance y proporcionar beneficios a los sectores productivos de bienes y servicios en la sociedad” (Muñoz, 2011, p. 26).

Esta investigación se considera APLICADA, ya que se utiliza para identificar técnicas o procedimientos que permitan el logro de un determinado objetivo, empleando los conocimientos adquiridos sobre la aplicación de fibras de



tereftalato de polietileno recicladas en el concreto permeable. Como resultado, su aplicación se limita a un ámbito específico y bien definido.

3.3.2. Nivel de investigación

Según Hernández et al. (2014) “la investigación explicativa tiene por objetivo determinar todas las causas de los fenómenos, eventos o sucesos que se van estudiar” (p. 108).

Este estudio se sitúa en el nivel EXPLICATIVO, ya que busca establecer una relación causa-efecto al introducir fibras PET en el concreto permeable, a fin de determinar su impacto en las propiedades físico-mecánicas.

3.3.3. Diseño de investigación

El objetivo del diseño experimental es cuantificar el vínculo causal entre variables ajustando o controlando la variable independiente en relación con la variable dependiente, mediante un plan de acción que puede estructurarse en etapas o definido con rangos. En estos diseños, la variable independiente es el elemento que el investigador controla para evaluar sus efectos en la variable dependiente (Arias, 2020, p. 46).

El diseño adoptado en este estudio se ajusta al EXPERIMENTAL ya que implica la manipulación de la variable independiente, que consiste en la adición de fibras PET recicladas en variadas proporciones en el concreto permeable, con el propósito de posteriormente analizar el efecto de este cambio en las variables dependientes, como la resistencia a compresión, flexión y permeabilidad.



3.3.4. Enfoque de la investigación

Hernández et al. (2014) señala que “la investigación adopta un enfoque cuantitativo porque refleja las necesidades de estimar y medir el alcance de un problema o fenómeno de una investigación” (p. 5).

Este estudio es CUANTITATIVO, se centra en recopilar y analizar datos numéricos con el propósito de medir fenómenos, variables y relaciones entre ellas. Este método involucra la recolección de datos mediante mediciones, y recurre al análisis estadístico para identificar patrones y asociaciones en los datos.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO

3.4.1. Población

Según Hernández et al. (2014) “es el conjunto de unidades que comparten una determinada característica objeto de investigación, que sirve como fuente de los datos necesarios. En resumen, la población está formada por elementos que cumplen unas especificaciones técnicas concretas”.

La población de este estudio está compuesta por muestras de concreto permeable de resistencia 175 kg/cm^2 , presentadas en forma de cilindros y prismas. Esta población incluye un total de 60 probetas cilíndricas y 24 prismáticas del concreto convencional sin fibras PET recicladas, así como del concreto que incorpora fibras PET recicladas en cantidades de 0.25 %, 0.50 % y 1.00 % en relación al peso del cemento.



3.4.2. Muestra

Según Hernández et al. (2014) “Para el proceso cuantitativo, la muestra es un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolectarán datos y que tiene que definirse y delimitarse de antemano con precisión, además de que debe ser representativo de la población” (p. 173).

Para llevar a cabo el muestreo, se siguieron los lineamientos de aceptación que se derivan de las normativas americanas. Estas normativas establecen las pautas para determinar el tamaño de la muestra, tal como lo especifica el Comité ACI 318 (2015).

En el presente estudio, se han considerado 4 probetas cilíndricas para cada condición en las pruebas de resistencia a compresión realizados a edades de 7, 14 y 28 días. Respecto a los ensayos de resistencia a la flexión, se optó por 3 muestras prismáticas para cada condición, ensayadas también a los 14 y 28 días de edad. Además, se disponía de 12 muestras cilíndricas que han sido acondicionadas específicamente para probar su capacidad de permeabilidad.

Para evaluar la resistencia a compresión, se dispusieron 48 muestras cilíndricas (6”x12”). En la Tabla 6 se presenta la distribución de estos especímenes.

Tabla 6*Total de muestras: resistencia a compresión*

Variante de concreto permeable	Edad			Sub total
	7 días	14 días	28 días	
Concreto patrón sin fibra PET (CP)	4	4	4	12
Con 0.25% de fibra PET (C 0.25%)	4	4	4	12
Con 0.50% de fibra PET (C 0.50%)	4	4	4	12
Con 1.00% de fibra PET (C 1.00%)	4	4	4	12
TOTAL				48

Además, se emplearon 24 muestras prismáticas de concreto (6" x 6" x 20") para realizar pruebas de resistencia a flexión, y su distribución se presenta.

Tabla 7*Total de muestras: resistencia a flexión*

Variante de concretos permeables	Edades		Sub total
	14 días	28 días	
sin fibra PET (VP)	3	3	6
Con 0.25% de fibra PET (V 0.25%)	3	3	6
Con 0.50% de fibra PET (V 0.50%)	3	3	6
Con 1.00% de fibra PET (V 1.00%)	3	3	6
TOTAL			24

Finalmente, para las pruebas de permeabilidad se asignaron 12 muestras cilíndricas de concreto permeable (4" x 8"). La tabla 8 muestra la distribución.

Tabla 8*Total de muestras: permeabilidad*

Tipo de concreto permeable	Edad
	28 días
Concreto patrón (sin Fibra PET)	3
Con fibra PET (0.25%)	3
Con fibra PET (0.50%)	3
Con fibra de PET (1.00%)	3
TOTAL	12

3.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 9*Operacionalización de variables*

VARIABLES	INDICADORES	Instrumento de medida	Unidades de medida
Independiente FIBRAS PET RECICLADAS	Dosificación con (0.25%, 0.50% y 1.00%)	Balanza con precisión de 0.1 gr	(%)
Dependiente	- Resistencia a la compresión	-Máquina de compresión	Kg/cm ²
PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DEL CONCRETO PERMEABLE	- Resistencia a flexión	-Máquina de flexión	Kg/cm ²
	- Coeficiente de permeabilidad	-Equipo de permeabilidad	cm/s

3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.6.1. Técnicas de recolección de datos

Se utilizaron dos técnicas: la observación directa, que requiere estar en el sitio para recolectar información de pruebas de laboratorio de acuerdo a las

normas, y el análisis documental, que consiste en revisar textos escritos por terceros, como tesis y artículos, a fin enriquecer la investigación, se incluirá información que contengan aspectos relevantes sobre el uso de fibras de PET recicladas en concretos permeables.

3.6.2. Instrumentos de recolección de datos

En la Tabla 10 se detallan los instrumentos que se utilizaron en el desarrollo de la investigación actual.

Tabla 10

Instrumentos de recolección de datos

Instrumentos documentales		Instrumentos mecánicos	
Fichas de observación	Normas	Equipos de laboratorio	Herramientas manuales
Se emplearon formatos específicos para la recopilación de datos, adaptados a cada tipo de prueba de laboratorio.	Se han consultado normativas como ASTM, NTP, ACI y el Manual de Ensayos de Materiales del MTC, que proporcionan directrices para realizar cálculos y ensayos de laboratorio conforme a prácticas adecuadas.	Máquinas de compresión y flexión, máquina de abrasión, máquina mezcladora, balanzas digitales, horno eléctrico.	Moldes cilíndricos y prismáticos, cono de Abrams, tamices estandarizados, varilla compactadora, vernier, martillo de goma, cinta métrica, carretilla, cucharones, taras, entre otros.

3.6.3. Procedimiento de recolección de datos

El estudio se dividió en dos fases. La primera fase consistió en la recolección de muestras mediante muestreo y su análisis en el laboratorio. La segunda fase implicó la preparación y realización de ensayos de acuerdo con las normas. Además, se documentaron las fechas de obtención de especímenes

cilíndricos y prismáticos, así como las fechas de las pruebas de resistencia de compresión, flexión y permeabilidad.

3.6.4. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Se ha recopilado información a partir de las fichas técnica y se ha comprobado mediante el uso de fórmulas. Asimismo, se empleó el software Microsoft Office Excel 2019 para presentar los datos de manera gráfica y realizar el estudio conveniente, incluyendo el análisis estadístico y la realización de pruebas de hipótesis.

3.7. PROCEDENCIA DE LOS MATERIALES EMPLEADOS

3.7.1. Agregado fino y grueso

Los agregados empleados en este estudio, tanto finos como gruesos, proceden de la cantera de San Antonio, situada en el centro poblado del mismo nombre, a unos 13 kilómetros de Ayaviri. Se eligió esta cantera por su facilidad de acceso, su proximidad al área de estudio y la alta calidad del material.

Tabla 11

Ubicación y coordenadas UTM de la cantera San Antonio

Ubicación	Coord. UTM
San Antonio	Norte : 8359150 Este : 318391 Altitud : 3929 m s.n.m.

Figura 10

Localización de la cantera San Antonio



Nota: obtenido y adaptado de Google Earth Pro.

Figura 11

Acopio de agregados



3.7.2. Cemento

Para este análisis, se optó por el cemento Portland tipo IP de la marca RUMI, ya que es ampliamente empleado en la región de Puno y su cumplimiento de las directrices NTP 334.090. y la ASTM C595.

Se ha establecido un peso específico de 2.85 g/cm³. Las características químicas y físicas se detallan en la Tabla 12, según la información proporcionada en la ficha técnica.

Tabla 12

Características químicas y físicas del cemento utilizado

	Requisitos	Rumi IP	ASTM C-595 NTP 334.090
Requisitos químicos	MgO (%)	1.99	6.00 máx.
	SO ₃ (%)	1.75	4.00 máx.
	Pérdida por ignición (%)	2.14	5.00 máx.
Requisitos físicos	Peso específico	2.85	-
	Expansión en autoclave, %	0	0.80 máx.
	Tiempo de fraguado (Inicial), min	170	45 mín.
	Tiempo de fraguado (Final), min	269	420 máx.
	Contenido de aire del mortero, %	3.59	12 máx.

Nota: ficha técnica Rumi IP.

3.7.3. Fibras de tereftalato de polietileno

Las fibras de PET fueron obtenidas mediante un proceso de reciclaje mecánico que comenzó con la recolección de botellas de PET de tamaño uniforme, las cuales fueron despojadas de sus etiquetas y tapas. Luego, las botellas fueron lavadas en un entorno apropiado. Posteriormente, las botellas de PET se cortaron utilizando solo el cuerpo para asegurar un tamaño uniforme y facilitar el proceso de corte, eliminando el cuello y el fondo. Finalmente, las fibras PET fueron obtenidas mediante el uso de una guillotina, con dimensiones de 3 x 30 mm.

Figura 12

Obtención de fibras PET recicladas



Nota: recolección de envases

Las proporciones de fibras de PET considerados en esta investigación son 0.25%, 0.50% y 1.0% con respecto al peso del cemento, con dimensiones de 3 x 30 mm. Estos valores es partir de conclusiones y sugerencias de estudios previos.

3.7.4. Agua

Para esta investigación el agua empleada debe tener las mismas especificaciones que se utilizan en la fabricación del concreto estándar, en cumplimiento de las directrices de la NTP 339.088, tomando como referencia el agua suministrada por la red pública.

3.8. ENSAYO DE LOS AGREGADOS

3.8.1. Ensayos para la obtención de las propiedades físicas de los agregados

3.8.1.1. Contenido de humedad de los agregados

Este análisis se ha llevado a cabo siguiendo la normativa establecida, como el MTC E 108. De acuerdo al siguiente procedimiento:

- Inicialmente, se procedió a pesar las muestras representativas de agregado grueso y fino en su estado natural, es decir, húmedo.
- Posteriormente, fueron colocadas durante 24 hr. a una T° constante de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ y se volvieron a pesar para obtener el peso de la muestra seca.
- Todos los procedimientos mencionados se realizaron tres veces para garantizar la precisión de los resultados.
- Por último, se realizaron los cálculos necesarios para determinar el contenido de humedad de las muestras.

$$W\% = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso de la muestra secas}}$$

Figura 13

Contenido de humedad de los agregados



Tabla 13*Contenido de humedad: agregado fino*

Descripción	Agregados finos		
	J-1	J-2	J-3
Peso de taras(g)	29.81	29.81	29.49
Peso de tara +M. húmedas(g)	414.14	414.14	411.30
Peso de tara +M. secas(g)	412.98	412.98	409.86
Peso de aguas	1.16	1.16	1.44
Peso de muestras secas (g)	383.17	383.17	380.37
Contenidos de Humedad W%	0.30	0.30	0.38
Promedios de Humedad W%	0.38		

Tabla 14*Contenido de humedad: agregado grueso 3/8"*

Descripción	Ensayos		
	J-1	J-2	J-3
Peso de taras(g)	120.54	120.54	121.90
Peso de tara +M. húmedas(g)	841.85	841.85	811.42
Peso de tara +M. secas(g)	834.66	834.66	804.75
Peso de aguas	7.19	7.19	6.67
Peso de muestras secas (g)	714.12	714.12	682.85
Contenidos de Humedad W%	1.01	1.01	0.98
Promedio de Humedad W%	0.98		

3.8.1.2. Peso específico y absorción del agregado fino

Para este análisis se ha llevado a cabo siguiendo la normativa, de MTC E 205.

El procedimiento se ha desarrollado de la siguiente manera:

- Inicialmente, se homogenizó la muestra y se eliminó cualquier partícula de tamaño superior a 4,75 mm con tamiz N°4. A



- continuación, se seleccionó aproximadamente 1 kg de muestra mediante la técnica del cuarteo y se secó en un horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Una vez seca, la muestra típica fue sumergida en agua por 24 horas para garantizar la saturación. Después de este período, el agua se decantó cuidadosamente para evitar la pérdida de partículas finas.
 - A continuación, el material se secó utilizando una cocinilla para proporcionar calor de manera uniforme y constante, garantizando la homogeneidad del proceso.
 - La prueba consistía en introducir cuidadosamente el material en un molde cónico y compactarlo con 25 golpes sobre una superficie. Posteriormente, se retiró el cono verticalmente para comprobar la humedad superficial de la muestra. La observación de un ligero desmoronamiento indicaba que se había alcanzado su estado seco superficial saturado (SSS).
 - Una vez obtenido el estado requerido (SSS), se llenó un picnómetro hasta una capacidad determinada con muestra y agua. El aire se expulsó agitando el picnómetro, que a continuación se sometió en un baño maría a temperatura controlada.
 - Para concluir, se pesó el picnómetro lleno, se extrajo el material y el fluido y se secó en horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas. Después de este tiempo, se obtuvo la masa seca del material.

Figura 14

Desintegración SSS del agregado fino



Figura 15

Eliminación de aire del agregado fino



Cálculos y resultados:

$$\text{Peso específico aparentes} = \frac{A}{B + S - C}$$



$$\text{Peso específico aparente (S.S.S.)} = \frac{S}{B + S - C}$$

$$\text{Peso específico nominal} = \frac{A}{B + A - C}$$

$$\text{Absorción} = \frac{S - A}{A} \times 100$$

A: Peso muestra seca.

B: Peso agua + peso picnómetro.

C: Peso muestra + peso picnómetro + peso del agua.

S: Peso muestra saturada con superficie seca.

Tabla 15

Gravedad específica: agregado fino

Datos			
1	Peso de la muestra superficialmente secas	500.00	g
2	Peso del picnómetro + peso del agua	708.92	g
3	Peso de la arena superficialmente seca + peso del picnómetro + peso del agua	1014.96	g
4	Peso de la arena secada al horno + peso de tara	680.02	g
5	Peso de tara	192.32	g
6	Peso de arena secada al horno (4-5)	487.70	g
Resultados			
	Peso específico aparente (6/(2+1-3))	2.51	g/cm ³
	Peso específico aparente (SSS)	2.58	g/cm ³
	Peso específico nominal	2.05	g/cm ³
	Absorción ((1-6)/6)	2.52	%

Nota: resultados del agregado fino



3.8.1.3. Peso específico y absorción de los agregados gruesos

Se ejecuto conforme los requisitos del MTC E 206. El procedimiento se desarrolló de acuerdo con lo siguiente:

- La muestra se redujo a aproximadamente la cantidad requerida de 1 kg aproximadamente. Se descartó cualquier material que pasara a través del tamiz N° 4.
- Luego, la muestra fue secada en un horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas para conseguir una masa constante. Después, el agregado grueso se sumergió en agua a temperatura ambiente por 24 horas.
- Tras sacarla del agua, la muestra se hizo rodar sobre un paño absorbente hasta que desapareció cualquier película de agua aparente, para luego determinar su peso de la muestra con la superficie seca en condiciones de saturación.
- A continuación, la muestra saturada con la superficie seca se colocó en la cesta y se calculó su peso sumergido.
- Por último, se secó en un horno a $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ por un día y se determinó su peso una vez enfriada a temperatura ambiente.

Figura 16

Secado en paño del agregado saturado



Figura 17

Pesado del agregado sumergido



$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{B - C}$$

$$\text{Peso específico aparente (SSS)} = \frac{B}{B - C}$$

$$\text{Peso específico nominal} = \frac{A}{A - C}$$



$$\text{Absorción} = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Donde:

A: Peso muestra seco

B: Peso de muestra (SSS)

C: Peso saturada en agua

Tabla 16

Gravedad específica: agregado grueso de 3/8"

Datos			
1	Peso de la muestra secada al horno	914.47	g
2	Peso de la muestra saturada superficialmente seca	944.84	g
3	Peso sumergido de la canastilla	858.60	g
4	Peso sumergido de la canastilla + muestras SSS	1423.35	g
5	Peso sumergido en agua de la muestra saturada	564.75	g
Resultados			
	Peso específico aparente (1/(2-5))	2.41	g/cm ³
	Peso específico aparente (SSS)	2.49	g/cm ³
	Peso específico nominal	2.61	g/cm ³
	Absorción ((2-1)/1)	3.32	%

Nota: se describen los datos y los resultados del material

3.8.1.4. Peso unitario de los agregados

Este ensayo ha sido llevado a cabo conforme a la normativa MTC

E 203. El procedimiento se ha desarrollado de la siguiente manera:

- Se comenzó seleccionando un molde cilíndrico con las especificaciones adecuadas para la prueba, cuyas dimensiones y peso

fueron medidos para determinar su volumen. A continuación, se eligió una muestra representativa mediante el método del cuarteo.

- Para calcular el peso unitario seco suelto (PUSS), se llevó a cabo al verter la muestra en un molde cilíndrico desde un cucharón, limitando la altura a un máximo de 5 cm. Cuando el material había desbordado el borde del molde, se niveló con una varilla y luego se pesó el molde con el contenido de la muestra.
- Para calcular el (PUCS), el agregado se dividió en tres capas de igual volumen. Cada estrato se compactó mediante 25 golpes con una varilla de 5/8", dispersando los golpes uniformemente y evitando golpear la base del molde para no perturbar las capas inferiores. Cuando el material había desbordado el borde, se niveló con una varilla y se pesó con el contenido de la muestra.

Figura 18

Eliminación de material excedente del molde y pesado de la misma



Figura 19

Enrase del molde con varilla de apisonado



Se emplearon las siguientes fórmulas para realizar los cálculos:

$$PUSS = \frac{\text{Peso de la muestra suelta}}{\text{Volumen del molde}}$$

$$PUCS = \frac{\text{Peso de la muestra compactada}}{\text{Volumen del molde}}$$

Las tablas 17 al 20 muestran los resultados obtenidos para el peso unitario suelto y compactado de los agregados.

Tabla 17

Peso unitario suelto seco: agregado fino

Descripción	Unidad	VI	VII	VIII
Peso del molde	g	10015.00	10015.00	10015.00
Peso del molde + muestra	g	18705.00	18600.00	18530.00
Peso de la muestra	g	8690.00	8585.00	8515.00
Volumen del molde	cm ³	5442.89	5442.89	5442.89
Peso unitario suelto	g/cm ³	1.597	1.577	1.564
Promedio	g/cm ³		1.579	



Tabla 18

Peso unitario compactado seco: agregado fino

Descripción	Unidad	VI	VII	VIII
Peso del molde	g	10015.00	10015.00	10015.00
Peso del molde + muestra	g	19525.00	19535.00	19590.00
Peso de la muestra	g	9510.00	9520.00	9575.00
Volumen del molde	cm ³	5442.89	5442.89	5442.89
Peso unitario compactado	g/cm ³	1.747	1.749	1.759
Promedio	g/cm ³		1.752	

Tabla 19

Peso unitario suelto seco: agregado grueso de 3/8"

Descripción	Unidad	VI	VII	VIII
Peso del molde	g	10015	10015.00	10015.00
Peso del molde + muestra	g	17480	17540.00	17585.00
Peso de la muestra	g	7465.00	7525.00	7570.00
Volumen del molde	cm ³	5442.89	5442.89	5442.89
Peso unitario suelto	g/cm ³	1.372	1.383	1.391
Promedio	g/cm ³		1.382	

Tabla 20

Peso unitario suelto compactado: agregado grueso de 3/8"

Descripción	Unidad	VI	VII	VIII
Peso del molde	g	10015.00	10015.00	10015.00
Peso del molde + muestra	g	18275.00	18295.00	18250.00
Peso de la muestra	g	8260.00	8280.00	8235.00
Volumen del molde	cm ³	5442.89	5442.89	5442.89
Peso unitario suelto	g/cm ³	1.518	1.521	1.513
Promedio	g/cm ³		1.517	

3.8.1.5. Análisis granulométrico

Este ensayo ha sido llevado a cabo de acuerdo a las normas MTC E204 y NTP 400.012. El procedimiento ha sido ejecutado de la siguiente manera:

- El material se separó utilizando la malla N° 4, clasificando lo retenido como agregado grueso y lo que pasó como fino. Luego, se seleccionó una porción representativa por el método de cuarteo, para obtener al menos 300 g de agregado fino y aproximadamente 5 kg de agregado grueso, de acuerdo con la (NTP 400.012, 2018). Posteriormente, las muestras se secaron en un horno a 110°C.
- Tras el secado de las muestras, se registró el peso original antes de tamizar a través de varios tamices normalizados. Los tamices se agitaron y se hicieron girar con movimientos suaves y constantes hasta conseguir pesos constantes en cada uno de ellos. Finalmente, se procedió a pesar los materiales que quedaban en cada tamiz.

Figura 20

Proceso de tamizado de los agregados fino y grueso



Tabla 21

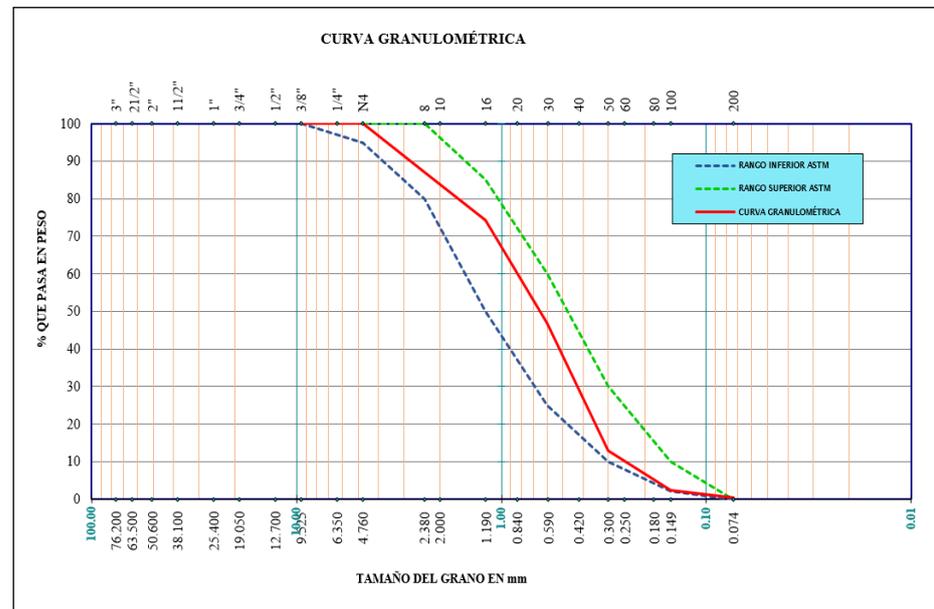
Granulometría: agregado fino

Tamiz	Aberturas (mm)	Pesos retenidos	% pesos retenidos	% retenido acumulado	% que pasan
N°4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00
N°8	2.36	65.15	13.04	13.04	86.96
N°16	1.19	63.28	12.66	25.70	74.30
N°30	0.6	137.91	27.60	53.30	46.70
N°50	0.3	169.34	33.89	87.18	12.82
N°100	0.149	52.03	10.41	97.59	2.41
N°200	0.074	9.92	1.99	99.58	0.42
< N°200		2.11	0.42	100.00	0.00
Masa final total		500.22	g		
Masa inicial		499.74	g		
Pérdida		0.096	%		

Nota: el porcentaje de pérdida es del 0.096%, que es inferior al 0.3%, por lo tanto, el resultado se considera aceptable conforme la NTP-400.012.

Figura 21

Curva granulométrica: agregado fino



Nota: cumple los parámetros establecidos por la directris ASTM C 33.

Tabla 22

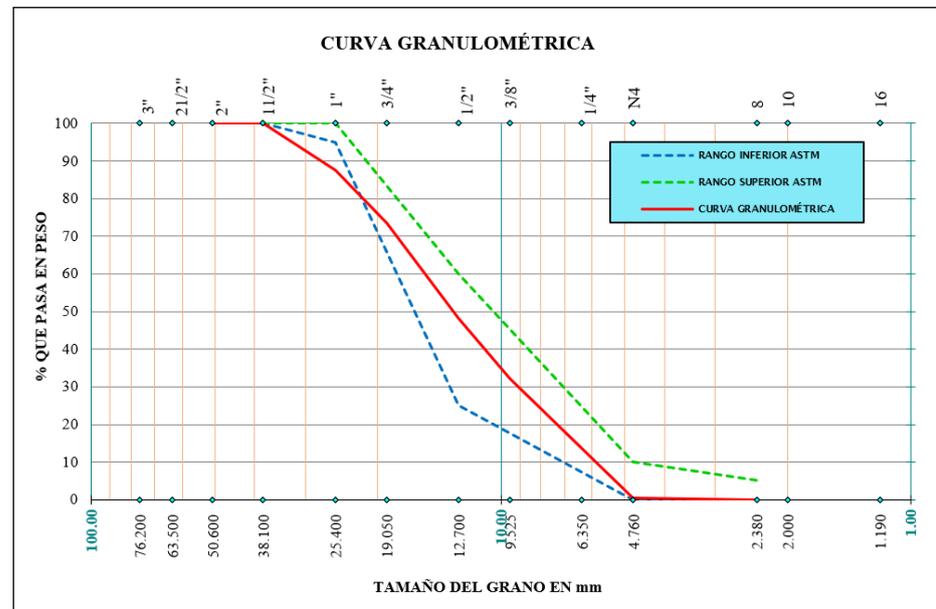
Granulometría: agregado grueso

Tamiz	Aberturas (mm)	Pesos retenidos	% pesos retenidos	% retenido acumulado	% que pasan
11/2"	38.1	0.0	0.0	0.0	100.00
1"	25.4	0.000	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	1.490	12.41	12.41	87.59
1/2"	12.7	1.680	13.99	26.41	73.59
3/8"	9.525	3.045	25.36	51.77	48.23
1/4"	6.35	1.935	16.12	67.89	32.11
N°4	4.76	3.815	31.78	99.67	0.33
N°8	2.36	0.040	0.33	100.00	0.00
Masa inicial total		12010	g		
Masa final		12005	g		
Pérdida		0.042	%		

Nota: el % de perdida es de 0.042% < 0.3% entonces el resultado es aceptable, según la NTP 400.012.

Figura 22

Curva granulométrica: agregado grueso



Nota: el agregado grueso cumple con los límites del Huso N° 57, ASTM C 33.

3.8.1.6. Módulo de fineza de los agregados

Este ensayo ha sido llevado a cabo de acuerdo a la norma NTP 400.011. El procedimiento ha sido ejecutado de la siguiente manera:

- Con los datos obtenidos de la granulometría de los agregados, se procedió al cálculo de los módulos de fineza. Esto implicó sumar los porcentajes acumulados retenidos en las mallas de 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100, y luego dividirlos sobre cien.

Cálculos y resultados:

Módulos de fineza del agregado fino:

$$m_f = \frac{\sum \% \text{ Ret. Acum. (3", 1 1/2", 3/4", 3/8")}}{100.00} +$$
$$+ \frac{\sum \% \text{ Ret. Acum. (N° 4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100)}}{100.00}$$
$$m_f = \frac{13.04 + 25.70 + 53.30 + 87.18 + 97.59}{100.00}$$
$$m_f = 2.77$$

Módulos de fineza del agregado grueso:

$$m_g = \frac{\sum \% \text{ Ret. Acum. (N° 4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100)}}{100} +$$
$$+ \frac{\sum \% \text{ Ret. Acum. (N° 4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100)}}{100}$$
$$m_g = \frac{26.41 + 67.89 + 99.67 + 5 \times 100}{100}$$



$$m_g = 6.94$$

3.8.1.7. Abrasión los ángeles

Este ensayo ha sido llevado acabo de acuerdo a las normas MTC
E207

El procedimiento ha sido ejecutado de la siguiente manera:

- Se eligió el método B porque era apropiado para el tamaño del agregado utilizado. Este método consistió en medir el deterioro de los agregados después de exponerlos al impacto en un tambor giratorio de acero, utilizando una carga abrasiva de bolas de acero. El material utilizado fue de 5.000 gramos, de los cuales 2.500 gramos pasaron por la malla de 3/4" y quedaron en la malla de 1/2", y otros 2.500 gramos pasaron la malla de 1/2" y quedaron en la de 3/8".
- Tras finalizar el ensayo, se extrajo el material y se cribo por la malla 12. El material retenido fue lavado y se secado, y luego se pesó.
- El resultado obtenido es la variación de pesos.

Figura 23

Ensayo de abrasión de los ángeles



Cálculos y resultados:

El coeficiente de desgaste de los Ángeles, que es el resultado del ensayo expresado en porcentaje de desgaste, se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{100 * (P_1 - P_2)}{P_1}$$

Donde:

- P1: Peso seco antes del ensayo
- P2: Peso de la muestra seca posterior al ensayo, una vez lavada en el tamiz N° 12.
- Los cálculos de la prueba de abrasión de los Ángeles para el material de 3/8" se detallan en la Tabla 23.

Tabla 23*Resultados de abrasión de los ángeles del agregado grueso de 3/8"*

Tamaño de malla		Peso inicial (g)	Peso retenido malla N°12 (g)	Peso perdido (g)	Peso perdido (%)
Pasa	Retenido				
1 1/2"	1"	0.00	-	-	-
1"	3/4"	0.00	-	-	-
3/4"	1/2"	2500.00	-	-	-
1/2"	3/8"	2500.50	-	-	-
Peso total		5000.50	3995.00	1005.50	20.11%
Desgaste por abrasión de los ángeles				20.11%	

Según los requisitos para la construcción de caminos, calles y puentes (MTC-2000), el agregado grueso debe pasar la prueba de resistencia al deterioro utilizando el método de la máquina de los Ángeles. Se establece que el deterioro aceptable debe estar entre el 40% y el 50%.

3.9. DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO PERMEABLE

Para diseñar la mezcla de concreto permeable, se consideró las directrices en el diseño con slump cero ACI 211.3R, al igual que la norma ACI-522R-10. Estas normativas proporcionan un proceso de diseño, tablas empíricas, ábacos y parámetros indispensables para llevar a cabo dicho diseño de forma precisa y eficiente.

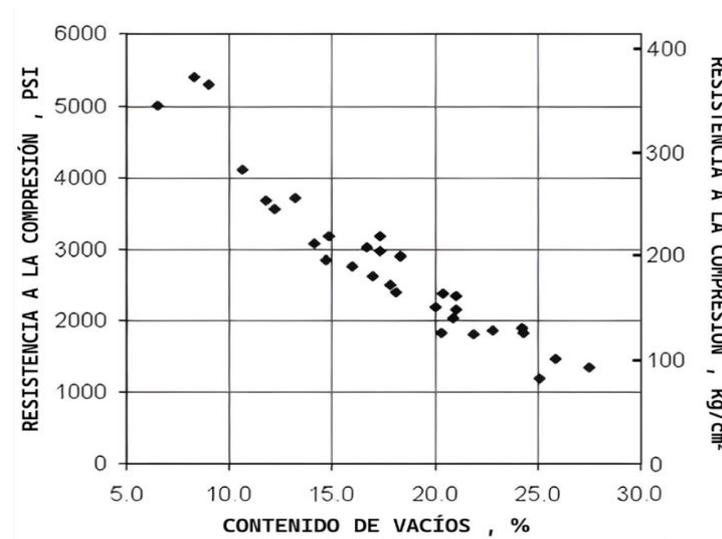
3.9.1. Procedimiento del diseño de mezclas

3.9.1.1. Elección del contenido de vacíos de acuerdo a la $f'c$ de diseño

La figura 24 ofrece una comparación entre datos obtenidos de la resistencia a compresión de probetas después de 28 días con los espacios vacíos. Este análisis comparativo resulta útil para evaluar la resistencia a compresión del concreto poroso considerado.

Figura 24

Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la compresión



Nota: obtenido y adaptado de Report on Pervious Concrete (p. 13), por ACI 522R-10, 2010.

3.9.1.2. Elección de la relación agua/cemento

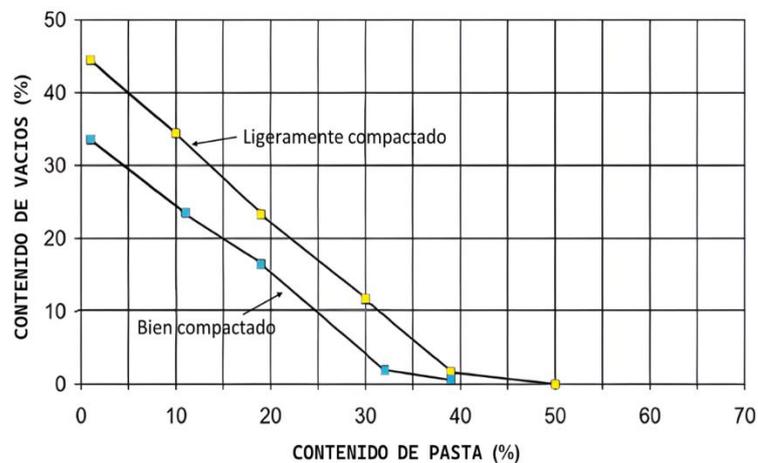
El concreto permeable requiere una baja relación (a/c), que normalmente oscila entre 0,26 y 0,45. Esto se debe a que demasiada agua podría hacer que la pasta se drene, obstruyendo el sistema de poros (ACI 522R-10, 2010).

3.9.1.3. Obtención del volumen de la pasta

Una vez determinada la resistencia a compresión de diseño y el contenido de vacíos, se calcula el volumen de pasta de acuerdo con la norma ACI 522R-10. En este proceso, es posible calcular el porcentaje del volumen de pasta presente en la mezcla, partiendo del contenido de vacíos elegido.

Figura 25

Correlación entre el contenido de pasta y el de vacíos



Nota: obtenido y adaptado de Report on Pervious concrete (p. 16), por ACI 522R-10, 2010.

Una vez determinados el volumen de pasta y la relación a/c, agua y el peso del cemento pueden calcularse mediante la siguiente expresión:

$$V_P = V_C + V_A$$

Donde:

(V_P): Volumen de la pasta.

(V_C): Volumen de cemento.

(V_A): Volumen de agua.

Lo anterior puede ser expresada en términos del peso específico y la relación agua/cemento de la siguiente forma:

$$V_P = \frac{\text{Peso}_{\text{cemento}}}{\text{Peso específico}_{\text{Cemento}}} + \frac{\text{Peso}_{\text{agua}}}{\text{Peso específico}_{\text{Agua}}}$$



Se tomaron en cuenta 2.85 g/cm^3 y 1.00 g/cm^3 de peso específico del cemento y agua respectivamente, al sustituir estos valores en la ecuación anterior y considerando la relación agua/cemento, se obtiene:

$$V_P = \frac{\text{Peso}_{\text{cemento}}}{2.85 \times 1000} + \frac{\left(\frac{a}{c}\right) \times \text{Peso}_{\text{cemento}}}{1.00 \times 1000}$$

3.9.1.4. Métodos de volúmenes absolutos y correcciones

Tras determinar el contenido de vacíos, el volumen de la pasta y la relación agua-cemento, se procede al cálculo de la cantidad de cada material mediante la conversión a volumen absoluto por metro cúbico en estado seco superficial saturado (SSS), igual que con el concreto convencional. Posteriormente, se ajusta por humedad para obtener la proporción de componentes por metro cúbico requerida en el diseño de mezclas.

3.9.1.5. Corrección por humedad y absorción

En el diseño implica modificar las proporciones de los componentes de la mezcla para tener en cuenta la humedad de los agregados y su capacidad de absorción de agua. Este procedimiento garantiza que se adicione o se retire una cantidad necesaria de agua y otros elementos para obtener la consistencia y las cualidades requeridas en el concreto.

- Si, el $\%W > \% \text{Absorción}$ \rightsquigarrow resta agua al diseño
- Si, el $\%W < \% \text{Absorción}$ \rightsquigarrow agrega agua al diseño

3.9.2. Diseño de mezcla final

3.9.2.1. Materiales

- Agregados gruesos de 3/8"
- Agregados finos (10% del agregado 3/8")

En la Tabla 24 se encuentran resumidos las características del agregado fino y grueso de 3/8".

Tabla 24

Resumen de las propiedades de los agregados, cemento y agua

Descripción	Unidad	Agregado fino	Agregado grueso	Cemento	Agua
Tamaño máximo nominal	Pulg.	Nº 4	1 "	--	--
Peso unitario suelto seco	kg/m ³	1579	1382	--	--
Peso unitario compactado	kg/m ³	1752	1517	--	--
Peso específico	g/cm ³	2.51	2.41	2.85	1.00
Peso específico SSS	g/cm ³	2.58	2.49	--	--
Contenido de humedad	%	0.38	0.98	--	--
Absorción	%	2.52	3.32	--	--
Módulo de fineza	--	2.77	6.94	--	--

Nota: características de materiales

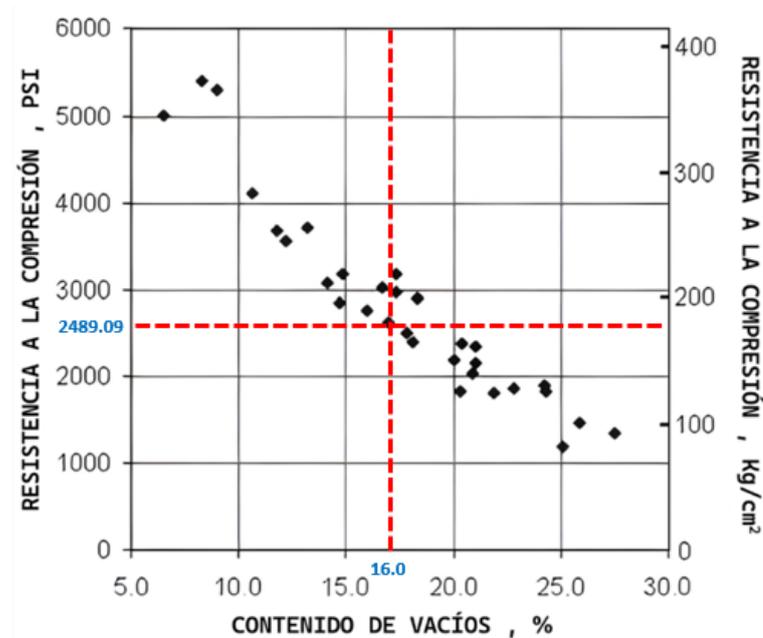
3.9.2.2. Criterios de diseño

- Como parte del diseño de la mezcla, se incorpora un 10% de agregado fino en relación al agregado grueso para fortalecer la cohesión y resistencia (ACI 522R-10, 2010).
- Nivel de compactación: Se opta por un ligero compactado al elaborar el concreto permeable para aumentar el contenido de pasta en la mezcla (ACI 522R-10, 2010).

3.9.2.3. Elección del contenido de vacíos de acuerdo a la f'_c de diseño

Figura 26

Resistencia a la compresión vs el contenido de vacíos



Nota: $175 \text{ kg/cm}^2 = 2489.09 \text{ PSI}$. Obtenido y adaptado de Report on Pervious Concrete (p. 13), por ACI 522R-10, 2010.

Basándose en la Figura 26, se deduce que cuando la resistencia a la compresión es de 175 Kg/cm^2 , el contenido de vacíos se sitúa en 16%.

3.9.2.4. Elección de la relación agua/cemento

En el concreto permeable, se sugiere que las relaciones a/c estén entre 0,26 y 0,45 para asegurar que la pasta cubra completamente los agregados, evitando comprometer la formación de poros y la permeabilidad (ACI 522R-10, 2010).

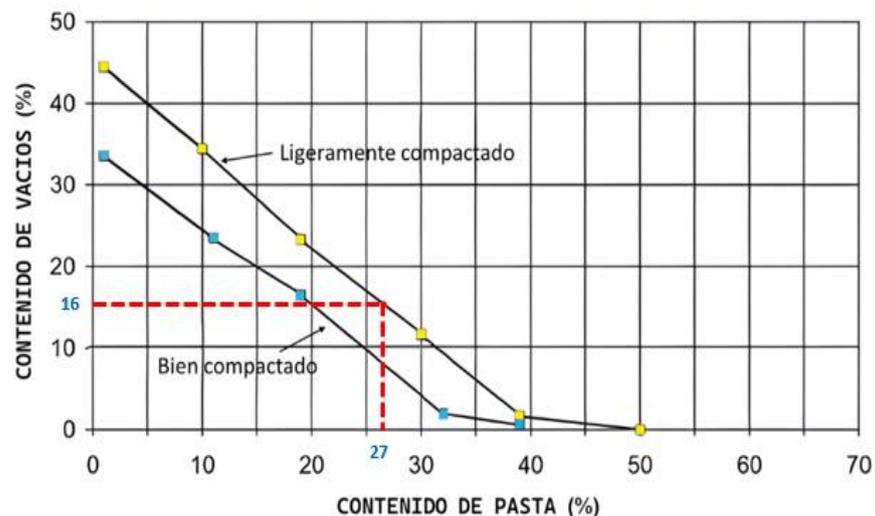
En este estudio, se establece la relación a/c en 0.35, eligiendo este valor como un promedio entre ambos extremos. Una relación alta podría conducir al colapso del sistema al reducir los poros, mientras que, si fuera muy baja, podría resultar en una unión deficiente entre los agregados.

3.9.2.5. Elección del volumen de la pasta

El contenido de pasta se determina mediante la Figura 27, la cual considera tanto el nivel de compactación (bien compactada y ligeramente compactada).

Figura 27

Relación: contenido de vacíos y la pasta



Nota: obtenido y adaptado de Report on Pervious Concrete (p. 16), por ACI 522R-10, 2010.

En este estudio, se seleccionó un nivel de compactación ligero porque permite alcanzar porcentajes más elevados de pasta, como se puede observar en la Figura 27.

Del mismo modo, la misma figura muestra que con un contenido de vacíos del 16% se consigue un volumen de pasta 0.27 con una compactación ligera.

Una vez establecidos el volumen de la pasta y la relación a/c , se puede determinar la cantidad de agua y la masa de cemento mediante la siguiente expresión:



$$V_P = V_C + V_A$$

Donde:

V_P : Volumen de la pasta

V_C : Volumen de cemento

V_A : Volumen de agua

La ecuación anterior puede reescribirse en términos del peso específico y la relación agua/cemento de la siguiente forma:

$$V_P = \frac{\text{Peso}_{\text{cemento}}}{\text{Peso específico}_{\text{Cemento}}} + \frac{\text{Peso}_{\text{agua}}}{\text{Peso específico}_{\text{Agua}}}$$

Tomando en cuenta que el peso específico del 2.85 g/cm^3 y 1.00 g/cm^3 del cemento como el agua, al sustituir estos valores en la ecuación anterior y considerando la relación a/c, se obtiene:

$$V_P = \frac{\text{Peso}_{\text{cemento}}}{2.85 \times 1000} + \frac{\left(\frac{a}{c}\right) \times \text{Peso}_{\text{cemento}}}{1.00 \times 1000}$$

Reemplazando los valores del volumen de la pasta (0.27), la relación a/c (0.35), y resolviendo la expresión anterior se tiene:

$$\text{Peso}_{\text{cemento}} = 385.23 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso}_{\text{agua}} = 134.83 \text{ Kg}$$

3.9.2.6. Determinación de volúmenes absolutos

La Tabla 25 presenta la determinación del volumen del agregado grueso necesario por metro cúbico de concreto permeable, utilizando la correlación especificada:

$$\text{Peso específico} = \frac{\text{Masa}}{\text{Volumen}}$$

Tabla 25

Volúmenes absolutos para el diseño de mezclas

Descripción	Pesos SSS (Kg)	Peso específico (kg/m ³)	Volumen es (m ³)
Aguas	134.83	1000	0.13
Cementos	385.23	2850	0.14
% de vacío			0.16
		Parciales	0.43
		Agregados gruesos	0.57
		Suma	1.00

3.9.2.7. Corrección del agregado grueso por incorporación de agregado fino

Debido a la incorporación del 10% (agregado total) como agregado fino en el diseño de la mezcla, se realiza el ajuste necesario según se detalla.

Tabla 26*Cálculo de peso del agregado grueso*

Descripción	Peso SSS (Kg)	Pesos específicos (kg/m ³)	Volumen (m ³)
Agregado fino (10% Agregado 3/8")	147.06	2580	0.06
Agregado grueso corregido	1277.37	2490	0.51

3.9.2.8. Corrección por humedad y absorción

La tabla indica los ajustes de humedad y absorción, que se determinaron usando las relaciones indicadas.

Humedad superficial del agregado:

$$= \text{Contenido de humedad} - \text{Absorción}$$

$$\text{Aporte} = \text{Peso del agregado} \times \text{Humedad superficial del agregado}$$

Tabla 27*Corrección por humedad y absorción*

Descripción	Agregados gruesos	Agregados finos
Humedad (%)	0.98	0.38
Absorción (%)	3.32	2.52
Aporte (Lt)	-29.89	-3.14

Nota: elaboración propia

$$\text{Agua efectiva} = \text{Peso del agua} - \text{Aporte}$$

$$\text{Agua efectiva} = 134.83 - (-29.89 - 3.14) = 162.87 \text{ Lt/ m}^3$$

3.9.2.9. Valores de diseño corregidos por humedad

$$\text{Cemento} = 385.23 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado fino} = 147.62 \text{ kg/m}^3$$



$$\text{Agregado grueso} = 1289.89 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua efectiva} = 167.87 \text{ Lt/m}^3$$

3.9.2.10. Proporciones de la mezcla

$$\frac{385.23}{385.23} ; \frac{147.62}{385.23} ; \frac{1289.89}{385.23} / \frac{167.87}{\frac{385.23}{42.5}}$$

$$1 ; 0.38 ; 3.35 / 18.5 \text{ lt/bolsa}$$

3.9.3. Resumen de diseño de mezclas con adición de fibras PET recicladas

Tras finalizar el diseño, así como obtener las dosificaciones de los materiales, se calcula la porción por cada material en peso necesaria para la mezcla. Este cálculo se utiliza para elaborar las siguientes probetas: 6" x 12" y 6" x 6" x 20" para el ensayo compresión, flexión respectivamente y para el ensayo de permeabilidad probeta cilíndrica de 4" x 8". La incorporación de fibras de PET se realizó en porcentajes de 0.25%, 0.5% y 1.00% en función al peso del ligante, según se muestra.

Tabla 28

Mezcla final diseñada con y sin inclusión de fibras PET

Materiales	Unidad	Concreto patrón	Adicionado con fibras PET		
		CPI	10.25%	10.50%	1.00%
Cemento	Kg/m ³	385.23	385.23	385.23	385.23
Agregados finos	Kg/m ³	147.62	147.62	147.62	147.62
Agregados gruesos	Kg/m ³	1289.89	1289.89	1289.89	1289.89
Agua efectiva	Lt/m ³	167.87	167.87	167.87	167.87
Fibras PET reciclado	Kg/m ³	-	0.963	1.93	3.85

Nota: la adición de las fibras de PET reciclado, se da con respecto al peso del cemento.



3.10. ELABORACIÓN DEL CONCRETO PERMEABLE

Normativa

ASTM C 192, NTP 39.033

Equipos y materiales

- Moldes cilíndricos 6" x 12", 4" x 8" y prismáticos 6" x 6" x 20"
- Mezcladora de concreto
- Carretilla tipo buggy
- Martillos de Proctor estándar con peso de 5.5 lb y altura con caída de 12"
- Balanza
- Pala, plancha metálica, cucharón, entre otros.

Descripción del proceso

- En primer lugar, se reunieron todos los materiales esenciales para la elaboración del concreto permeable. Luego, se pesaron las cantidades indicadas según la dosificación. Para garantizar la exactitud, las fibras de PET recicladas se midieron en una báscula precisa.
- Para prevenir la absorción del agua de diseño por parte de la mezcladora, se humedeció su interior con agua.
- Durante la fase inicial de mezclado, se añadió tanto el material grueso como el fino en la mezcladora, tanto una porción del agua. Posteriormente, se incorporó cemento y se mezcló cuidadosamente durante medio minuto.

- luego, se añadió el agua restante junto con las fibras de PET y se mezcló durante dos minutos. Se observó que, al introducir las fibras de PET en la mezcla, fue necesario extender el tiempo de mezclado para asegurar una distribución homogénea de este.
- Por último, se mezcló durante otros dos minutos antes de verter la mezcla en los moldes correspondientes.

Figura 28

Elaboración del concreto



3.10.1. Especímenes cilíndricos y prismáticos de concreto permeable

Descripción del proceso

- Los moldes se colocaron en un área nivelada, plana y firme. Además, se aseguró que estuviese limpio y lubricado con un desmoldante para prevenir la adherencia del concreto.
- Los moldes de 6"x12" fueron llenados en tres capas y compactados con 17 golpes por capa, mientras que los moldes de 4"x8" se compactaron en dos capas con 8 golpes cada una. Se empleó el martillo Proctor estándar con una

altura de caída de 305 mm, distribuyendo uniformemente los golpes sobre toda el área.

- Por último, se empleó una plancha metálica para nivelar las superior de los moldes y obtener una superficie uniforme.
- Nota: La norma (ACI 522R-10, 2010), establece los parámetros de la energía de compactación, lo que nos permite determinar el número de capas y los golpes necesarios.

Figura 29

Compactado de los especímenes



3.10.2. Curado de los especímenes

Una vez elaborado el concreto permeable, se procedió a desmoldar e identificar los especímenes cilíndricos y prismático. Seguidamente, se sumergieron en la poza de curado durante 7, 14 y 28 días. con respecto a la norma ASTM C 192 (2007).

Figura 30

Curado de especímenes cilíndricos y prismáticos



3.11. ENSAYOS REALIZADOS DEL CONCRETO PERMEABLE

3.11.1. Ensayos en estado fresco

A. Ensayo de revenimiento o asentamiento en el cono de Abrams

Normativa

ASTM C143, MTC E705 y NTP 339.035.

Equipos y materiales

- Varillas lisas de 5/8"
- Herramientas manuales
- Cono Abrams

Descripción del proceso

- Utilizando una varilla metálica, se compactaron cada una de las capas dándole 25 golpes aleatorios. Posteriormente, para evitar variaciones en la caída, el molde se levantó con cuidado después de llenarlo.

Figura 31

Determinación del asentamiento



3.11.2. Ensayos en estado endurecido

3.11.2.1. Ensayo de resistencia a compresión

Esta prueba se llevó a cabo de acuerdo con la norma (ASTM C 39, 2018).

Equipos y materiales

- Máquina de ensayo

Descripción del proceso

- El procedimiento se ha desarrollado de la siguiente manera:

- Se tomaron medidas de la altura y diámetro de los especímenes en varios puntos a fin de obtener con precisión en dichas dimensiones.
- La probeta se colocó verticalmente entre las placas de compresión, con la carga aplicada axialmente perpendicular de la probeta.
- Se aplicó una carga axial a la probeta con velocidad predefinida hasta la falla, y se registró las cargas.

Figura 32

Compresión simple



Cálculos y resultados

La fórmula que sigue se utiliza para calcular la resistencia a compresión:

$$f_c = \frac{P}{A} \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right) \quad ; \quad A = \frac{\pi \times \phi^2}{4}$$

Donde:

f_c : Resistencia de rotura a compresión. (kg/cm²)



P: Máxima carga. (kg)

ϕ : Diámetro. (cm)

A: Área promedio. (cm²)

3.11.2.2. Ensayo de resistencia a flexión con carga en los puntos tercios

También conocida como módulo de ruptura, es la capacidad de un material para soportar la deformación y la fractura bajo tensión en un entorno de flexión. Este ensayo se realizó conforme a la norma (ASTM C 78, 2002).

Equipos y materiales

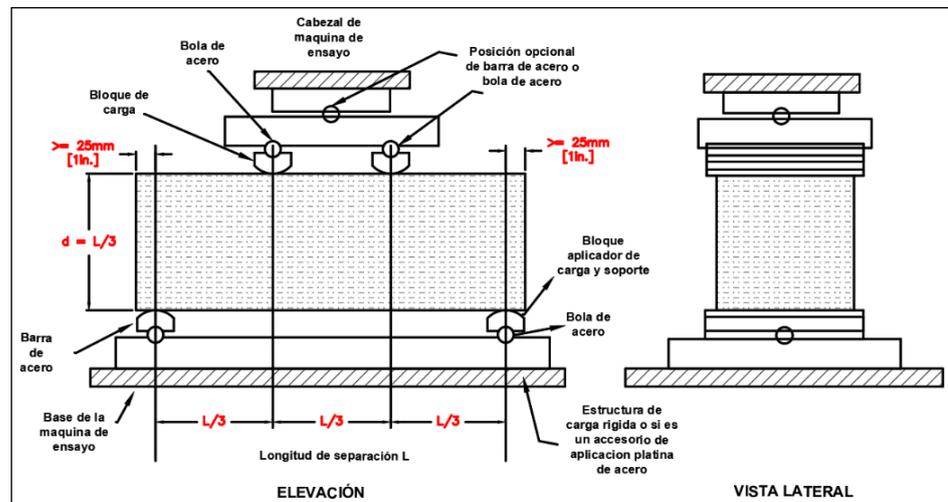
- Máquina de ensayo.
- Aparato de carga.

Descripción del proceso

- Las dimensiones de la viga, como la longitud, el ancho y el espesor, se midieron con precisión de acuerdo con la norma.
- Luego, se colocaron en un equipo de ensayo diseñado para evaluar la resistencia a la flexión manteniendo una distribución uniforme de la carga. Se aplicó gradualmente una carga en el centro del prisma hasta el fallo, a un ritmo especificado en la norma.
- Se calculó el módulo de rotura por flexión utilizando la fórmula proporcionada por la norma (ASTM C 78, 2002).

Figura 33

Representación: prueba de flexión con carga en los puntos tercios



Nota: obtenido de ASTM C 78.

Figura 34

Ensayo: resistencia a flexión



Cálculos y resultados

La siguiente formula se utiliza para calcular el módulo de rotación:

$$R = \frac{P L}{b d^2}$$

Donde:

R: Módulo de ruptura (kg/cm²)



P: Carga máxima aplicada (Kg-f)

L: Luz o longitud entre soportes (cm)

b: Ancho promedio del espécimen (cm)

d: Espesor promedio del espécimen (cm)

3.11.2.3. Ensayo de permeabilidad

La metodología de prueba se basó en la recomendación alternativa del (ACI 522R-10, 2010), que sugiere la elaboración de muestras cilíndricas con un diámetro de 4 pulgadas y una altura de 8 pulgadas.

Equipos y materiales

- Permeámetro
- Material impermeabilizante
- Cronómetro

Descripción del proceso

- Para restringir el paso del agua, se sellaron los laterales de la muestra con un material impermeable. Luego, se vertió agua en la probeta graduada hasta llenar la cámara de la muestra y la tubería de desagüe.
- El espécimen se preparó con anticipación para permitir el drenaje del agua hasta que el nivel de la probeta graduada coincidiera con la parte superior de la tubería de desagüe. Este proceso redujo la cantidad de aire atrapado en la muestra y garantizó su saturación total. Luego, con la válvula cerrada, se llenó la probeta graduada con agua. Al abrir la

válvula, se registró el tiempo necesario para que el agua descendiera por una altura h_1 hasta h_2 de altura.

Figura 35

Ensayo de permeabilidad



Cálculos y resultados

El coeficiente de permeabilidad se calculó mediante el uso de la ley de Darcy.

$$k = \frac{L}{t} * \frac{a}{A} * \ln \frac{h_1}{h_2}$$

Donde:

- k : Coeficiente de permeabilidad (cm/s)
- L : Longitud de la muestra (cm)
- A : Área de la muestra. (cm²)
- a : Área de la tubería de carga. (cm²)
- t : Tiempo que demora en pasar de h_1 a h_2 (s)



- h1: Altura de la columna de agua medida del nivel de referencia (cm)
- h2: Altura de salida del agua con respecto al nivel de referencia (1cm)
- Asimismo, se empleó la siguiente expresión para determinar la capacidad de filtración.

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:

- Q: Capacidad de filtración (caudal), medida en L/s.
- V: Volumen (litros).
- t: Tiempo de filtración en segundos.

3.11.2.4. Aspecto hidrológico

Para evaluar la capacidad del concreto permeable en la gestión las precipitaciones máximas en Ayaviri, es vital analizar detalladamente los datos históricos de lluvias. La Figura 36 muestra los datos de precipitación durante los últimos 25 años en la ciudad, según lo proporcionado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

Figura 36*Precipitación pluvial: últimos 25 años de la ciudad de Ayaviri*

Año	En.	Febr.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ag.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	PP Máx. (mm)
1998	13.5	12.8	30.5	17.5	0	0.5	0	1.9	0.5	11.3	43.2	19.5	43.2
1999	12.1	27.1	17.1	34.7	6.4	0	0	0	11.4	8.4	14.3	7.6	34.7
2000	18	43.4	21.1	3.5	3.3	1	4.1	2.3	2	17.6	6	13.5	43.4
2001	25.8	20.5	13.4	20	12.6	2.9	0.8	4.8	3.6	11.7	6.1	15.7	25.8
2002	18.6	29.4	11.4	9.8	7.6	3.4	4.5	5.5	13.5	17.8	31.8	11	31.8
2003	34.3	20.5	41.7	14.2	5.8	4.8	0	8.4	11.8	18.6	12.8	31.7	41.7
2004	25.9	36.7	23.9	11.5	2.1	0.4	2.2	8.7	12.7	10.6	31.3	27.8	36.7
2005	25.8	26.1	34.5	6.7	0.2	0	0	4.4	3.5	20.6	18.9	11.4	34.5
2006	20.2	11.7	17.8	18.7	0	0.6	0	1.3	1.8	38.5	13.2	25.1	38.5
2007	27.5	18.8	29.4	14.6	7.3	0	0	0.6	5.4	11.3	32.9	24.6	32.9
2008	26.1	37.9	24.9	3.1	0.8	0.5	0	0.4	0.7	9.6	14.9	20.4	37.9
2009	18.5	24.1	39.5	17.5	3.8	0	0.9	0.2	10.6	21.2	15.7	27.3	39.5
2010	33.3	27.2	15.7	15.9	11.3	0	0	0.6	0.4	7.5	5.4	14.8	33.3
2011	13.9	18.1	15.7	24.5	6.7	1.2	2.7	2.1	3.3	9.7	35.2	42.7	42.7
2012	17.6	18.3	16	7.7	7.4	0	0.5	0	1.6	10.7	22.8	18.7	22.8
2013	19.1	28.4	11.2	10.1	5.4	0	1.3	4.8	9.1	14.5	12.9	15.1	28.4
2014	21.6	22.6	24.2	12.4	6.7	1.1	0.5	7.1	6.5	16.4	14.8	18.3	24.2
2015	22.3	31.7	20.9	10.6	3.6	0.8	1.5	4.1	5	11.4	20.2	17.9	31.7
2016	16.3	29.6	27.2	8.1	1.6	0.4	0	1.2	3.5	9.7	16.4	21.4	29.6
2017	9.5	14.3	19.5	6.1	16.1	0	9.2	0	6.1	26.8	17.5	27.3	27.3
2018	21.9	22.9	22.1	11.9	0.1	7.9	19	7.1	8.5	8	13.5	5.3	22.9
2019	37.7	29.3	26.8	11.9	3.3	0.2	1.2	0	2	13.1	33.6	15.8	37.7
2020	32.2	20.7	14.6	-	-	-	0	0.8	23.4	15.3	2.5	19.8	32.2
2021	17.3	40.1	20.9	17.5	2.6	1.7	0	0	5.5	11.4	14.8	24.2	40.1
2022	28.3	16.7	31.5	23	0	0	0.7	3.8	1.1	0.8	1.7	16.1	31.5
2023	12.2	21.2	16.1	2.9	16	0	3.2	1.4	4.8	5.6	16.3	16.7	21.2

Nota. Obtenido de SENAMHI de la estación meteorológica convencional de Ayaviri.

A partir de los datos de la Figura 36, se ha encontrado el evento de precipitación más extremo registrado en los últimos 25 años, que asciende a 43.4 mm. Este dato proporciona una referencia vital para conocer la magnitud de precipitaciones en la zona durante ese periodo de tiempo, lo que permite una evaluación más precisa de la capacidad del concreto permeable para manejar y drenar el exceso de agua en circunstancias meteorológicas adversas.

Asimismo, es vital establecer la tasa de filtración requerida para el concreto permeable usado en vías de la localidad de Ayaviri. Para ser eficaz, este índice debe superar la intensidad máxima de lluvia prevista.



Sin embargo, debido a la colmatación, la tasa de filtración disminuye gradualmente. Para lograr un buen rendimiento a largo plazo, se recomienda un factor de seguridad de 10 en el diseño (García, 2011).

$$\text{Precipitación}_{\text{Máxima}} = 43.4 \text{ mm} \times 10 = 434 \text{ mm}$$

$$\text{Filtración requeridas} = 434 \text{ mm/h} = 7.23 \text{ mm/min} = 0.120 \text{ mm/s}$$

Dado que cada milímetro equivale a un litro de agua por metro cuadrado, se deduce que la máxima precipitación es de 0.120 litros por metro cuadrado. Para contrarrestar eficazmente las inundaciones, la capacidad de infiltración del concreto permeable debe ser igual o superior a las precipitaciones.

3.11.3. Estudio geotécnico

Ensayo de calicata

Se efectuó una excavación manual de (80 cm x 80 cm) para determinar el perfil de estrato y el nivel freática, encontrándose este último a una profundidad de 1.50 metros. Además, se constató que los primeros 20 cm consisten en material orgánico, mientras que el resto está compuesto de material grava limosa y grava arcillosa. Se recolectaron muestras en bolsas de plástico para el análisis del contenido de humedad, así como aproximadamente 35 kg de material para ensayos de laboratorio.

Figura 37

Ensayo de calicata en la localidad de Ayaviri



A. Perfil Estratigráfico

Se llevaron a cabo dos excavaciones de calicatas para determinar el nivel freático, una a 1.40 metros y la otra a 1.50 metros de profundidad. Estas excavaciones se realizaron en mayo de 2024 en el jirón Simón Bolívar. Ambas calicatas mostraron características similares, con una capa de material orgánico a una profundidad de 20 cm desde la superficie, y en la parte inferior se observó material de grava limosa y grava arcillosa. Después de realizar las pruebas en el laboratorio de suelos, se identificó que el suelo correspondía al tipo GC-GW (grava limosa y grava arcillosa) de acuerdo a la clasificación SUCS y al tipo A-2-5(0) según la clasificación AASHTO.

B. Contenido de humedad

Se llevó a cabo conforme a la especificación MTCE 108

Equipos y materiales

- Balanzas



- Hornos
- Taras

Descripción del proceso

- Para garantizar la representatividad del material se dividió en cuartos y luego se dispuso en recipientes previamente pesados.
- Tras anotar el peso de los envases junto el material húmedo, se colocaron a un horno por un día a 105+/- 5 °C. tras un enfriamiento de media hora, se pesó la muestra.
- Para garantizar la exactitud del contenido de humedad se obtuvieron tres muestras y se determinó mediante la siguiente formulación:

$$w\% = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de la muestra seca}} * 100$$

Tabla 29

Contenido de humedad Natural

Descripción	N° de ensayos		
	M-11	M-22	M-33
Peso de taras (g)	67.33	70.53	69.95
Peso de tara + M. húmedas (g)	229.42	211.51	268.16
Peso de tara + M. secas (g)	206.57	191.23	240.16
Peso de agua	22.85	20.28	28.00
Peso de muestra secas (g)	139.24	120.70	170.21
Contenido de Humedad W%	16.41	16.80	16.45
Promedio de Humedad W%	16.55%		

Figura 38

Contenido de humedad de la calicata



C. Granulometría

Esta prueba se efectuó siguiendo la directriz MTC E 106

Equipos y materiales

- Brochas
- Balanzas
- Bandeja
- Tamices
- Hornos

Descripción del proceso

- El primer procedimiento consistió en emplear una malla de clasificación N° 4 para separar el material del suelo, determinándose que la totalidad del material pudo atravesar el tamiz.
- La muestra se lava en el tamiz N°200 y luego se seca en un horno a 105°C durante 24 horas.
- Después de secar el material, se lleva a cabo su pesaje y se dispone en los tamices para iniciar el proceso de tamizado. Se aplicaron golpes leves y se rotó el juego hasta alcanzar el peso específico en cada tamiz.
- Se procedió a pesar cada volumen de material retenido en los tamices, además del sobrante en la base, para luego comparar este peso con el total retenido en las mallas.

Figura 39

Análisis granulométrico del material de la calicata



Nota: del ensayo se obtuvo según la clasificación SUCS es GC-GM y según la clasificación AASHTO es A-2-5(0).



D. Proctor modificado

Esta prueba se efectuó siguiendo la directriz MTC E 115.

Equipos y materiales

- Pisón
- Horno
- Moldes de 4"
- Extractor de muestras
- Reglas metálicas
- Tamices
- Brochas
- Balanza

Descripción del proceso

- El procedimiento adecuado a seguir para este tipo de suelo, siguiendo la directriz establecida que especifica el uso del método B.
- Se pesó el molde del Proctor modificado y se midió su diámetro. Se utilizó 2.5 kg de suelo para el ensayo, compactándolo con 25 golpes por capa distribuidos en 5 capas por molde. Se añadió un contenido de humedad del 2%, 4% y 6% en muestras adicionales. Después de compactar, se niveló la superficie y se pesó el molde con la muestra compactada. La muestra se dividió en tres partes y se tomaron dos porciones del centro para determinar el contenido de humedad.

Figura 40

Proceso del Proctor modificado



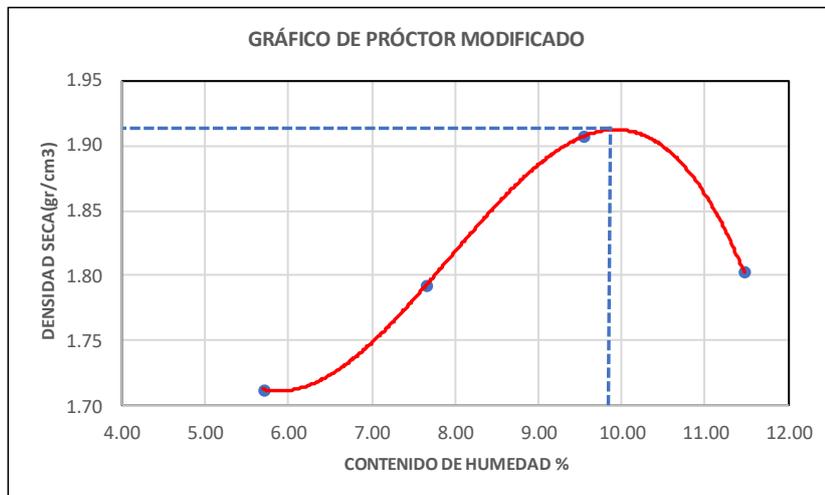
Tabla 30

Resultados de Proctor modificado

ENSAYO N°		M-1	M-2	M-3	M-4
Contenido de Humedad W%		2 %	4 %	6 %	
Peso de molde+ muestra Húmeda	g	5913.00	6108.00	6267.00	6087.00
Peso de Molde	g	4114.00	4190.00	4190.00	4190.00
Peso de muestra Húmeda	g	1799.00	1918.00	2077.00	1897.00
Volumen del molde	cc	994.00	994.00	994.00	944.00
Densidad Húmeda	g/cc	1.810	1.930	2.090	2.010
N° Tara		JD-01	JD-02	R-19	S-11
Peso de tara	g	58.54	37.24	48.62	35.06
Peso de taras + M. húmedas	g	376.28	362.24	437.62	520.06
Peso de tara + M. secas	g	359.15	339.24	403.62	470.06
Peso de agua	g	17.13	23	34	50.00
Peso de muestra secas	g	300.61	302.00	355.00	435.00
Contenido de Humedades	%	5.70	7.62	9.58	11.49
Densidad seca del suelo	g/cc	1.71	1.79	1.91	1.80

Figura 41

Curva de contenido de humedad vs densidad seca



Nota: la curva de compactación revela una densidad seca de 1.91 g/cm³ y el óptimo contenido de humedad del 9.90%

E. CBR

Este estudio se efectuó conforme a las especificaciones del M.T.C. E 132.

Equipos y materiales

- Horno
- Pisón compactador
- Molde de 6"
- Disco espaciador
- Balanzas
- Reglas metálicas
- Aparato para medir expansión
- Prensa de penetraciones

- Bandeja
- Brocha

Descripción del proceso

- Se utilizaron los valores óptimos de contenido de humedad y densidad seca obtenidos previamente mediante el ensayo de Proctor modificado. Se emplearon tres moldes CBR estandarizados, en los cuales se compactó la muestra en 5 capas distintas. Cada molde recibió un número específico de golpes: 12, 25 y 56 respectivamente. Luego de compactar, se niveló la muestra en el molde, se desmontó y se volvió a montar invertido. Seguidamente, fueron sumergidos y registrándose las medidas diarias utilizando un micro comparador durante 4 días para determinar la expansión en un intervalo de 20 minutos. Finalmente, se documentaron los datos correspondientes a la curva de presión-penetración. utilizando el equipo CBR.

Figura 42

Proceso de CBR



Nota: donde el contenido de humedad óptimo es 9.9% y 1.91 gr/cc de densidad seca.

Según los resultados del ensayo, se obtuvo un 11.66% de CBR.

F. CBR diseño

El resultado es de 8.2% para la sub rasante con una compactación al 95% de acuerdo a la directriz (Manual de Pavimentos urbanos).

3.11.4. Estudio topográfico

Se realizó un levantamiento topográfico utilizando GPS, configurando la ubicación y dejando el GPS al nivel de la vía durante 10 minutos para mejorar el promedio de las señales de todos los satélites, obteniendo así todos los datos necesarios.

Figura 43

Levantamiento topográfico



A. Nivelación

Se llevó a cabo la nivelación con el nivel de ingeniero, comenzando por estacionar el trípode y colocar el nivel de ingeniero. Se ajustaron las perillas para centrar la burbuja de nivelación. Posteriormente, se realizaron lecturas de vista atrás, vista intermedia y vista adelante.

Figura 44

Nivelación topográfico



3.12. DISEÑO ESTADÍSTICO Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

3.12.1. Análisis estadístico

“Es necesario para analizar los datos obtenidos y respaldar la fiabilidad de los datos recogidos. Se usan parámetros estadísticos con el fin de evaluar con precisión los resultados. En un estudio, se utilizan múltiples estadísticas para datos agrupados con el fin de generar una distribución de frecuencias más precisa y para identificar diversas medidas. Además, se analiza la distribución de los datos y se representa gráficamente la campana de Gauss de manera precisa” (Isidro, 2017, p. 36).

las siguientes secciones, detallarán el análisis estadístico para comprender mejor la distribución de frecuencia. También se mostrarán medidas de dispersión y tendencia central, necesarias para una interpretación más exhaustiva.



3.12.1.1. Rango de datos (R_x)

Huanca & Auquitias (2021) “señalan diferencias de los valores mínimo y máximo de una misma variable en distribución, y se determina con la siguiente ecuación”:

$$R_x = X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}}$$

3.12.1.2. Número de intervalos clases (K)

Huanca & Auquitias (2021) “señalan que la regla de Sturges, desarrollada por Herbert Sturges en 1926, empleada para determinar el número de clases en una distribución de frecuencias y para generar su histograma correspondiente”, como se especifica a continuación:

$$K = 01 + 3.22 * \log(n)$$

3.12.1.3. Tamaño de intervalos de clase (C)

correlación:

$$C = \frac{R_x}{K}$$

3.12.1.4. Medidas de tendencia central

Son la moda, la media y la mediana

- **La media aritmética (\bar{u})**

Según Huanca & Auquitias (2021) “se define como el cociente obtenido al dividir la suma de los valores de la variable por la cantidad total de elementos”.



$$u = \frac{\sum_{i=1}^n f_i * X_i}{n}$$

- **Mediana (u_m)**

Huanca & Auquitias (2021) “se refieren como el valor que ocupa la posición central en una distribución, y se calcula mediante la siguiente expresión”:

$$u_m = L_{ig} + \left[\frac{\frac{nd}{1} - F_{i-1}}{f_i} \right] * CI$$

Donde:

L_{ia} : Límites inferior de intervalos de clase de la mediana

N : Números total de datos

F_{i-1} : Frecuencias acumulada de clase que antecede a la mediana

f_i : Frecuencias absolutas del intervalo de clase de la mediana

C : Anchos de clase

- **Moda (u_o)**

Además, Huanca & Auquitias (2021) “indica la puntuación que aparece frecuentemente en la distribución de datos. A pesar de ello, la distribución de datos puede tener dos o más modas”.

$$u_o = L_i + \left[\frac{f_i - f_{i-1}}{(f_i - f_{i-1}) + (f_i - f_{i+1})} \right] * C$$



Donde:

L_i : Extremo inferior del intervalo modal.

f_i : Frecuencias absolutas del intervalo modal.

f_{i-1} : Frecuencias absolutas del intervalo anterior al modal.

f_{i+1} : Frecuencias absolutas del intervalo posterior al modal.

C : Anchos del intervalo de clase de la moda.

3.12.1.5. Medidas de dispersión central

- **Desviación estándar (σ)**

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_i \cdot (X_i - u)^2}{n - 1}}$$

- **Varianza (σ^2)**

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n f_i \cdot (X_i - u)^2}{n - 1}$$

- **Coefficiente de variación (C_v)**

$$C_v = \frac{\sigma}{u} * 100$$

Para garantizar la fiabilidad de datos, se eligió evaluarlos utilizando la desviación estándar y el coeficiente de variación es, teniendo en cuenta los datos proporcionados.

Tabla 31*Valores de dispersión en el control del concreto*

Dispersión total					
Clase de operación	Desviación estándar para diferentes grados de control (kg/cm ²)				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Concreto en obra	menor a 28.1	28.1 a 35.2	35.2 a 42.2	42.2 a 49.2	mayor a 49.2
Concreto en laboratorio	menor a 14.1	14.1 a 17.6	17.6 a 21.1	21.1 a 24.6	mayor a 24.6

Dispersión entre testigos

Coeficiente de variación para diferentes grados de control (%)					
Clase de operación	Excelente	Muy bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
	Concreto en obra	Menor a 3	3 a 4	4 a 5	5 a 6
Concreto en laboratorio	Menor a 2	2 a 3	3 a 4	4 a 5	Mayor a 5

Nota: tecnología del concreto en el Perú (p. 161), por Pasquel, 1998, Colegio de Ingenieros del Perú.

3.12.2. Prueba de hipótesis

“La validez o falsedad de una hipótesis estadística no puede determinarse con absoluta certeza, ya que para ello sería necesario considerar a toda la población. En su lugar, se utiliza una muestra aleatoria representativa y se examinan los resultados para confirmar o contradecir la hipótesis. Si las pruebas de la muestra contradicen la hipótesis, se rechaza; en caso contrario, se acepta” (Beltran, 2012, p. 44). Este planteamiento se le conoce como hipótesis, y el proceso de tomar decisiones se denomina prueba de hipótesis.

Antes de realizar la prueba de hipótesis, hay que asegurarse de que los datos muestren una distribución normal. Para ello recurrir al análisis estadístico con el objetivo de analizar adecuadamente las hipótesis propuestas.

Según Isidro (2017), la forma para llevar a cabo la contrastación de hipótesis se describe de la siguiente manera:



a) Se identifica el parámetro de interés

Este estudio se centra principalmente en el parámetro de interés, que se refiere a la resistencia a la compresión y a la flexión del concreto permeable en cada grupo investigado y será denotado como "u".

b) Se formula la hipótesis nula (H_0)

En este estudio, se propone nula la hipótesis $H_0: u_1 \geq u_2$.

c) Se plantea la hipótesis alternativa (H_a)

- Si $H_a: u_1 > u_2$, entonces es unilateral a derecha
- Si $H_a: u_1 < u_2$, entonces es unilateral a la izquierda

Para fines de este estudio se plantea, $H_a: u_1 < u_2$.

d) Se determina el nivel de significancia (α)

- $\alpha = 0,10$ con 90% de nivel de confianza
- $\alpha = 0,05$ con 95% de nivel de confianza
- $\alpha = 0,01$ con 99% de nivel de confianza

Según Flores & Pacompia (2015), los resultados de resistencia del concreto suelen evaluarse con un nivel de significancia de 0,05. Con grado libertad (n_1+n_2-2) se utilizan para estimar el valor crítico " T_α " en las tablas estadísticas de la distribución t de Student.

e) Se elige el estadístico de prueba

Dado que la prueba de hipótesis comprende variables cuantitativas independientes y el tamaño de la muestra es menor a 30, se utiliza el estadístico de prueba apoyado en la distribución t de Student.

Procedimiento de cálculo:

$$t_p = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_p \cdot \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad ; \quad S_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1) \cdot S_1^2 + (n_2 - 1) \cdot S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

Donde:

t_{pi} : Estadísticos de prueba

n_1, n_2 : Tamaños de las muestras

\bar{x}_1, \bar{x}_2 : Medias de muestras

S_1^2, S_2^2 : Varianza de las muestras

f) Toma de decisión

- Hipótesis nula (H_0): Si, $\mu_1 \geq \mu_2$
- Hipótesis alterna (H_a): si, $\mu_1 < \mu_2$

Se descarta la hipótesis nula H_0 , si $t_p < -t_{\alpha}$ “ t_{α} adquiere valores negativos, por ser hipótesis alterna unilateral a la izquierda”.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo, se presentan los resultados de pruebas realizadas tanto en condición fresca, que comprende el asentamiento, como en estado endurecido, donde se evalúan las propiedades mecánicas, como la resistencia a compresión y a flexión, y las propiedades hidráulicas, como la permeabilidad. Estos ensayos se llevaron a cabo utilizando fibras PET añadidas en cantidades de 0.25%, 0.50% y 1.00% en relación al peso del cemento.

4.1. ENSAYOS EN ESTADO FRESCO DEL CONCRETO PERMEABLE

4.1.1. Ensayo de asentamiento

Tabla 32

Asentamiento de mezcla de concreto permeable

Descripciones	Indicación	Fechas de ensayos	Slumps (pulg.)	Consistencia	Trabajabilidad
Con 0.00% de fibras PET	CP	21/11/2023	0.00	Seca	Poco trabajable
Con 0.25% de fibras PET	C 0.25%	22/11/2023	0.00	Seca	Poco trabajable
Con 0.50% de fibras PET	C 0.50%	23/11/2023	0.00	Seca	Poco trabajable
Con 1.00% de fibras PET	C 1.00%	24/11/2023	0.00	Seca	Poco trabajable

Según los resultados de la Tabla 32, tanto el concreto permeable sin fibras PET recicladas como el concreto con fibras PET recicladas tienen un asentamiento de cero pulgadas y una consistencia seca.

Cuanto mayor es la cantidad de fibra PET recicladas en el concreto permeable, se vuelve más difícil manipular la mezcla. Con 0,25% y 0,50% de

fibras PET recicladas, la mezcla sigue siendo manejable, pero con 1,00% de fibras PET recicladas, la manipulación se vuelve casi imposible.

Los resultados obtenidos concuerdan con la característica del concreto permeable, que se distingue por no tener ningún asentamiento, es decir, un slump de cero.

4.2. RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

4.2.1. Resistencia a la compresión del concreto permeable

Se muestran los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión realizados según la norma (ASTM C 39, 2018). Para obtener información detallada, se recomienda revisar ANEXO 5.

Tabla 33

Resistencia a compresión: concreto patrón (CP)

Descripción	Edades (días)	Cargas aplicadas (kg)	Áreas (cm ²)	Resistencia		Resistencia promedio (kg/cm ²)	% resistencia promedio
				diseño (kg/cm ²)	alcanzada (kg/cm ²)		
CP - 01	7	15655	176.63	175	88.63	91.43	52.24%
CP - 02	7	16667	176.35	175	94.51		
CP - 03	7	15991	177.34	175	90.17		
CP - 04	7	16375	177.24	175	92.39		
CP - 05	14	24250	176.72	175	137.22	137.84	78.77%
CP - 06	14	23876	177.07	175	134.84		
CP - 07	14	24861	176.87	175	140.56		
CP - 08	14	24611	177.39	175	138.74		
CP - 09	28	31081	176.76	175	175.84	173.23	98.99%
CP - 10	28	30451	176.72	175	172.31		
CP - 11	28	30971	177.07	175	174.91		
CP - 12	28	30048	176.89	175	169.87		

Nota: el concreto patrón está representada (C.P)

Tabla 34

Resistencia a compresión con 0.25% de fibras PET (C 0.25%)

Descripción	Edad (días)	Carga aplicada (kg)	Áreas (cm ²)	Resistencias		Resistencia promedio (kg/cm ²)	% resistencia promedio
				diseños (kg/cm ²)	alcanzada (kg/cm ²)		
C 0.25% - 01	7	17944	177.07	175	101.34	98.56	56.32%
C 0.25% - 02	7	17699	177.22	175	99.87		
C 0.25% - 03	7	16996	177.39	175	95.81		
C 0.25% - 04	7	17177	176.72	175	97.20		
C 0.25% - 05	14	27078	177.4	175	152.64	153.16	87.52%
C 0.25% - 06	14	27411	176.7	175	155.13		
C 0.25% - 07	14	26733	177.26	175	150.81		
C 0.25% - 08	14	27253	176.89	175	154.07		
C 0.25% - 09	28	34634	177.73	175	194.87	192.87	110.21%
C 0.25% - 10	28	33512	176.1	175	190.3		
C 0.25% - 11	28	34377	177.24	175	193.96		
C 0.25% - 12	28	34104	177.29	175	192.36		

Nota: La abreviatura del concreto con adición de fibra PET al 0.25% esta representa (C 0.25%)

Tabla 35

Resistencia a compresión con 0.50% de fibras PET (C 0.50%)

Descripción	Edad (días)	Cargas aplicadas (kg)	Área (cm ²)	Resistencia		Resistencia promedio (kg/cm ²)	% resistencia promedio
				diseño (kg/cm ²)	alcanzada (kg/cm ²)		
C 0.50% - 01	7	16726	177.35	175	94.31	94.48	53.99%
C 0.50% - 02	7	16193	176.7	175	91.64		
C 0.50% - 03	7	17035	176.36	175	96.59		
C 0.50% - 04	7	16912	177.33	175	95.37		
C 0.50% - 05	14	26056	176.72	175	147.44	145.65	83.23%
C 0.50% - 06	14	25733	177.1	175	145.30		
C 0.50% - 07	14	25967	176.78	175	146.89		
C 0.50% - 08	14	25355	177.36	175	142.96		
C 0.50% - 09	28	31575	176.72	175	178.67	178.87	102.21%
C 0.50% - 10	28	32168	177.09	175	181.65		
C 0.50% - 11	28	31290	176.74	175	177.04		
C 0.50% - 12	28	31590	177.36	175	178.11		

Nota: La abreviatura del concreto con adición de fibra PET al 0.50% esta representa (C 0.50%)

Tabla 36

Resistencia a la compresión con 1.00% de fibras PET (C 1.00%)

Descripción	Edad (días)	Cargas aplicadas (kg)	Área (cm ²)	Resistencias		Resistencia promedio (kg/cm ²)	% resistencia promedio
				diseños (kg/cm ²)	alcanzada (kg/cm ²)		
C 1.00% - 01	7	16004	176.72	175	90.56		
C 1.00% - 02	7	15384	177.21	175	86.81	89.54	51.17%
C 1.00% - 03	7	16230	177.43	175	91.47		
C 1.00% - 04	7	15783	176.7	175	89.32		
C 1.00% - 05	14	24410	177.08	175	137.85		
C 1.00% - 06	14	24783	176.73	175	140.23	139.93	79.96%
C 1.00% - 07	14	25204	177.32	175	142.14		
C 1.00% - 08	14	24670	176.87	175	139.48		
C 1.00% - 09	28	28954	176.74	175	163.82		
C 1.00% - 10	28	29455	176.83	175	166.57	166.18	94.96%
C 1.00% - 11	28	29876	177.36	175	168.45		
C 1.00% - 12	28	29313	176.72	175	165.87		

Nota: La abreviatura del concreto con adición de fibra PET al 1.00% esta representa (C 1.00%)

La Tabla 37 y la Figura 45 contienen los promedios de las resistencias

Tabla 37

Resistencia promedio a compresión del concreto permeable a los 7, 14 y 28 días

Edades (días)	CP		C 0.25%		C 0.50%		C 1.00%	
	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%
7	91.43	52.25%	98.56	56.32%	94.48	53.99%	89.54	51.17%
14	137.84	78.77%	153.16	87.52%	145.65	83.23%	139.93	79.96%
28	173.45	98.99%	192.87	110.21%	178.87	102.21%	166.18	94.96%

Nota: Se muestra la resistencia promedio representadas en las tablas 34 a la tabla 37.

Figura 45

Evolución de resistencia a compresión del concreto permeable

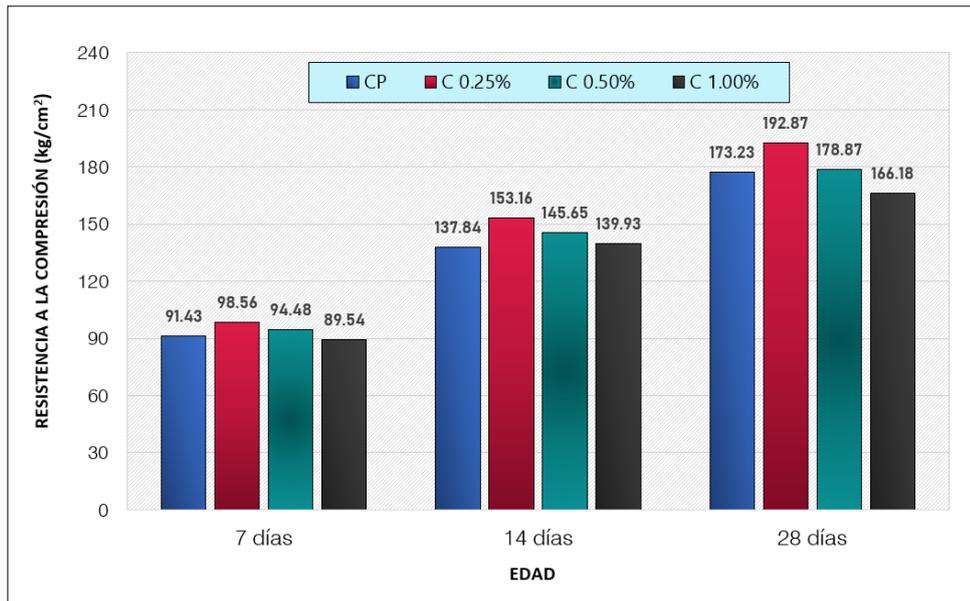
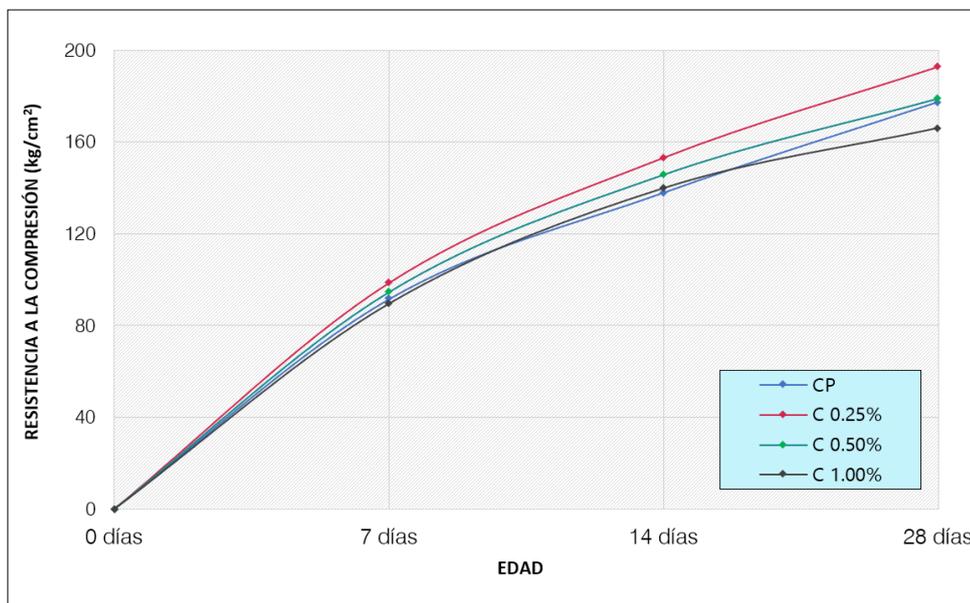


Figura 46

Curva de evolución de la resistencia a compresión del concreto permeable



Tras evaluar los datos de las Figuras 45 y 46, se evidencia (CP) presenta la resistencia a compresión de 173.23kg/cm² a 28 días, sin llegar a la resistencia de diseño de 175 kg/cm². Además, a los 28 días, el concreto permeable con



adiciones de 0.25% y 0.50% de fibras PET recicladas exhiben mejores resistencias a la compresión que el concreto patrón permeable (CP). Sin embargo, el concreto permeable con adición de 1.00% de fibras PET recicladas presenta la menor resistencia en comparación con el (CP).

4.2.1.1. Análisis comparativo de los resultados entre el concreto patrón (CP) y C 0.25%

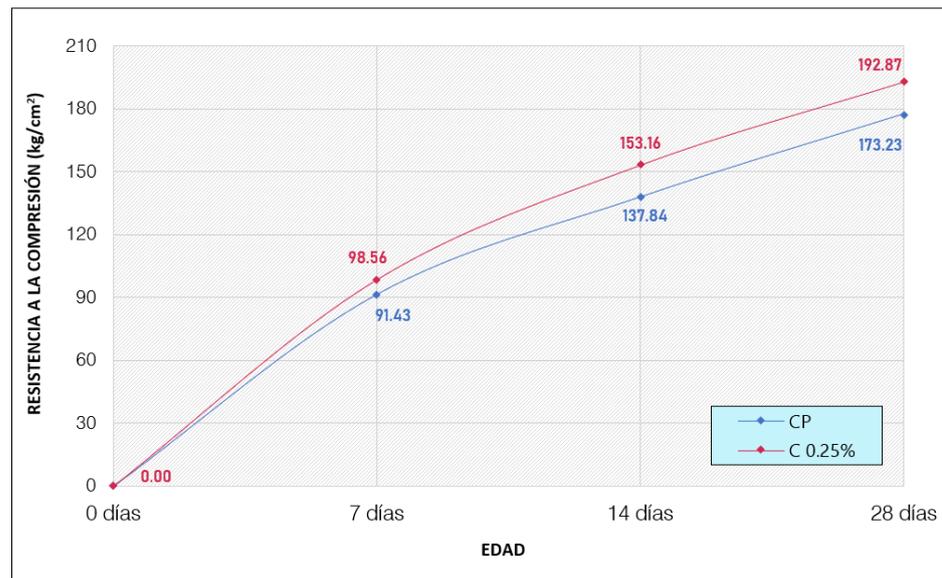
Basándose en los datos presentados en la Figura 47 se observa que, a los 7 días, la resistencia a compresión del (CP) alcanza los 91.43 kg/cm². En cambio, al adicionar un 0.25% de fibras PET al mismo concreto, la resistencia experimenta un incremento, alcanzando los 98.56 kg/cm², lo que representa una mejora del 7.79% en comparación con el (CP).

Asimismo, a los 14 días, la resistencia a compresión del (CP) alcanza los 137.84 kg/cm². En cambio, al adicionar un 0.25% de fibras PET al mismo concreto, la resistencia experimenta un incremento, alcanzando los 153.16 kg/cm², lo que representa una mejora del 11.11% en comparación con el (CP).

Por otro lado, a 28 días, la resistencia a compresión del concreto patrón permeable (CP) alcanza los 173.23 kg/cm². En cambio, al adicionar un 0.25% de fibras PET al mismo concreto, la resistencia experimenta un incremento, alcanzando los 192.87 kg/cm², lo que representa una mejora del 11.34% en comparación con el CP.

Figura 47

Variabilidad: resistencia a compresión entre CP y C 0.25%



4.2.1.2. Análisis comparativo de los resultados entre el concreto patrón (CP) y C 0.50%

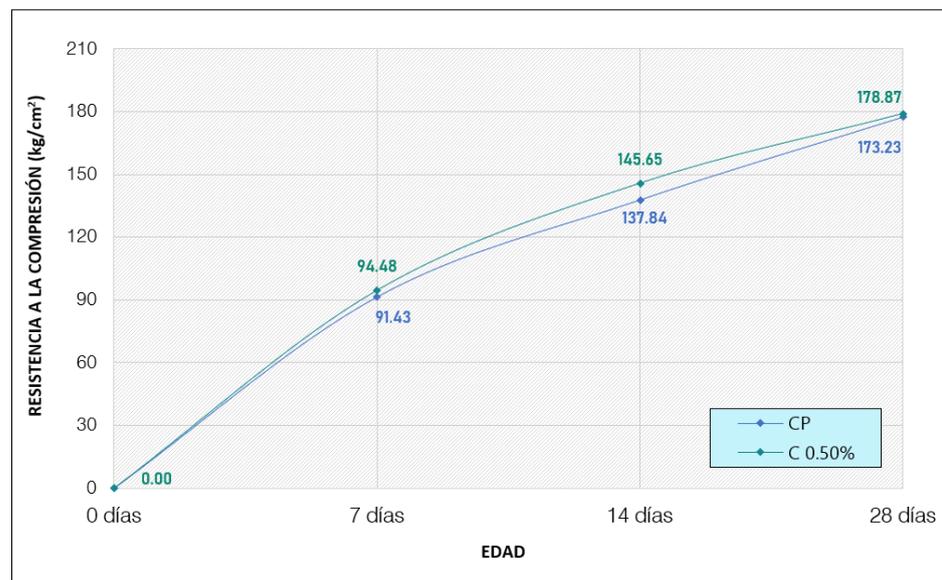
De acuerdo a la Figura 48 se deduce que, en los 7 días, la resistencia a la compresión del (CP) es de 91.43 kg/cm². Sin embargo, al adicionar un 0.50% de fibras PET al mismo concreto, la resistencia experimenta un incremento, alcanzando los 94.48 kg/cm², lo que representa una mejora del 3.33% en comparación con el (CP).

Asimismo, a 14 días, la resistencia a compresión del concreto patrón permeable (CP) alcanzando los 137.84 kg/cm². En cambio, al adicionar un 0.50% de fibras PET al mismo concreto, la resistencia experimenta un incremento, alcanzando los 145.65 kg/cm², lo que representa una mejora del 5.66% en comparación con el (CP).

Por otro lado, a los 28 días, la resistencia a compresión (CP) alcanzando los 173.23 kg/cm². En cambio, al adicionar un 0.50% de fibras PET al mismo concreto, la resistencia experimenta un incremento, alcanzando los 178.87 kg/cm², lo que representa una mejora del 3.25% en comparación con el (CP).

Figura 48

Variabilidad: resistencia a la compresión entre CP y C 0.50%



4.2.1.3. Análisis comparativo de los resultados entre el concreto patrón (CP) y C 1.00%

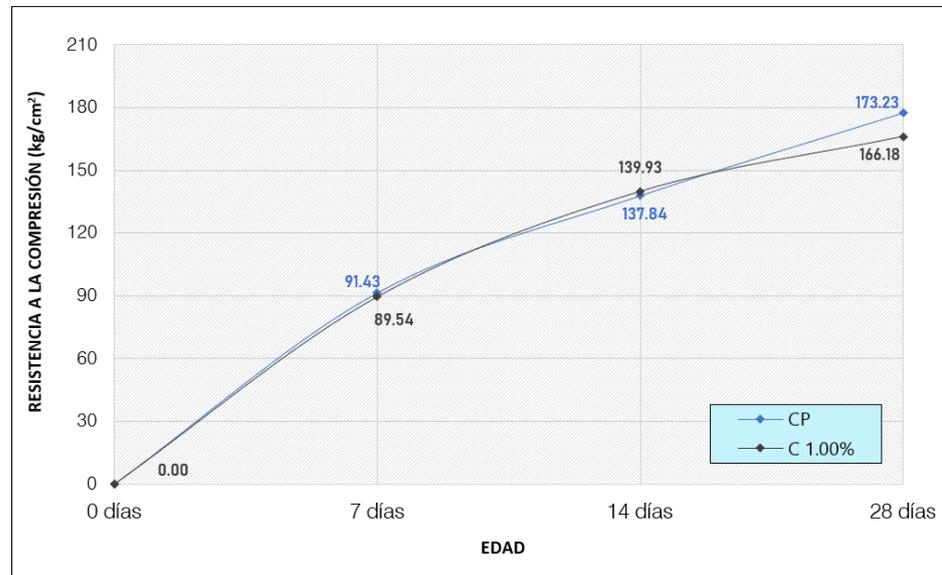
De acuerdo a la Figura 49 se deduce que, en los 7 días, la resistencia a compresión del (CP) alcanzando los 91.43 kg/cm². En cambio, al adicionar un 1.00% de fibras PET al mismo concreto, la resistencia experimenta una reducción, alcanzando los 89.54 kg/cm², lo que representa una reducción del 2.06% en relación al (CP).

Asimismo, a los 14 días, la resistencia a compresión del (CP) alcanzando los 137.84 kg/cm². No obstante, al adicionar un 1.00% de fibras PET al mismo concreto, la resistencia experimenta un incremento, alcanzando los 139.92 kg/cm², lo que representa una mejora del 1.51% en comparación con el (CP).

Por otro lado, a los 28 días, la resistencia a la compresión del (CP) alcanzando los 173.23 kg/cm². No obstante, al adicionar un 1.00% de fibras PET al mismo concreto, la resistencia experimenta una reducción, alcanzando los 166.18 kg/cm², lo que representa una disminución del 4.07% en comparación con el (CP).

Figura 49

Variabilidad en la resistencia a la compresión entre CP y C 1.00%



Conclusión parcial: La resistencia a compresión del concreto permeable a los 28 días y la adición de 0.25, 0.50 y 1.00% de fibras PET recicladas, presenta un incremento que oscila entre el 3.25% y el 11.33%. La concentración óptima de fibras PET recicladas es del 0.25%, con lo que

se obtiene una resistencia superior de 192.87 kg/cm². Por otra parte, las muestras con 0.50% y 1.00% de fibras PET recicladas superaron la resistencia de diseño de 175 kg/cm², alcanzando los 178.87 kg/cm² y 166.18 kg/cm², respectivamente. Asimismo, la resistencia se reduce al adicionar fibras PET recicladas a partir del 0.50%, lo que indica que conforme se incrementa la proporción de fibras PET recicladas, la resistencia disminuye.

4.2.2. Resistencia a la flexión del concreto permeable

Las Tablas 38 a 41 muestran los resultados de resistencia a flexión realizados según la norma (ASTM C 293, 2003). Para una exposición más completa, se recomienda consultar ANEXO 5.

Tabla 38

Resistencia: flexión del concreto patrón (VP)

Descripción	Edades (días)	Cargas aplicadas (kg)	Bases (cm)	Alturas (cm)	Distancias entre apoyos (cm)	Resistencias (kg/cm ²)	Resistencias promedio (kg/cm ²)
VP - 01	14	1476	15.10	15.03	38.49	16.65	
VP - 02	14	1541	15.00	15.10	38.49	17.34	16.49
VP - 03	14	1352	14.90	15.02	38.49	15.48	
VP - 06	28	2033	15.19	15.20	38.49	22.30	
VP - 07	28	1915	15.10	15.40	38.49	20.58	21.36
VP - 08	28	1985	15.43	15.28	38.49	21.21	

Nota: La abreviatura del concreto patrón en flexión esta representa (VP)

Tabla 39*Resistencia: flexión del concreto con 0.25% de fibras PET (V 0.25%)*

Descripción	Edad (días)	Cargas aplicadas (kg)	Bases (cm)	Altura (cm)	Distancias entre apoyos (cm)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
V 0.25% - 01	14	1752	15.00	15.17	38.49	19.54	
V 0.25% - 02	14	1783	15.10	15.00	38.49	20.20	20.47
V 0.25% - 03	14	1919	15.19	14.98	38.49	21.67	
V 0.25% - 04	28	2430	15.00	15.14	38.49	27.20	
V 0.25% - 05	28	2568	15.07	15.12	38.49	28.69	27.54
V 0.25% - 06	28	2381	14.97	15.13	38.49	26.74	

Nota: La abreviatura del concreto con adición de 0.25% de PET esta representa (V 0.25%)

Tabla 40*Resistencia: flexión del concreto con 0.50% de fibras PET (V 0.50%)*

Descripción	Edad (días)	Cargas aplicadas (kg)	Bases (cm)	Alturas (cm)	Distancias entre apoyos (cm)	Resistencias (kg/cm ²)	Resistencias promedio (kg/cm ²)
V 0.50% - 01	14	2118	14.90	15.06	38.49	24.12	
V 0.50% - 02	14	1978	15.10	15.07	38.49	22.20	23.35
V 0.50% - 03	14	2109	15.00	15.10	38.49	23.74	
V 0.50% - 04	28	2593	14.98	15.20	38.49	28.84	
V 0.50% - 05	28	2617	15.00	15.13	38.49	29.34	29.65
V 0.50% - 06	28	2766	15.17	15.10	38.49	30.78	

Nota: La abreviatura del concreto con adición de 0.50% de PET esta representa (V 0.50%)

Tabla 41*Resistencia: flexión del concreto con 1.00% de fibras PET (V 1.00%)*

Descripción	Edad (días)	Cargas aplicadas (kg)	Bases (cm)	Altura (cm)	Distancias entre apoyos (cm)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencias promedio (kg/cm ²)
V 1.00% - 01	14	1606	15.10	14.90	38.49	18.44	
V 1.00% - 02	14	1514	14.99	15.00	38.49	17.28	17.49
V 1.00% - 03	14	1476	15.04	15.02	38.49	16.74	
V 1.00% - 04	28	2315	15.02	15.20	38.49	25.68	
V 1.00% - 05	28	2257	15.10	15.20	38.49	24.90	24.79
V 1.00% - 06	28	2094	15.03	15.01	38.49	23.80	

Nota: La abreviatura del concreto con adición de 1.00% de PET esta representa (V 1.00%)

Los datos promedio de resistencia a flexión a 14 y 28 días son detallados en la tabla 42 y la figura 50

Tabla 42

Resistencia promedio a flexión del concreto permeable a los 14 y 28 días

Edades (días)	VP	V 0.25%	V 0.50%	V 1.00%
	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
14	16.49	20.47	23.35	17.49
28	21.36	27.54	29.65	24.79

Nota: Se muestra la resistencia promedio representadas en las tablas 34 a la tabla 37.

Figura 50

Evolución: resistencia a flexión del concreto permeable

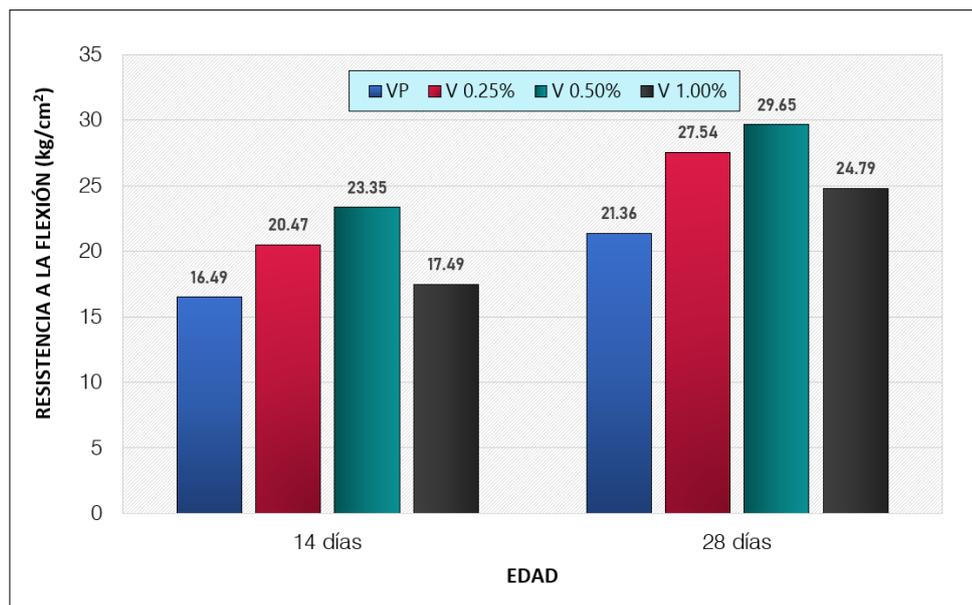
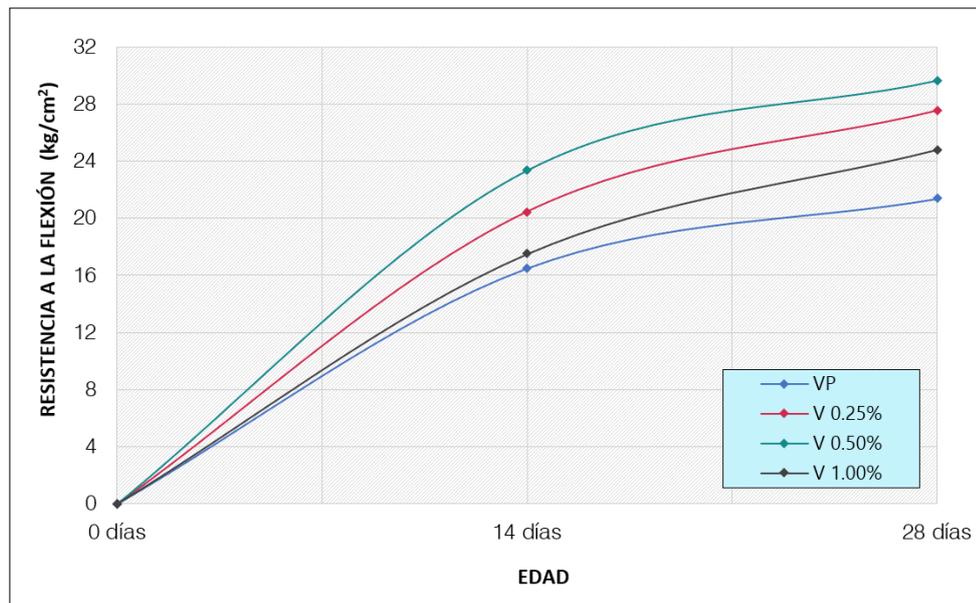


Figura 51

Curva de evolución: resistencia a flexión del concreto permeable



Tras evaluar los datos de las Figuras 50 y 51, se evidencia que (VP) presenta una resistencia a flexión de 21.36 kg/cm^2 a 28 días. Asimismo, el (VP) con adiciones de 0.25%, 0.50% y 1.00% de fibras PET exhiben mejores resistencias a la compresión que el (VP) patrón.

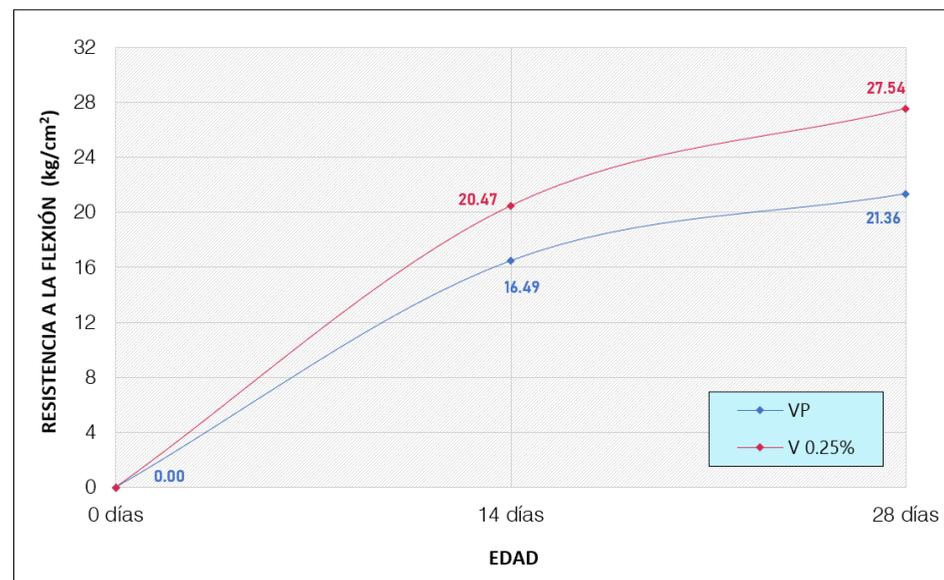
4.2.2.1. Análisis comparativo de los resultados entre el concreto patrón (VP) y V 0.25%

De acuerdo con los datos presentados en la Figura 52 se observa que, a los 14 días, la resistencia a flexión del (VP) control alcanzando los 16.49 kg/cm^2 . No obstante, al adicionar un 0.25% de fibras PET al mismo concreto, la resistencia experimenta un incremento, alcanzando los 20.47 kg/cm^2 , lo que representa una mejora del 24.13% en comparación con el VP.

Por otro lado, a los 28 días, la resistencia a flexión (VP) alcanzando los 21.36 kg/cm². No obstante, al adicionar un 0.25% de fibras PET al mismo concreto, la resistencia experimenta un incremento, alcanzando los 27.54 kg/cm², lo que representa una mejora del 28.93% en comparación con el VP.

Figura 52

Variabilidad: resistencia a la flexión entre VP y V 0.25%



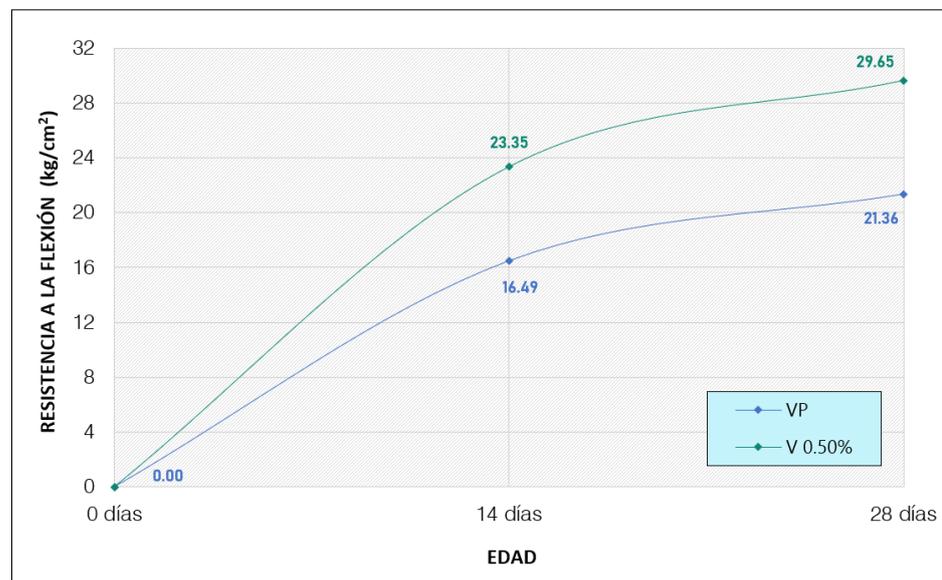
4.2.2.2. Análisis comparativo de los resultados entre el concreto patrón (VP) y V 0.50%

De acuerdo a los datos presentados en la Figura 53 se observa que, a los 14 días, la resistencia a flexión del (VP) alcanzando los 16.49 kg/cm². No obstante, al adicionar un 0.50% de fibras PET al mismo concreto, la resistencia experimenta un incremento, alcanzando los 23.35 kg/cm², lo que representa una mejora del 41.60% en comparación con el VP.

Por otro lado, a los 28 días, la resistencia a flexión del (VP) alcanzando los 21.36 kg/cm². En cambio, al adicionar un 0.50% de fibras PET al mismo concreto, la resistencia experimenta un incremento, alcanzando los 29.65 kg/cm², lo que representa una mejora del 38.81% en comparación con el VP.

Figura 53

Variabilidad: resistencia a la flexión entre VP y V 0.50%



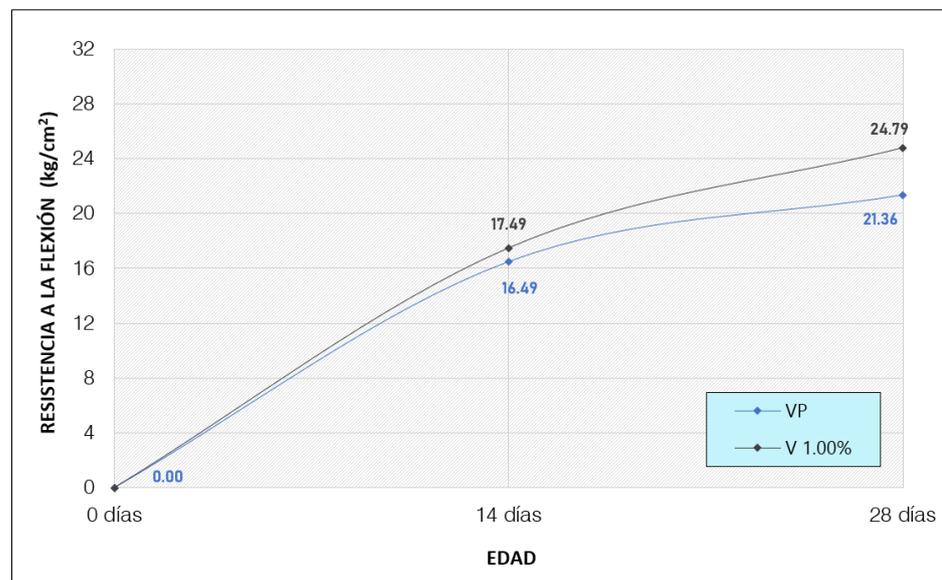
4.2.2.3. Análisis comparativo de los resultados entre el concreto patrón (VP) y V 1.00%

De acuerdo con los datos presentados en la Figura 54 se observa que, a los 14 días, la resistencia a flexión del (VP) alcanzando los 16.49 kg/cm². No obstante, al adicionar un 1.00% de fibras PET al mismo concreto, la resistencia experimenta un incremento, alcanzando los 17.49 kg/cm², lo que representa una mejora del 6.06% en comparación con el VP.

Por otro lado, a 28 días, la resistencia a flexión del (VP) alcanzando los 21.36 kg/cm². En cambio, al adicionar un 1.00% de fibras PET al mismo concreto, la resistencia experimenta un incremento, alcanzando los 24.79 kg/cm², lo que representa una mejora del 16.05% en comparación con el VP.

Figura 54

Variabilidad: resistencia a la flexión entre VP y V 1.00%



Conclusión parcial: La resistencia a flexión a 28 días con la adición de 0.25, 0.50 y 1.00% de fibras PET recicladas, presenta un incremento que oscila entre el 16.05% y el 38.81%. La concentración óptima de fibras PET recicladas es del 0.50%, con lo que se obtiene una resistencia de 29.65 kg/cm². Por otra parte, las muestras con 0.25% y 1.00% de fibras PET recicladas, alcanzaron una resistencia de 27.54 kg/cm² y 24.79 kg/cm², respectivamente. Asimismo, la resistencia se reduce al adicionar fibras PET recicladas a partir del 1.00%, lo que indica

que conforme se incrementa la proporción de fibras PET recicladas, la resistencia disminuye.

4.3. RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES HIDRÁULICAS

4.3.1. Permeabilidad del concreto permeable

Este ensayo se realiza normalmente 7 días después del fraguado, ya que la estructura de los poros permanece constante, independientemente de la duración del curado. En otras palabras, la cantidad de poros en el concreto permeable permanece invariable, por lo que analizarlo a los 14 o 28 días de curado no supondría ninguna diferencia. En este estudio en particular, la prueba se realizó a 28 días.

Tabla 43

Permeabilidad: muestra patrón

Descripción	Largo (cm)	a (cm ²)	Área (cm ²)	(segundo)	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	K (cm/sg)	promedios K (cm/sg)
CP - 1	20.30	80.08	90.04	248.00	30.00	1.00	0.248	
CP - 2	20.40	81.67	90.04	241.00	30.00	1.00	0.261	0.249
CP - 3	20.20	78.50	90.04	250.00	30.00	1.00	0.240	

Tabla 44

Permeabilidad de la muestra con 0.25% de fibras PET

Descripción	Largo (cm)	a (cm ²)	Área (cm ²)	(segundo)	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	K (cm/s)	promedios K (cm/sg)
C 0.25% - 1	20.10	80.08	90.04	227.00	30.00	1.00	0.268	
C 0.25% - 2	20.30	80.08	90.04	230.00	30.00	1.00	0.267	0.269
C 0.25% - 3	20.20	81.67	90.04	229.00	30.00	1.00	0.272	

Tabla 45*Permeabilidad: muestra con 0.50% de fibras PET*

Descripción	Largo (cm)	a (cm ²)	Área (cm ²)	(segundo)	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	K (cm/sg)	promedios K (cm/sg)
C 0.50% - 1	20.30	80.08	90.04	182.00	30.00	1.00	0.337	
C 0.50% - 2	20.20	81.67	90.04	168.00	30.00	1.00	0.371	0.342
C 0.50% - 3	19.80	78.50	90.04	185.00	30.00	1.00	0.317	

Tabla 46*Permeabilidad de la muestra con 1.00% de fibras PET*

Descripción	Largo (cm)	a (cm ²)	Área (cm ²)	(segundo)	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	K (cm/sg)	promedios K (cm/sg)
C 1.00% - 1	20.20	80.08	90.04	138.00	30.00	1.00	0.443	
C 1.00% - 2	20.30	80.08	90.04	133.00	30.00	1.00	0.462	0.458
C 1.00% - 3	20.40	81.67	90.04	134.00	30.00	1.00	0.470	

4.3.2. Interpretación resultados de la permeabilidad

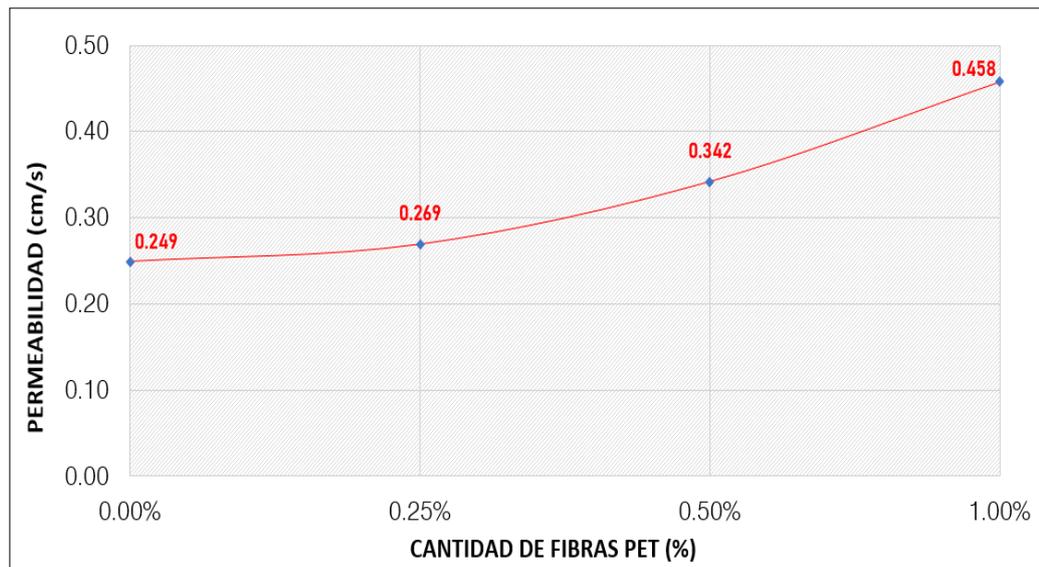
En función de la Figura 55, se infiere que, a los 28 días, la permeabilidad del concreto patrón (CP) es de 0.249 cm/s. No obstante, al adicionar un 0.25% de fibras PET recicladas al mismo concreto, la permeabilidad se incrementa, alcanzando los 0.269 cm/s, lo que supone un aumento del 8.03% respecto al CP.

Similarmente, al incluir un 0.50% de fibras PET recicladas, la permeabilidad incrementa a 0.342 cm/s, representando un aumento del 37.34% en comparación con el CP.

Finalmente, al emplear un 1.00% de fibras PET recicladas, la permeabilidad se eleva a 0.458 cm/s, lo que significa un incremento del 83.93% en comparación con el CP.

Figura 55

Variación: permeabilidad del concreto permeable



4.3.3. Compatibilidad con las precipitaciones en la ciudad de Ayaviri

Se ofrece un desglose completo de los cálculos de la capacidad de filtración de las muestras.

Tabla 47

Capacidad: filtración de probetas de diseño

Descripción	Diámetros (m)	Alturas del agua	Tiempos (s)	Caudal de filtración (l/s)	Caudal promedio (l/s)
CP - 1	0.101	0.30	248	0.0097	
CP - 2	0.102	0.30	241	0.0102	0.0098
CP - 3	0.100	0.30	250	0.0094	
C 0.25% - 1	0.101	0.30	227	0.0106	
C 0.25% - 2	0.101	0.30	230	0.0105	0.0106
C 0.25% - 3	0.102	0.30	229	0.0107	
C 0.50% - 1	0.101	0.30	182	0.0132	
C 0.50% - 2	0.102	0.30	168	0.0146	0.0135
C 0.50% - 3	0.100	0.30	185	0.0127	
C 1.00% - 1	0.101	0.30	138	0.0174	
C 1.00% - 2	0.101	0.30	133	0.0181	0.0179
C 1.00% - 3	0.102	0.30	134	0.0183	

En base a los datos de la Tabla 47, se observa que existe una relación directa entre el coeficiente de permeabilidad y el caudal de filtración, es decir, a medida que aumenta el coeficiente de permeabilidad, también lo hace el caudal. Es fundamental señalar que estos datos de filtración fueron obtenidos para un espécimen con área de $0,007854 \text{ m}^2$.

Tabla 48

Capacidad de filtración por m^2

Muestra	Caudales de filtración promedios de las probetas (l/s)	Caudales de filtración promedios para 1 m^2 (l/s)	Precipitaciones (l/s)
CP	0.0098	1.248	0.120
C 0.25%	0.0106	1.350	0.120
C 0.50%	0.0135	1.719	0.120
C 1.00%	0.0179	2.279	0.120

Según lo observado en la Tabla 48, el concreto patrón y con adiciones de fibras PET recicladas en porcentajes de 0.25, 0.50 y 1.00% presentan índices de infiltración que superan los niveles de precipitación por m^2 . Por consiguiente, estos tipos de concreto son eficaces para mitigar las precipitaciones en la ciudad de Ayaviri, lo que los convierte en una solución efectiva para reducir la escorrentía superficial y prevenir inundaciones.

Conclusión parcial: La permeabilidad a los 28 días con la adición de 0.25, 0.50 y 1.00% de fibras PET recicladas, presenta un incremento que oscila entre el 8.03% y el 83.93%. A pesar de este aumento, es importante destacar que los valores obtenidos se mantienen dentro lo especificado por la directriz (ACI 522R-10, 2010), que oscila entre 0.14 y 1.22 cm/s. Además, las tasas de infiltración superan la precipitación por m^2 , lo que hace que estos tipos de concreto sean una



solución efectiva para reducir la escorrentía superficial y prevenir inundaciones en Ayaviri.

4.4. DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO PERMEABLE

4.4.1. Diseño del pavimento: método AASHTO 93

“Para el diseño de la estructura del pavimento rígido de la guía establecida es usada en nuestro medio el método AASHTO 93, es la razón para usar, determinar el espesor, recomendada por este manual que es el” (MTC, 2013).

A. Subbase

Para el diseño del pavimento la subbase se tomó 30 cm, según la norma de (MTC,2013), indican 15 cm de subbase debe tener como mínimo.

B. Factores de diseño

- Servicialidad

(P_o) es el índice de Servicialidad inicial, es obtenida de qué manera se encuentra el pavimento, posterior a su construcción o rehabilitación. (MTC, 2013), establece para pavimentos rígidos un valor de acuerdo al volumen de tránsito.

La superficie del pavimento deja de satisfacer las normas de confort y seguridad exigidas por el usuario, momento en el que se alcanza el índice de servicio final (P_t)

Tabla 49

Índice de Servicialidad

Tipos de caminos	Trafico	Ejes Equivalentes		Nivel de confiabilidad R	Desviación Estándar normal ZR	Incremento de Servicialidad (\square psi)
Camino de bajo volumen de transito	Tp	150001.00	300001.00	4.10	2.00	2.10
	Tp2	300001.00	500001.00	4.10	2.00	2.10
	Tp3	500001.00	750001.00	4.10	2.00	2.10
	Tp4	750001.00	1000000.00	4.10	2.00	2.10

Fuente: (MTC, 2013, pág. 274)

Se toma valores de índice de Servicialidad según el eje equivalente de 500,000.00 un Pi de 4.10 y Pt de 2.00

- **Transito**

Del manual de carreteras de pavimentos urbanos, donde menciona el ESAL de 500,000.00 para zonas de bajo transito o lugares residenciales.

- **Periodo de diseño**

Tabla 50

El periodo de diseño según las vías se clasifica

Clasificación vías	Ciclos de análisis-años	
Urbanos de alto volumen de transito	30	50
Rural de alto volumen de transito	20	50
Pavimentados de bajo volumen de transito	15	25
No pavimentadas de bajo volumen de transito	10	20

Fuente: (AASHTO, 1993)

Para el diseño según la norma el lugar del proyecto es de bajo volumen de tráfico por esta razón se opta 20 años.



Módulo de rotura del concreto poroso como capa de rodadura

- Módulo de elasticidad del concreto

La fórmula es utilizada para determinar el módulo de elasticidad utilizando el método AASHTO 93 es:

$$EC = 57000\sqrt{f'c}$$

(f'c): resistencia a la compresión a los 28 días en Psi.

- Confiabilidad

La confiabilidad se refiere a la probabilidad de que el pavimento mantenga un rendimiento adecuado lo largo de su vida útil de diseño, considerando de manera integral los factores de tráfico y medioambientales que inciden en el diseño inicial.

Tabla 51

Confiabilidad: periodo de diseño

Tipo de caminos	Tráficos	Ejes Equivalentes		Nivel de confiabilidad RR	Desviación Estándar normal ZR
Caminos de bajo volumen de tránsitos	Tp	150001.00	300001.00	4.10	2.00
	Tp2	300001.00	500001.00	4.10	2.00
	Tp3	500001.00	750001.00	4.10	2.00
	Tp4	750001.00	1000000.00	4.10	2.00

Fuente: (MTC,2013, pág. 275)

Se seleccionó un 75% de confiabilidad para este lugar de estudio.



- **Desviación estándar**

La desviación típica, que incorpora la variabilidad inherente y su proceso de construcción, es la divergencia con respecto a la población, los valores obtenidos por AASHTO 93.

Tabla 52

Desviación estándar

Condiciones de diseños	Desviación estándar Pav. Rígido
Variación en la predicción de comportamientos de los pavimentos sin errores de tránsito.	0.34
Variación en predicción de los comportamientos de los pavimentos del pavimento con errores de tránsito.	0.39

Fuente: (AASHTO 93)

En este diseño, se considera la directriz del manual de carreteras que sugiere emplear $S_o = 0.35$

- **Coefficiente de drenaje**

AASHTO recomienda valores para el coeficiente de drenaje C_d , que se basa en la capacidad de sus componentes de la estructura del pavimento para evacuar las aguas de lluvia.

Tabla 53*Coeficiente de drenaje*

Cd	Tiempos en que los suelos expulse el 50% de su agua	% de tiempo su estructura del pavimento está a nivel de humedad cerca a la saturación			
		< 1%	1% - 5%	5% - 25%	>25%
Valoraciones					
Excelentes	2 horas	1.25 a 1.20	1.25 a 1.15	1.15 a 1.10	1.1
Buenos	1 día	1.20 a 1.15	1.15 a 1.10	1.10 a 1.00	1
Regulares	1 semanas	1.15 a 1.10	1.10 a 1.00	1.00 a 0.90	0.9
Pobres	1 meses	1.10 a 1.00	1.00 a 0.90	0.90 a 0.80	0.8
Demasiado pobres	Nunca	1.00 a 0.90	0.90 a 0.80	0.80 a 0.70	0.7

Fuente: (AASHTO 93)

Para este diseño, se emplea un **Cd** 1.00, correspondiente a una precipitación media anual de 153mm.

- Coeficiente de transmisión de cargas

Para reducir las deflexiones en las juntas, es crucial que las cargas de tránsito se distribuyan eficazmente de una losa a otra. El concreto de la losa puede fallar debido a las deflexiones excesivas que provocan el bombeo de la subbase.

$$SI C.B.R. > 10$$

$$K = 46 + 9.08 * (\log(C.B.R.))^{4.34}$$

$$SI C.B.R. < 10$$

$$K = 2.55 + 53.5 * \log(C.B.R.)$$

En este diseño se cuenta con un CBR 8.2%, lo que resulta en un coeficiente de transmisión de carga 220.70 pci.

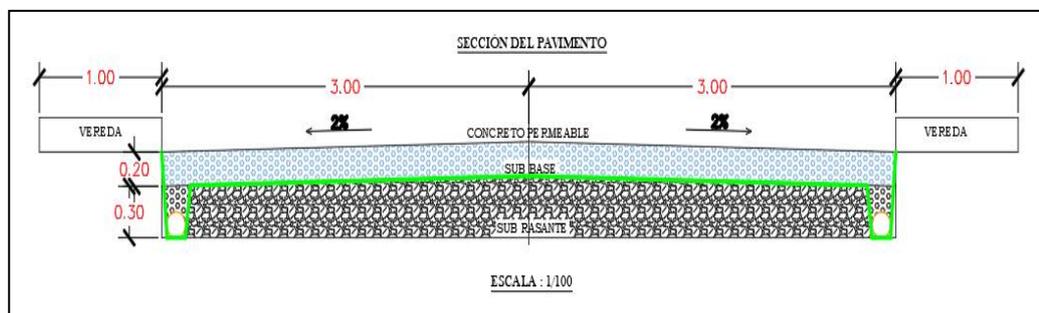
Aplicando el método de diseño (AASHTO, 1993) para pavimentos regidos se han realizado los cálculos y se obtuvo un espesor de 20 cm.

4.4.2. Sección del pavimento permeable con adición de fibras PET

El diseño del pavimento de concreto se centró en la evacuación de aguas pluviales, empleando una capa impermeabilizante que evite la infiltración de agua hacia la sub base, completando con tuberías cribadas colocadas en ambos lados para el drenaje pluvial.

Figura 56

Sección: pavimento permeable



Nota: el gráfico muestra una sección de pavimento permeable con un espesor de 20 cm. En la parte inferior, se ha instalado una geomembrana (línea verde) para impermeabilizar la sub base, proporcionando una solución efectiva.

En esta investigación se propone una solución para áreas con bajo tránsito vehicular. Para lograrlo, se impermeabiliza la subbase utilizando geomembranas y se diseña un sistema de subdrenaje para la adecuada evacuación de aguas pluviales. La topografía del lugar juega un papel crucial en la eficiencia de este sistema de drenaje. Específicamente, en el Jr. Simón Bolívar, el levantamiento topográfico revela una pendiente del 0.7%, lo que permite la aplicación de pavimento de concreto permeable complementado con subdrenes.

4.5. ANÁLISIS DE COSTO DEL CONCRETO PERMEABLE

Se realizó un análisis comparativo de costos entre el concreto convencional, el concreto permeable patrón y el concreto permeable con adiciones de fibras PET recicladas en concentraciones del 0.25%, 0.50% y 1.00%, con el propósito de evaluar el impacto económico de incorporar estas fibras en las mezclas. Es importante señalar que el análisis se centró exclusivamente en el costo de materiales utilizados por metro cúbico de concreto, excluyendo los costos asociados con la mano de obra y el equipo empleado.

Tabla 54

Costo: concreto convencional de 175 kg/cm² por metro cúbico

Materiales	Unidades	Cantidades	P.U.	Parciales
Cemento portland - tipo IP	bolsa	9.7300	27.50	S/ 267.58
Agregados finos	m ³	0.5200	42.37	S/ 22.03
Agregados gruesos	m ³	0.5300	44.80	S/ 23.74
Agua	m ³	0.1860	6.50	S/ 1.21
Costo para 1 m ³ de concreto				S/ 314.56

Tabla 55

Costo: concreto permeable patrón por metro cúbico

Materiales	Unidades	Cantidades	P.U.	Parciales
Cemento portland - tipo IP	bolsa	9.0642	27.50	S/ 249.27
Agregado fino	m ³	0.0600	42.37	S/ 2.54
Agregado grueso	m ³	0.5100	44.80	S/ 22.85
Fibras PET	kg	0.0000	77.80	S/ 00.00
Agua	m ³	0.1860	6.50	S/ 1.21
Costo para 1 m ³ de concreto				S/ 275.86



Tabla 56

Costo: concreto permeable con adición de 0.25% de Fibra PET por metro cúbico

Materiales	Unidades	Cantidades	P.U.	Parciales
Cemento portland - tipo IP	bolsa	9.0642	27.50	S/ 249.27
Agregado fino	m ³	0.0600	42.37	S/ 2.54
Agregado grueso	m ³	0.5100	44.80	S/ 22.85
Fibras PET	kg	0.9630	77.80	S/ 74.92
Agua	m ³	0.1860	6.50	S/ 1.21
Costo para 1 m ³ de concreto				S/ 350.79

Tabla 57

Costo: concreto permeable con adición de 0.50% de Fibra PET por metro cúbico

Materiales	Unidad	Cantidades	P.U.	Parcial
Cemento portland - tipo IP	bolsas	9.0642	27.50	S/ 249.27
Agregado finos	m ³	0.0600	42.37	S/ 2.54
Agregado gruesos	m ³	0.5100	44.80	S/ 22.85
Fibras PET	kg	1.9300	77.80	S/ 150.15
Agua	m ³	0.1860	6.50	S/ 1.21
Costo para 1 m ³ de concreto				S/ 426.02

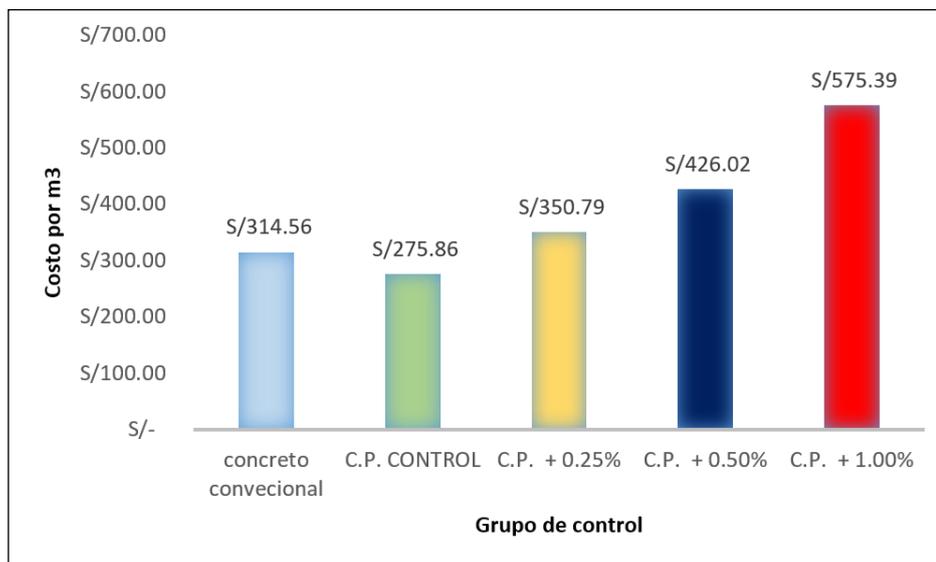
Tabla 58

Costo: concreto permeable con adición de 1.00% de Fibra PET por metro cúbico

Materiales	Unidades	Cantidades	P.U.	Parciales
Cemento portland - tipo IP	bolsas	9.0642	27.50	S/ 249.27
Agregado fino	m ³	0.0600	42.37	S/ 2.54
Agregado grueso	m ³	0.5100	44.80	S/ 22.85
Fibras PET	kg	3.8500	77.80	S/ 299.53
Agua	m ³	0.1860	6.50	S/ 1.21
Costo para 1 m ³ de concreto				S/ 575.39

Figura 57

Comparación de costos de concreto



Según se muestra en la Figura 57, a medida que se incrementa la proporción de fibras PET recicladas, se observa un incremento correspondiente en el precio unitario de los materiales utilizados.

- El costo unitario del concreto convencional es de S/ 314.56.
- El costo unitario del concreto permeable control es de S/ 275.86.
- Para el concreto permeable con un 0.25% de fibras PET recicladas, el costo unitario de los materiales es de S/ 350.79, lo que representa un incremento del 27.2% en relación con el concreto permeable control.
- El concreto permeable de un 0.50% de fibras PET recicladas muestra un costo unitario de materiales de S/ 426.02, lo que implica un aumento del 54.3% en relación al concreto permeable control.
- En el caso del concreto permeable de un 1.00% de fibras PET recicladas, el costo unitario de materiales alcanza los S/ 575.39, reflejando un aumento del 108.6% en relación al concreto permeable control.

Conclusión parcial: Se observan incrementos significativos en el costo de los materiales al incorporar fibras PET recicladas, alcanzando hasta un 108.6% para una adición del 1.00%. Esto indica claramente la incorporación de fibra PET recicladas en el concreto permeable resulta un considerable incremento en el costo unitario de materiales en comparación con el concreto permeable control y concreto convencional.

4.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

4.6.1. Análisis estadístico de la resistencia a la compresión

Los parámetros estadísticos de la resistencia a compresión ensayados a 28 días para el concreto permeable patrón y el concreto con distintos porcentajes de fibras PET recicladas se encuentran detallados en la Tabla 59. Para una visualización más exhaustiva, se puede consultar el ANEXO 7.

Tabla 59

Resultados descriptivos de los datos de la resistencia a la compresión - 28 días

Descripción	Concretos	Adicionado con fibra PET		
	patrones	reciclada		
	CP	0.25%	0.50%	1.00%
Número de muestras (n)	4.00	4.00	4.00	4.00
Media (μ)	173.37	193.30	179.04	166.82
Varianza (σ^2)	3.67	2.67	4.00	2.67
Desviación estándar (σ)	1.91	1.63	2.00	1.63
Coefficiente de variación (CV)	1.10%	0.84%	1.12%	0.98%

A fin de asegurar la fiabilidad y la validez de los resultados obtenidos, se realizaron evaluaciones utilizando los parámetros de la desviación estándar y coeficiente de variación, utilizando datos de resistencia a compresión.

Tabla 60

Interpretación del coeficiente de variación y desviación estándar para los grupos de control de la resistencia a la compresión a los 28 días de edad

Descripción del grupo de control	Interpretación
Coeficiente de variación y desviación estándar del concreto permeable patrón (CP) a los 28 días de edad.	Según los datos obtenidos, este grupo de control muestra una desviación estándar excelente, dado que el valor de 1.91 es significativamente inferior a 14.1 . Además, el coeficiente de variación de 1.10 se considera excelente , ya que se encuentra por debajo de 2.0 . Asimismo, de acuerdo con la distribución normal (Campana de Gauss), se infiere que los resultados se ajustan a una distribución normal.
Coeficiente de variación y desviación estándar del concreto permeable patrón (CP) con 0.25% de adición de fibra PET recicladas a los 28 días de edad.	Según los datos obtenidos, este grupo de control muestra una desviación estándar excelente, dado que el valor de 1.63 es significativamente inferior a 14.1 . Además, el coeficiente de variación de 0.84 se considera excelente , ya que se encuentra por debajo de 2.0 . Asimismo, de acuerdo con la distribución normal (Campana de Gauss), se infiere que los resultados se ajustan a una distribución normal.
Coeficiente de variación y desviación estándar del concreto permeable patrón (CP) con 0.50% de adición de fibra PET recicladas a los 28 días de edad.	Según los datos obtenidos, este grupo de control muestra una desviación estándar excelente, dado que el valor de 2.00 es significativamente inferior a 14.1 . Además, el coeficiente de variación de 1.12 se considera excelente , ya que se encuentra por debajo de 2.0 . Asimismo, de acuerdo con la distribución normal (Campana de Gauss), se infiere que los resultados se ajustan a una distribución normal.
Coeficiente de variación y desviación estándar del concreto permeable patrón (CP) con 1.00% de adición de fibra PET recicladas a los 28 días de edad.	Según los datos obtenidos, este grupo de control muestra una desviación estándar excelente, dado que el valor de 1.63 es significativamente inferior a 14.1 . Además, el coeficiente de variación de 0.98 se considera excelente , ya que se encuentra por debajo de 2.0 . Asimismo, de acuerdo con la distribución normal (Campana de Gauss), se infiere que los resultados se ajustan a una distribución normal.

4.6.2. Análisis estadístico de la resistencia a la flexión

En la Tabla 61 se muestran los resultados de los parámetros estadísticos de resistencia a la flexión a los 28 días del concreto permeable patrón y el de distintas cantidades de fibras PET recicladas añadidas. Para una comprensión más detallada, se sugiere revisar el ANEXO 7.



Tabla 61

Resultados descriptivos de los datos: resistencia a la flexión - 28 días

Descripción	Concreto patrón	Adicionado con fibras PET recicladas		
	VP	0.25%	0.50%	1.00%
Números de muestras (n)	3.00	3.00	3.00	3.00
Medias (u)	21.41	27.57	29.67	24.97
Varianzas (σ^2)	0.33	0.33	0.33	0.33
Desviación estándar (σ)	0.58	0.58	0.58	0.58
Coefficiente de variación (CV)	2.70%	2.09%	1.95%	2.31%

Para establecer la fiabilidad y validez de los resultados, se realizaron evaluaciones utilizando los parámetros de la desviación estándar y los coeficientes de variación. Estas evaluaciones se basaron en los datos de resistencia a la flexión, las cuales se detallan en la Tabla 62.

Tabla 62

Interpretación del coeficiente de variación y desviación estándar para los grupos de control de la resistencia a la flexión a los 28 días de edad

Descripción del grupo de control	Interpretación
Coficiente de variación y desviación estándar del concreto permeable patrón (CP) a los 28 días de edad.	Según los datos obtenidos, este grupo de control muestra una desviación estándar excelente , dado que el valor de 0.58 es significativamente inferior a 14.1 . Además, el coeficiente de variación de 2.70 se considera muy bueno , ya que se encuentra en el rango de 2.0 a 3.0 . Asimismo, de acuerdo con la distribución normal (Campana de Gauss), se infiere que los resultados se ajustan a una distribución normal.
Coficiente de variación y desviación estándar del concreto permeable patrón (CP) con 0.25% de adición de fibra PET recicladas a los 28 días de edad.	Según los datos obtenidos, este grupo de control muestra una desviación estándar excelente , dado que el valor de 0.58 es significativamente inferior a 14.1 . Además, el coeficiente de variación de 2.09 se considera muy bueno , ya que se encuentra en el rango de 2.0 a 3.0 . Asimismo, de acuerdo con la distribución normal (Campana de Gauss), se infiere que los resultados se ajustan a una distribución normal.
Coficiente de variación y desviación estándar del concreto permeable patrón (CP) con 0.50% de adición de fibra PET recicladas a los 28 días de edad.	Según los datos obtenidos, este grupo de control muestra una desviación estándar excelente , dado que el valor de 0.58 es significativamente inferior a 14.1 . Además, el coeficiente de variación de 1.95 se considera excelente , ya que se encuentra en el rango de 2.0 a 3.0 . Asimismo, de acuerdo con la distribución normal (Campana de Gauss), se infiere que los resultados se ajustan a una distribución normal.
Coficiente de variación y desviación estándar del concreto permeable patrón (CP) con 1.00% de adición de fibra PET recicladas a los 28 días de edad.	Según los datos obtenidos, este grupo de control muestra una desviación estándar excelente , dado que el valor de 0.58 es significativamente inferior a 14.1 . Además, el coeficiente de variación de 2.31 se considera muy bueno , ya que se encuentra en el rango de 2.0 a 3.0 . Asimismo, de acuerdo con la distribución normal (Campana de Gauss), se infiere que los resultados se ajustan a una distribución normal.

4.6.3. Análisis estadístico de la permeabilidad

La Tabla 63 describe los parámetros estadísticos de la permeabilidad a 28 días para el concreto patrón y el adicionado con diferentes cantidades de fibras PET recicladas. Se recomienda consultar el ANEXO 7 para obtener la información más amplia.

Tabla 63*Resultados descriptivos de los datos de la permeabilidad - 28 días*

Descripción	Concreto patrón	Adicionado con fibras PET recicladas		
	CP	0.25%	0.50%	1.00%
Número de muestras (n)	3.001	3.00	3.00	3.00
Media (u)	0.249	0.269	0.342	0.458
Varianza (σ^2)	0.00007	0.000003	0.00044	0.00012
Desviaciones estándar (σ)	0.008	0.002	0.021	0.011
Coefficientes de variación (CV)	3.36%	0.59%	6.15%	2.43%

Se realizaron evaluaciones utilizando los parámetros de la desviación estándar y coeficientes de variación para garantizar la fiabilidad y validez de los resultados obtenidos. Estas evaluaciones se realizaron utilizando datos de permeabilidad, que se presentan en la Tabla 64.

Tabla 64

Interpretación del coeficiente de variación y desviación estándar para los grupos de control de permeabilidad a los 28 días de edad

Descripción del grupo de control	Interpretación
Coefficiente de variación y desviación estándar del concreto permeable patrón (CP) a los 28 días de edad.	Según los datos obtenidos, este grupo de control muestra una desviación estándar excelente , dado que el valor de 0.008 es significativamente inferior a 14.1 . Además, el coeficiente de variación de 3.36 se considera bueno , ya que se encuentra en el rango de 3.0 a 4.0 . Asimismo, de acuerdo con la distribución normal (Campana de Gauss), se infiere que los resultados se ajustan a una distribución normal.
Coefficiente de variación y desviación estándar del concreto permeable patrón (CP) con 0.25% de adición de fibra PET recicladas a los 28 días de edad.	Según los datos obtenidos, este grupo de control muestra una desviación estándar excelente , dado que el valor de 0.002 es significativamente inferior a 14.1 . Además, el coeficiente de variación de 0.59 se considera excelente , ya que se encuentra por debajo de 2.0 . Asimismo, de acuerdo con la distribución normal (Campana de Gauss), se infiere que los resultados se ajustan a una distribución normal.
Coefficiente de variación y desviación estándar del concreto permeable patrón (CP) con 0.50% de adición de fibra PET recicladas a los 28 días de edad.	Según los datos obtenidos, este grupo de control muestra una desviación estándar excelente , dado que el valor de 0.021 es significativamente inferior a 14.1 . Además, el coeficiente de variación de 6.15 se considera deficiente , ya que se encuentra por encima de 6.0 . Asimismo, de acuerdo con la distribución normal (Campana de Gauss), se infiere que los resultados se ajustan a una distribución normal.
Coefficiente de variación y desviación estándar del concreto permeable patrón (CP) con 1.00% de adición de fibra PET recicladas a los 28 días de edad.	Según los datos obtenidos, este grupo de control muestra una desviación estándar excelente , dado que el valor de 0.011 es significativamente inferior a 14.1 . Además, el coeficiente de variación de 2.43 se considera muy bueno , ya que se encuentra en el rango de 2.0 a 3.0 . Asimismo, de acuerdo con la distribución normal (Campana de Gauss), se infiere que los resultados se ajustan a una distribución normal.

4.7. PRUEBA DE HIPÓTESIS

Se realizará el contraste de hipótesis para determinar si la adición de fibras de PET recicladas en cantidades de 0.25%, 0.50% y 1.00% mejora las propiedades del concreto permeable en comparación con el concreto (sin fibras de PET recicladas) ensayados a 28 días.

4.7.1. Resistencia a la compresión

Para el análisis mediante una prueba estadística paramétrica, específicamente la prueba t de Student, se formulan las siguientes hipótesis:

Ho: La adición de fibras PET recicladas en un 0.25%, 0.50% y 1.00% a 28 días de edad, NO INCREMENTA la resistencia a compresión

Ha: La adición de fibras PET recicladas en un 0.25%, 0.50% y 1.00% a 28 días de edad, INCREMENTA la resistencia a compresión.

Basándose en el ANEXO 8, la Tabla 65 ofrece el resumen de la prueba t y la Tabla 66 ofrece las interpretaciones de los hipótesis y conclusiones de cada grupo con respecto a la resistencia a compresión.

Tabla 65

Resumen de la prueba t: resistencia a compresión a los 28 días

Muestra	n	GL	α	tp	Interpretación	Decisión
CPP	4.00					
C 0.25%	4.00	6.00	1.943	-15.8	Si $tp < -\alpha$, entonces de rechaza Ho; de lo contrario, se acepta Ho	Se rechaza Ho
C 0.50%	4.00	6.00	1.943	-4.1		Se rechaza Ho
C 1.00%	4.00	6.00	1.943	5.21		Se acepta Ho

Nota: Ho = Hipótesis nula y Ha = Hipótesis alterna

Tabla 66

Prueba de hipótesis de los resultados: resistencia a compresión a los 28 días

	Hipótesis nula	Hipótesis alterna	Est. De prueba	Conclusión
Fibra PET recicladas 0.25%	La adición de fibras PET recicladas en un 0.25% a los 28 días de edad, NO INCREMENTA la resistencia a compresión.	La adición de fibras PET recicladas en un 0.25% a los 28 días de edad, INCREMENTA la resistencia a compresión.	$t_p = -15.84$	Con un nivel de significancia de 0.05 y con una confiabilidad del 95%; se concluye que: la adición de fibras PET recicladas en un 0.25% del peso del cemento, INCREMENTA la resistencia a compresión del concreto permeable a los 28 días de edad.
Fibra PET recicladas 0.50%	La adición de fibras PET recicladas en un 0.50% a los 28 días de edad, NO INCREMENTA la resistencia a compresión.	La adición de fibras PET recicladas en un 0.50% a los 28 días de edad, INCREMENTA la resistencia a compresión.	$t_p = -4.1$	Con un nivel de significancia de 0.05 y con una confiabilidad del 95%; se concluye que: la adición de fibras PET recicladas en un 0.50% del peso del cemento, INCREMENTA la resistencia a compresión del concreto permeable a los 28 días de edad.
Fibra PET recicladas 1.00%	La adición de fibras PET recicladas en un 1.00% a los 28 días de edad, NO INCREMENTA la resistencia a compresión.	La adición de fibras PET recicladas en un 1.00% a los 28 días de edad, INCREMENTA la resistencia a compresión.	$t_p = 5.21$	Con un nivel de significancia de 0.05 y con una confiabilidad del 95%; se concluye que: la adición de fibras PET recicladas en un 1.00% del peso del cemento, NO INCREMENTA la resistencia a compresión del concreto permeable a los 28 días de edad.

4.7.2. Resistencia a la flexión

Para el análisis mediante una prueba estadística paramétrica, específicamente la prueba t de Student, se formulan las siguientes hipótesis:

Ho: La adición de fibras PET recicladas en un 0.25%, 0.50% y 1.00% a 28 días de edad, **NO INCREMENTA** la resistencia a flexión.

Ha: La adición de fibras PET recicladas en 0.25%, 0.50% y 1.00% a 28 días de edad, **INCREMENTA** la resistencia a flexión.

Basándose en el ANEXO 8, la Tabla 67 ofrece el resumen de la prueba t y la Tabla 68 ofrece las interpretaciones de los hipótesis y conclusiones de cada grupo con respecto a la resistencia a flexión.

Tabla 67

Resumen de la prueba t: resistencia a flexión a los 28 días

Muestra	n	GL	$t\alpha$	tp	Interpretación	Decisión
VP	3.00					
V 0.25%	3.00	4.00	2.132	-13.1	Si $t_p < -t_\alpha$, entonces se rechaza H_0 ; de lo contrario, se acepta H_0	Se rechaza H_0
V 0.50%	3.00	4.00	2.132	-17.5		Se rechaza H_0
V 1.00%	3.00	4.00	2.132	-7.54		Se rechaza H_0

Nota: H_0 = Hipótesis nula y H_a = Hipótesis alterna

Tabla 68

Prueba de hipótesis de los resultados: resistencia a flexión a los 28 días

	Hipótesis nula	Hipótesis alterna	Est. De prueba	Conclusión
Fibra PET recicladas 0.25%	La adición de fibras PET recicladas en un 0.25% a los 28 días de edad, NO INCREMENTA la resistencia a flexión	La adición de fibras PET recicladas en un 0.25% a los 28 día de edad, INCREMENTA la resistencia a flexión	$t_p = -13.07$	Con un nivel de significancia de 0.05 y con una confiabilidad del 95%; se concluye que: la adición de fibras PET recicladas en un 0.25% del peso del cemento, INCREMENTA la resistencia a flexión del concreto permeable a los 28 días de edad
Fibra PET recicladas 0.50%	La adición de fibras PET recicladas en un 0.50% a los 28 días de edad, NO INCREMENTA la resistencia a flexión	La adición de fibras PET recicladas en un 0.50% a los 28 día de edad, INCREMENTA la resistencia a flexión	$t_p = -17.52$	Con un nivel de significancia de 0.05 y con una confiabilidad del 95%; se concluye que: la adición de fibras PET recicladas en un 0.50% del peso del cemento, INCREMENTA la resistencia a flexión del concreto permeable a los 28 días de edad
Fibra PET recicladas 1.00%	La adición de fibras PET recicladas en un 1.00% a los 28 días de edad, NO INCREMENTA la resistencia a flexión	La adición de fibras PET recicladas en un 1.00% a los 28 día de edad, INCREMENTA la resistencia a flexión	$t_p = -7.54$	Con un nivel de significancia de 0.05 y con una confiabilidad del 95%; se concluye que: la adición de fibras PET recicladas en un 1.00% del peso del cemento, INCREMENTA la resistencia a flexión del concreto permeable a los 28 días de edad

4.7.3. Permeabilidad

Para el análisis mediante una prueba estadística paramétrica, específicamente la prueba t de Student se formulan las siguientes hipótesis:

Ho: La adición de fibras PET recicladas en un 0.25%, 0.50% y 1.00% a los 28 días de edad, NO INCREMENTA la permeabilidad.

Ha: La adición de fibra PET recicladas en un 0.25%, 0.50% y 1.00% a los 28 días de edad, INCREMENTA la permeabilidad.

Basándose en los datos del ANEXO 8, la Tabla 69 ofrece el resumen de la prueba t y la Tabla 70 ofrece las interpretaciones de los hipótesis y conclusiones de cada grupo con respecto a la permeabilidad.

Tabla 69

Resumen de la prueba t: permeabilidad a los 28 días

Muestra	n	GL	$t\alpha$	tp	Interpretación	Decisión
CP	3.00					
C 0.25%	3.00	4.00	2.132	-3.98	Si $t_p < -t_\alpha$, entonces se rechaza H_0 ; de lo contrario, se acepta H_0	Se rechaza H_0
C 0.50%	3.00	4.00	2.132	-7.06		Se rechaza H_0
C 1.00%	3.00	4.00	2.132	-26		Se rechaza H_0

Nota: H_0 = Hipótesis nula y H_a = Hipótesis alterna

Tabla 70

Prueba de hipótesis para los diferentes grupos de control de permeabilidad

	Hipótesis nula	Hipótesis alterna	Est. De prueba	Conclusión
Fibra PET recicladas 0.25%	La adición de fibras PET recicladas en un 0.25% a los 28 días de edad, NO INCREMENTA el coeficiente de permeabilidad	La adición de fibras PET recicladas en un 0.25% a los 28 día de edad, INCREMENTA el coeficiente de permeabilidad	$t_p = -3.98$	la adición de fibras PET recicladas en un 0.25% del peso del cemento, INCREMENTA el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable a los 28 días de edad.
Fibra PET recicladas 0.50%	La adición de fibras PET recicladas en un 0.50% a los 28 días de edad, NO INCREMENTA el coeficiente de permeabilidad	La adición de fibras PET recicladas en un 0.50% a los 28 día de edad, INCREMENTA el coeficiente de permeabilidad	$t_p = -7.06$	la adición de fibras PET recicladas en un 0.50% del peso del cemento, INCREMENTA el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable a los 28 días de edad.
Fibra PET recicladas 1.00%	La adición de fibras PET recicladas en un 1.00% a los 28 días de edad, NO INCREMENTA el coeficiente de permeabilidad	La adición de fibras PET recicladas en un 1.00% a los 28 día de edad, INCREMENTA el coeficiente de permeabilidad	$t_p = -25.95$	la adición de fibras PET recicladas en un 1.00% del peso del cemento, INCREMENTA el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable a los 28 días de edad.

4.8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- De la resistencia a compresión

La investigación de Oyola & Romaní (2020) muestra que la resistencia a compresión a 28 días de curado utilizando diferentes porcentajes de fibra PET: 0.25%, 0.50%, 1.00% y 1.50%, con fibras de dimensiones 2mm x 45mm. Los resultados mostraron que la mayor resistencia a compresión, alcanzando 192.26 kg/cm² se logró con la incorporación de 0.50% de fibras PET, a pesar que en su diseño de las mezclas trabajaron con una relación de a/c de 0.36. Referente a mi investigación al adicionarle fibras PET con dimensiones de 3mm x 30mm se obtuvieron valores de resistencia a



compresión de 192.87 kg/cm^2 con 0.25% de adición, 178.87 kg/cm^2 con 0.50% y 166.18 kg/cm^2 con un 1.00% de adición. Con eso se determinó que la mejor proporción de adición de fibra PET es el 0.25%, utilizando un diseño de mezcla que incluye material fino y una relación a/c de 0.35. En mi perspectiva no puedo decir que el óptimo porcentaje es el 0.50%, puesto que mis resultados mostraron que agregando 0.25% de fibra PET reciclada proporciono una mayor resistencia a la compresión, además con una adición en un 0.50% de fibra PET reciclada baja su resistencia a compresión en función al 0.25% de adición de fibra PET reciclada. Además, la investigación de Guamán & Pinenla (2019) indica que la incorporación de fibras PET en un 0.5% con aditivo plastificante, mejora la resistencia a compresión del concreto poroso en 5% en comparación con el concreto patrón. Este hallazgo difiere de los resultados obtenidos en mi investigación, donde el máximo aumento en la resistencia a compresión en función al concreto patrón es de 11.33% logrado con una adición de 0.25% de fibra PET reciclada.

Por otro lado, Guerra (2019) concluye que la resistencia a compresión del concreto control de un concreto permeable curado a los 28 días es de 169.39 kg/cm^2 . Para un agregado de 3/8", contenido de pasta de 26.5%, volumen de vacíos de 15% y con una relación de a/c de 0.40. Por otro lado, en esta investigación se determinó que el concreto patrón alcanza una resistencia a compresión de 173.23 kg/cm^2 con agregado de 3/8", contenido de pasta del 27% y porcentaje de vacíos de 16%. Esta leve variación en los resultados en la resistencia a compresión, puede atribuirse, en parte, a la diferencia en la relación de agua-cemento, lo cual destaca la importancia de este parámetro en el diseño del concreto.

Lopez(2023), En su investigación, se menciona que la resistencia a compresión del concreto permeable es 130.67 kg/cm^2 y 187.81 kg/cm^2 con un agregado fino del 0% y 15% en cada caso, para una gradación de Huso – 8, con un porcentaje de vacíos del

17% y una relación agua/cemento de 0.35. En mi investigación, la resistencia a compresión media del concreto permeable control es 173.23 kg/cm², utilizando agregado uniforme (3/8”), con un volumen de vacíos del 16% y un 10% de agregado fino. Por consiguiente, la variación en los datos obtenidos puede atribuirse a la cantidad del material fino incluido, infiriéndose que un mayor contenido de material fino conduce a una mejor resistencia a la compresión.

- De la resistencia a flexión

Mamani & Valera (2022) indican en su estudio que la resistencia a flexión del concreto permeable varía desde 19.71 kg/cm² a 24.62 kg/cm² con agregado fino al 10% del agregado grueso, para una gradación de 3/8”, vacío aparente de 16% y contenido de pasta 26%. Mientras que, en esta investigación, la resistencia a flexión media del concreto permeable patrón es 21.36 kg/cm², con un tamaño de agregado 3/8”, porcentaje de vacíos 16% y contenido de pasta de 27%. Por consiguiente, la variación en estos resultados puede atribuirse principalmente al contenido de pasta, refiriéndose así que cuanto mayor sea el contenido pasta conduce a una mejora en la resistencia a la flexión.

Por otro lado, Medina (2020), En su investigación, menciona que la resistencia a la flexión del concreto permeable patrón es de 34.69 kg/cm², 37.60 kg/cm², 51.97 kg/cm², 43.26 kg/cm² y 28.94 kg/cm², correspondientes a porcentajes de inclusión de tiras de plástico de 0.00%, 0.05%, 0.10%, 0.15% y 0.20% respectivamente, para una gradación del Uso - 67 y con agregado fino del 10%, y un vacío aparente del 17.5%. En relación con mi investigación, la resistencia promedio a la flexión del concreto permeable patrón es 21.36 kg/cm², considerando un tamaño de 3/8” de agregado, un porcentaje de vacíos del 16% y un material fino del 10%. Por lo tanto, la variación de datos se atribuye a la



cantidad de material grueso empleado, infiriéndose que una mayor diversidad en la granulometría mejora la resistencia a la flexión obtenida.

- Del coeficiente de permeabilidad.

En la investigación de Hilares & Camacho(2023), mencionan que el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable es de 1.068 cm/s, correspondiente a una gradación de agregado de 3/4” y un volumen de vacíos del 17%. En mi investigación, el coeficiente de permeabilidad observado es de 0.249 cm/s para el concreto control con un agregado (3/8”) y un volumen de vacíos del 16%. Al contrastar estos resultados, se observa que, aunque existen diferencias en los valores absolutos del coeficiente de permeabilidad, ambos estudios muestran coherencia en cuanto a la influencia de la gradación del agregado y el volumen de vacíos en la permeabilidad del concreto permeable. Las diferencias mínimas pueden atribuirse a las variaciones en el tamaño del agregado y el contenido de vacíos, pero en términos generales, los resultados son consistentes y complementarios. Esto sugiere que, independientemente de las variaciones específicas en la gradación del agregado y el contenido de vacíos, el concreto permeable mantiene un comportamiento predecible y acorde con las expectativas de diseño establecidas.

Con respecto a Flores & Pacompia (2015), concluyen que el coeficiente de permeabilidad patrón de un concreto permeable es de 0.464 cm/s con un tamaño de agregado uniforme de 3/8” y un 26.5% de contenido de pasta y un volumen de vacíos de 15%, algo que no coincide con el presente estudio debido a que el coeficiente de permeabilidad es de 0.249 cm/s y el tamaño de agregado de 3/8”, considerando un contenido de pasta 27% y un volumen de vacíos 16%, por lo que, se infiere que a partir



de los que la variación de volumen de vacíos en 1% influye en coeficiente de permeabilidad.



V. CONCLUSIONES

- La adición de fibras PET recicladas en el concreto permeable mejora significativamente sus cualidades físico-mecánicas, como la resistencia a la compresión y a la flexión. Además, se produce un notable aumento de la permeabilidad en comparación con el concreto patrón.
- La adición de fibras PET recicladas en proporciones de 0.25% y 0.50% en el concreto permeable presentan un crecimiento en la resistencia a compresión de 11.33% y 3.26% respectivamente, referente al concreto permeable de control. Sin embargo, en la proporción de 1.00% de fibras PET recicladas se observa una disminución del 5.93% en la resistencia a compresión respecto al concreto permeable de control. Estos resultados indican claramente que la efectividad de la adición de fibras PET recicladas dependen del porcentaje utilizado. Por lo tanto, se concluye que la incorporación de 0.25% de fibras PET recicladas, en relación al peso del cemento, proporciona el mejor rendimiento en términos de aumento de resistencia a compresión en el concreto permeable.
- La adición de fibras PET recicladas en proporciones de 0.25%, 0.50% y 1.00% en el concreto permeable conlleva incrementos en la resistencia a flexión de 28.93%, 38.81% y 16.05% respectivamente, en relación con el concreto permeable control, estos hallazgos indican un aumento progresivo en la resistencia desde el concreto control hasta el concreto con 0.25% de fibra PET reciclada, pero muestran una disminución en la resistencia a partir de 0.50% al 1.00% de fibra PET reciclada. Estos resultados indican claramente que la efectividad de la adición de fibras PET recicladas dependen del porcentaje utilizado. Por lo tanto, se concluye que la incorporación de 0.25% de fibras PET recicladas, en relación al peso del cemento,



proporciona el mejor rendimiento en términos de aumento de resistencia a flexión en el concreto permeable.

- La adición de fibras de PET recicladas en proporciones de 0.25%, 0.50% y 1.00% en el concreto la permeabilidad aumenta en 0.269 cm/s, 0.342 cm/s y 0.458 cm/s respectivamente, en relación con el concreto permeable control. Estos incrementos se mantienen dentro de los intervalos establecido por la normativa ACI 522-10 para el concreto permeable, que va de 0.14 a 1.22 cm/s. Además, las tasas de infiltración superan la precipitación por m², lo que indica que estos tipos de concreto son efectivos para reducir la escorrentía superficial y prevenir las inundaciones en la ciudad de Ayaviri.



VI. RECOMENDACIONES

- Realizar investigaciones orientadas a mejorar la trabajabilidad del concreto permeable al reforzarlo con fibras PET recicladas, dado que esto conlleva a una reducción significativa en su trabajabilidad.
- Se sugiere a los futuros investigadores que realicen el refrendado aplicando una capa de mortero de yeso y cemento a las probetas de concreto para mejorar su superficie, ya que este tipo de concreto tiende a presentar irregularidades que puedan dar lugar a resistencias inferiores a las previstas.
- Se recomienda experimentar con diferentes dosificaciones de piedra chancada de 3/4" y agregado fino para el concreto permeable, con la finalidad de observar el comportamiento en sus propiedades mecánicas y permeabilidad.
- Se sugiere realizar más estudios para comprender mejor con el concreto permeable responde a aditivos con fluidificantes manteniendo constantes la concentración de porosidad y fibras para evaluar su impacto de la resistencia y permeabilidad.
- Así mismo, una recomendación importante en la elaboración del concreto permeable es mantener la proporción adecuada de agua y cemento para lograr la porosidad necesaria. Esto es fundamental para permitir que el agua fluya adecuadamente a través del concreto, cumpliendo así su función de drenaje. Además, es vital emplear agregados gruesos y finos cuidadosamente seleccionados para mantener la permeabilidad necesaria sin poner en peligro la resistencia del concreto.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. (1993). *Design of Pavement Structures*. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Abanto C., F. (2017). *Tecnología del concreto* (3a ed.). San Marcos EIRL.
- ACI 309R-05. (2005). *Guide for Consolidation of Concrete*. American Concrete Institute.
- ACI 318. (2015). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural y Comentario*. American Concrete Institute.
- ACI 522R-10. (2010). *Report on Pervious Concrete*. American Concrete Institute.
- Aguilera, G., & Diestra, V. (2017). *Influencia de la fibra de PET a partir de botellas recicladas sobre el comportamiento mecánico en un concreto aplicado en prefabricados*. Universidad Nacional de Trujillo.
- Al-Luhybi, A., & Qader, D. (2021). Mechanical Properties of Concrete with Recycled Plastic Waste. *Civil and Environmental Engineering*, 17(2), 629–643.
<https://doi.org/10.2478/cee-2021-0063>
- Alfaro, A. (2017). *Concreto permeable como sistema de drenaje de aguas pluviales en estacionamientos, caso Farmacias San Pablo, Sucursal Tláhuac-Culhuacán*. Instituto Politecnico Nacional.
- Arias Gonzáles, J. L. (2020). *Proyecto de tesis Guía para la elaboración* (1a ed.). Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú. www.agogocursos.com
- Arnaiz, N. (2014). *Reciclaje de polímeros mediante la producción de materiales de alto valor añadido* [Universidad de Alicante]. <http://hdl.handle.net/10045/46553>
- Asenjo Cabrera, P. S. J., & Davila Vargas, V. M. I. (2020). *Diseño de un subdrén para*



- la evacuación de las aguas del subsuelo en la avenida Chiclayo en el tramo 0+000 km al 1+000 km, ubicado en el distrito José Leonardo Ortiz - provincia Chiclayo- departamento de Lambayeque.* Universidad de San Martín de Porres.
- ASTM C 192/C 192M. (2007). *Standard Practice For Making And Curing Concrete Test Specimens In The Laboratory.* American Society for Testing and Materials International.
- ASTM C 293/C 293M. (2003). *Método de ensayo estándar para la resistencia a la flexión del hormigón (utilizando una viga simple con carga en el punto central).* American Society for Testing and Materials International.
- ASTM C 33/C 33M. (2014). *Especificaciones Normalizadas para Agregados en Concreto.* American Society for Testing and Materials International.
- ASTM C 39. (2018). *Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto.* American Society for Testing and Materials International.
- ASTM C 78. (2002). *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading).* American Society for Testing and Materials International.
- Ávila, L., Martínez, G., Barrera, C., Ureña, F., & Loza, A. (2015). PET de desecho y su uso en concreto. In G. Martínez Barrera, J. B. Hernández Zaragoza, T. López Lara, & C. Menchaca Campos (Eds.), *Materiales sustentables y reciclados en la construcción* (pp. 95–122). OmniaScience. <https://doi.org/10.3926/oms.246>
- Awaja, F., & Pavel, D. (2005). Recycling of PET. *European Polymer Journal*, 41(7), 1453–1477. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2005.02.005>
- Beltrán, C., & Barbona, I. (2019). Contribución de la estadística en la investigación.



- Elementos básicos de inferencia estadística. *Revista de Epistemología y Ciencias Humanas*, 11, 1–14.
<http://rephip.unr.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/2133/14286/revistaepistemologia-r11-3.-c-beltran-i-barbona-2019.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Beltran, J. (2012). *Introducción a las Pruebas de Hipótesis* (1a ed.). UNAM-MEXICO.
- Braja M., D. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (4a ed.). Cengage Learning Editores, S.A.
- Caldeira, S., Martelo, L., & Mussato, E. (2021). *Estudo do comportamento de misturas de concreto com substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de garrafas pet*. Universidade de Brasil.
- Carcausto, Y., & Lanza, M. (2022). *Comportamiento mecánico y físico del concreto $f'c=210$ kg/cm² incorporado con fibras PET para un pavimento rígido, Puno, 2021*. Universidad César Vallejo.
- Castillo, L. M., & Trujillo, E. (2019). *Elaboración de concreto permeable con adición de material plástico reciclado para pavimentación en el distrito de Pariacoto-Ancash* [Universidad Nacional de Santa]. <https://hdl.handle.net/20.500.14278/3456>
- Castro Espinosa, M. L. (2011). *Pavimentos permeables como alternativa de drenaje urbano*. Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá.
- Castromente, F., Choques, J., Mateo, B., & Torres, K. (2020). *Propuesta de diseño de un pavimento permeable como un sistema innovador ecológico de drenaje en la ciudad de Huaraz-Huaraz-Ancash-2020*. Universidad César Vallejo.
- Caxi, D., & Mamani, A. (2021). *Estudio de la influencia del tereftalato de polietileno (PET) y polipropileno (PP) en concreto convencionales para su aplicación en pavimentos rígidos*. Universidad Peruana Unión.



- Chandrappa, A., & Biligiri, K. (2017). Flexural-fatigue characteristics of pervious concrete: Statistical distributions and model development. *Construction and Building Materials*, 153, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.081>
- Coico, C. (2023). *Evaluación de las propiedades físico-mecánicas del concreto permeable para pavimentos especiales incorporando fibra de polipropileno*. Universidad Señor de Sipán.
- Esquivel, P., & Ticliahuanca, M. (2019). *Resistencia y agrietamiento por contracción del concreto para pavimentos rígidos con incorporación de fibras pet*. Universidad Nacional de Jaén.
- Flores, C., & Pacompia, I. (2015). *Diseño de mezcla de concreto permeable con adición de tiras de plástico para pavimentos f'c 175 kg/cm² en la ciudad de Puno*. Universidad Nacional del Altiplano.
- García, E. (2011). *Control de escorrentías urbanas mediante pavimentos permeables: Aplicación en climas mediterráneos* [Universitat Politècnica de València]. <http://hdl.handle.net/10251/15383>
- García, J., & Areche, G. (2023). *Incidencia en la durabilidad del concreto diseñado con adición de PET (tereftalato de polietileno) al 0.1%, 0.5% y 1.0% respecto a uno convencional en elementos estructurales de viviendas en el distrito de Ancón - Lima*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Gomes, T., Visconte, L., & Pacheco, E. (2019). Life Cycle Assessment of Polyethylene Terephthalate Packaging: An Overview. *Journal of Polymers and the Environment*, 27(3), 533–548. <https://doi.org/10.1007/s10924-019-01375-5>
- Gómez, M. (2022). *Incremento de las prestaciones físico-mecánicas de un concreto permeable ante solicitaciones estáticas dopando la matriz con PET y microfibras*.



Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

- Guamán, C., & Pinenla, J. (2019). *Análisis de las propiedades Físico-Mecánicas de un hormigón elaborado con fibras recicladas de envases PET, con y sin aditivo plastificante*. Universidad Central del Ecuador.
- Guerra, C., & Guerra, P. (2020). Diseño de un pavimento rígido permeable como sistema urbano de drenaje sostenible. *Fides et Ratio - Revista de Difusión Cultural y Científica de La Universidad La Salle En Bolivia*, 20(20), 121–140.
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-081X2020000200008&lang=es
- Guerra, P. (2019). *Calidad en el drenaje y diseño de un pavimento rígido permeable con agregados de la cantera Isla, en las vías de la Villa Chullunquiani del sector noroeste de la ciudad de Juliaca*. Universidad Peruana Unión.
- Guyer, J. (2019). *An introduction to permeable concrete pavement*. Guyer Partners.
- Hanco, H. (2016). *Estudio y diseño del pavimento rígido en la Av. Perú de la ciudad de Juliaca, tramo I Jr. Mantaro - Jr. Francisco Pizarro*. Universidad Nacional del altiplano.
- Hernández, A., & Hernández, D. (2022). *Evaluación de la escorrentía en el concreto permeable adicionado con sustitución parcial de residuos de PET*. Universidad Cooperativa de Colombia.
- Hernández, R., Collado F, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6a ed.). Mc Graw Hill Education.
- Hilares, K., & Camacho, J. (2023). *Evaluación del comportamiento del concreto poroso permeable mediante la incorporación de plastómeros en el distrito de Chalhuanca, provincia de Aymaraes-Apurímac*. Universidad Nacional Micaela Bastidas de



Apurímac.

Huanca, J., & Auquitas, G. (2021). *Estadística Básica Descriptiva* (1a ed.). Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú.

Isidro, G. (2017). *Influencia de las fibras de polipropileno en las Propiedades del concreto $f'c$ 210 kg/cm²*. Universidad Nacional del Altiplano.

Jacinto, J. E. (2021). *Diseño de mezcla de concreto permeable utilizando diferentes porcentajes de agregado fino y aditivos en la ciudad de Chiclayo*. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.

López, C. (2016). *Reciclado del plástico [PET*] para la obtención de fibra textil*. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional - edUTecNe.

López, E. (2010). *Control de calidad y colocación de concretos permeables* [Universidad Nacional Autónoma de México].
<https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000657518>

Lopez, W. (2023). *Eficiencia del pavimento de concreto poroso como alternativa en el drenaje vial urbano del barrio la Capilla - Juliaca*. Universidad Nacional del Altiplano.

Mamani, H., & Valera, I. (2022). *Influencia de la adición de fibras de vidrio en las propiedades mecánicas e hidráulicas del concreto permeable $f'c=175$ kg/cm² empleado para pavimentos en la ciudad de Juliaca*. Universidad Nacional de Altiplano.

Medina, D. (2020). *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*. Universidad Privada del Norte.



- Molina, S., Vizcaino, A., & Ramírez, F. (2007). *Estudio de las características físico mecánicas de ladrillos elaborados con plástico reciclado en el municipio de Acacías Meta* [Universidad de la Salle]. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/284
- MTC. (2013). *Manual de Carreteras*. https://cdn-web.construccion.org/normas/files/tecnicas/Manual_Suelos_Pavimentos.pdf
- MTC. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual_Ensayo_de_Materiales.pdf
- Muñoz, L. (2012). *Estudio del uso del polietileno tereftalato (PET) como material de restitución en suelos de baja capacidad de carga*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Muñoz R., C. (2011). *Cómo elaborar y asesorar una investigación de Tesis* (2a ed.). Educación PEARSON.
- Navarro, M., & Leon, J. (2018). *Estudio y diseño de Pavimentos permeables para estacionamientos de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín*. Universidad Nacional de San Martín.
- NTP 339.088. (2019). *Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Pórtland. Requisitos*. Norma Técnica Peruana.
- NTP 400.012. (2018). *AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global*. Norma Técnica Peruana.
- Oyola R., B., & Romaní, Y. (2020). *Influencia de adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclable en las propiedades de concreto permeable para pavimento de tráfico liviano*. Universidad Peruana Unión.



- Pasquel, E. (1998). *Tópicos de tecnología del concreto en el Perú* (2a ed.). Colegio de Ingenieros del Perú.
- Paz, M. (2016). *Reciclado de PET a partir de botellas post consumo*. Universidad Nacional de Córdoba.
- Pomalaza, Á. (2021). *Aplicación de pavimentos de concreto poroso como alternativa de control de la acumulación de precipitaciones pluviales en la provincia de Huancayo en el año 2017* [Universidad Continental]. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/9778>
- Quenta, D. (2019). *Efecto del reciclado de las fibras de las botellas PET en las propiedades del concreto normal, Puno*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Rizvi, R., Tighe, S., Henderson, V., & Norris, J. (2009). Laboratory Sample Preparation Techniques for Pervious Concrete. *In: Proc 88th Annual Meeting Transportation Res Board; , October*, 1–16.
- Rodríguez, M. (2001). *Estudio de factibilidad técnico económico de una planta de reciclado de PET*. Universidad Nacional Andres Bello.
- Spalvier, A., Díaz, A., Marrero, I., Baliosian, T., Pielarisi, R., & Segura, L. (2021). *Recomendaciones sobre Pavimentos de Hormigón Permeable*. Grupo de Hormigón Estructural, Instituto de Estructuras y Transporte, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay.
- Tennis, P., Leminy, M., & Akers, D. (2004). *Pervious Concrete Pavements*. Portland Cement Association, and National Ready Mixed Concrete Association.
- Toro, J. (2004). *Aplicación para Polietileno Tereftalato (PET) reciclado* [Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/14671>



Villalba S., N. (2016). *Topografía Aplicada* (E. E. M. EIRL (ed.); 1a ed.).

Welle, F. (2015). The Facts about PET. *European Federation of Bottel Waters*.

<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3043.2726>



ANEXOS

ANEXO 1: Matriz de consistencia

ANEXO 2: Constancia del uso de laboratorio

ANEXO 3: Resultados de la caracterización de los agregados

ANEXO 4: Ensayo de suelos

ANEXO 5: Resultados de las propiedades mecánicas (compresión y flexión)

ANEXO 6: Resultados de las propiedades hidráulicas (permeabilidad)

ANEXO 7: Análisis estadístico

ANEXO 8: Prueba de hipótesis

ANEXO 9: Tabla de distribución t de Student

ANEXO 10: Determinación de la energía de compactación

ANEXO 11: Levantamiento topográfico

ANEXO 12: Diseño de pavimento método AASHTO 93

ANEXO 13: Sección del pavimento

ANEXO 14: Especificación Técnica de Geomembrana

ANEXO 15: Diseño de Sub Dren

ANEXO 16: Permiso de uso de vía

ANEXO 17: Certificado de calibración

ANEXO 18: Panel fotográfico



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo BLADIMIR JHALYNIO HUAYNASI PARI,
identificado con DNI 70855068 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERIA CIVIL

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
" EFFECTO DE LA ADICIÓN DE FIBRAS PET RECICLADAS EN LAS
PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DEL CONCRETO PERMEABLE
 $f'_c = 175 \text{ kg/cm}^2$ PARA PAVIMENTOS EN LA CIUDAD DE AYAVIRI "

Es un tema original.

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

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

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

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 16 de Julio del 20 24

FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo BLADIMIR JHADLYNIO HUAYNASI PARI,
identificado con DNI 70855068 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA CIVIL

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ EFFECTO DE LA ADICIÓN DE FIBRAS PET RECICLADAS EN LOS

PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO PERMEABLE

$f_c = 175 \text{ Kg/cm}^2$ PARA PAVIMENTOS EN LA CIUDAD DE AYAVIRI ”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 16 de Julio del 2024

FRMA (obligatoria)



Huella