

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Concreto permeable con adición de PET triturado para
pavimentos rígidos en aceras y ciclovías de la faja marginal
del tramo puente Independencia-Tramo Puente Hercca en
la ciudad de Sicuani**

Luis Milton Vargas Huaman
Elmer Rojas Huaman

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Cusco, 2025

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Eigner Roman Villegas
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 6 de marzo de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

Concreto permeable con adición de PET triturado para pavimentos rígidos en aceras y ciclovías de la faja marginal del tramo puente Independencia – tramo puente Hercca en la ciudad de Sicuani

Autores:

1. Luis Milton Vargas Huaman – EAP. Ingeniería Civil
2. Elmer Rojas Huaman – EAP. Ingeniería Civil

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 19 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI ☒ NO ☐
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (**en caso de elegir "SI"**):25 SI ☒ NO ☐
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI ☒ NO ☐

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

ÍNDICE

REPOSITORIO INSTITUCIONAL CONTINENTAL.....	II
INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN.....	16
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	17
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	17
1.1.1. Problema General	18
1.1.2. Problemas Específicos	18
1.2. Objetivos.....	19
1.2.1. Objetivo General.....	19
1.2.2. Objetivos Específicos	19
1.3. Justificación e importancia	19
1.3.1. Justificación por relevancia.....	19
1.3.2. Justificación por Viabilidad.....	19
1.3.3. Justificación Técnica.....	20
1.3.4. Justificación Social	20
1.4. Delimitación del proyecto	20
1.4.1. Espacial.....	20
1.4.2. Temporal	20
1.4.3. Social	20
1.4.4. Conceptual	20
1.5. Hipótesis y Variables.....	20
1.5.1. Hipótesis General	20
1.5.2. Hipótesis específicas	21
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	22

2.1. Antecedentes de la investigación	22
2.1.1. A nivel internacional	22
2.1.2. A nivel nacional	24
2.1.3. A nivel local.	25
2.2. Bases teóricas	27
2.2.1. Concreto permeable	27
2.2.2. Componentes del concreto permeable.	27
2.2.3. Propiedades del concreto permeable	30
2.2.4. Diseño de mezcla de un concreto.	34
2.2.5. Flujograma de toma de Muestras	44
2.2.6. Proceso de construcción del concreto permeable.	44
2.2.7. Beneficios y limitaciones del concreto permeable.	45
2.2.8. Tereftalato de polietileno	46
2.2.9. Diseño estructural del pavimento permeable	48
2.2.10. Estudio Geotécnico.	49
2.2.11. Estudio Topográfico.	49
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	50
3.1. Método tipo o alcance de la investigación	50
3.1.1. Tipo de investigación	50
3.1.2. Enfoque de la investigación	50
3.1.3. Diseño de investigación	50
3.1.4. Nivel o alcance de investigación	50
3.1.5. Población y muestra	51
3.2. Materiales y métodos	53
3.2.1. Fibras de tereftalato de polietileno (PET TRITURADO)	54
3.2.2. Técnicas e instrumentos de recolección	55
3.2.3. Recolección de datos	55
3.2.4. Instrumentos de recolección de datos	55
3.2.5. Procedimiento de recolección de datos	55
3.2.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	56
3.2.7. Diseño de mezclas final.	70
3.2.8. Resumen final de diseño	76
3.2.9. Tiempo de fraguado (Método de Vicat)	77
3.2.10. Ensayos realizados del Concreto Permeable.	80
3.2.11. Diseño Estadístico y Pruebas de Hipótesis	83
3.2.12. Prueba de hipótesis	86

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	88
4.1. Presentación de resultados.....	89
4.1.1. Resistencia a la compresión del concreto.....	89
4.1.2 Resistencia a la flexión del concreto permeable	97
4.1.3. Resultados de las pruebas Hidráulicas	105
4.1.4. Análisis estadístico	108
4.1.5. Análisis Inferencial.....	114
4.2 Discusiones y Resultados	124
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	126
5.1 Conclusiones	126
5.2 Recomendaciones	127
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	128
ANEXOS	131

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Norma ASTM C 33	28
Tabla 2 Compuestos principales del cemento e hidratación	29
Tabla 3 Clasificación de cementos	30
Tabla 4 Diseño de mezcla según su asentamiento	31
Tabla 5 Consistencia y asentamiento	35
Tabla 6 Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción	36
Tabla 7 Asentamiento	36
Tabla 8 Porcentaje de aire atrapado	37
Tabla 9 Relación agua / cemento y resistencia a la compresión del concreto	37
Tabla 10 Máxima relación agua / cemento permisible para concreto sometidos a condiciones especiales de exposición	38
Tabla 11 Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto	40
Tabla 12 Modulo de fineza de la combinación de agregados	41
Tabla 13 Porcentaje de agregado fino	42
Tabla 14 Beneficios y limitaciones del concreto permeable frente al concreto tradicional	45
Tabla 15 Beneficio de la producción del concreto permeable y el concreto convencional	46
Tabla 16 Propiedades intrínsecas del PET	47
Tabla 17 Propiedades químicas del PET	47
Tabla 18 Total de muestras para resistencia a compresión	52
Tabla 19 Total de muestras para resistencia a flexión	52
Tabla 20	52
Tabla 21 Operacionalización de variables	53
Tabla 22 Requerimientos normativos para un cemento de calidad IP - YURA	54
Tabla 23 Límites máximos permisibles para el agua de mezcla y curado	54
Tabla 24 Instrumentos de recolección de datos	55
Tabla 25 Resumen de resultados de los ensayos químicos	61
Tabla 26 Límites máximos permisibles	61
Tabla 27 Contenido de humedad agregado grueso	62
Tabla 28 Contenido de humedad agregado fino	62
Tabla 29 Peso unitario suelto del agregado fino	63
Tabla 30 Peso unitario suelto del agregado grueso	63
Tabla 31 Peso unitario varillado del agregado fino	64
Tabla 32 Peso unitario varillado del agregado grueso	64
Tabla 33 Agregado fino	65
Tabla 34 Datos agregado grueso	66
Tabla 35 Peso Específico y Absorción	66
Tabla 36 Granulometría del agregado fino	67
Tabla 37 Resumen de las propiedades de los agregados, cemento, agua	70
Tabla 38 Resistencia a la compresión promedio	70
Tabla 39 Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción	71
Tabla 40 Tabla de volumen unitario de agua	71
Tabla 41 Tabla de contenido de aire atrapado	72
Tabla 42 Tabla de relación agua-cemento por resistencia	72
Tabla 43 Volumen de agregado grueso por unidades de volumen de concreto	73

Tabla 44	<i>Resumen de pesos y volúmenes secos.....</i>	74
Tabla 45	<i>Pesos corregidos por humedad.....</i>	75
Tabla 46	<i>Resumen de diseño de mezcla</i>	76
Tabla 47	<i>Mezcla final diseñada con y sin inclusión de fibras PET</i>	76
Tabla 48	<i>Controles de tiempo de las penetraciones.....</i>	78
Tabla 49	<i>Propiedades físicas del cemento yura tipo I</i>	78
Tabla 50	<i>Valores de dispersión en el control del concreto.....</i>	85
Tabla 51	<i>Localización del Provincia de Canchis.....</i>	88
Tabla 52	<i>Resistencia a compresión: concreto patrón (CP).....</i>	89
Tabla 53	<i>Resistencia a compresión con adición de pet del 0.8%</i>	90
Tabla 54	<i>Resistencia a compresión con adición de pet del 1.20%</i>	90
Tabla 55	<i>Resistencia a compresión con adición de pet del 1.60%</i>	91
Tabla 56	<i>Resistencia a compresión con adición de pet del 2.00%</i>	91
Tabla 57	<i>Resistencia promedio a compresión del concreto permeable a los 7, 14 y 28 días</i>	92
Tabla 58	<i>Resistencia flexión del concreto patrón (VP)</i>	98
Tabla 59	<i>Resistencia a la flexión del concreto patrón con 0.80% de adición de pet triturado</i>	98
Tabla 60	<i>Resistencia a la flexión del concreto patrón con 1.20% de adición de pet triturado</i>	99
Tabla 61	<i>Resistencia a la flexión del concreto patrón con 1.60% de adición de pet triturado</i>	99
Tabla 62	<i>Resistencia a la flexión del concreto patrón con 2.00% de adición de pet triturado</i>	100
Tabla 63	<i>Resistencia promedio a la flexión del concreto permeable a los 7, 14 y 28 días</i>	100
Tabla 64	<i>Permeabilidad del concreto patrón</i>	105
Tabla 65	<i>Permeabilidad del concreto con adición del 0.80% de PET</i>	106
Tabla 66	<i>Permeabilidad del concreto con adición del 1.20% de PET</i>	106
Tabla 67	<i>Permeabilidad del concreto con adición del 1.60% de PET</i>	106
Tabla 68	<i>Permeabilidad del concreto con adición del 2.00% de PET</i>	107
Tabla 69	<i>Resultados descriptivos de los datos de la resistencia a la compresión-28 días</i>	108
Tabla 70	<i>Interpretación del coeficiente de variación estándar para grupos de control de la resistencia a la compresión-28 días controlando con el tabla N°45 Valores de dispersión.</i>	109
Tabla 71	<i>Resultados descriptivos de los datos de la resistencia a la flexión a los 28 días</i>	111
Tabla 72	<i>Interpretación del coeficiente de variación estándar para grupos de control de la resistencia a la Flexión -28 días controlando con el tabla N°45 Valores de dispersión.</i>	112
Tabla 73	<i>Prueba de Kolmogorov – Smirnov para resistencia a compresión</i>	115
Tabla 74	<i>ANOVA para Resistencia a la compresión (kg/cm2).....</i>	116
Tabla 75	<i>Subconjunto para $\alpha=0.05$ para compresión</i>	116
Tabla 76	<i>Interpretación de resultados por subconjuntos para compresión</i>	117
Tabla 77	<i>Prueba de Kolmogorov – Smirnov para resistencia a flexión</i>	118
Tabla 78	<i>ANOVA para Resistencia a la Flexión (kg/cm2).....</i>	119
Tabla 79	<i>Subconjunto para $\alpha=0.05$ para flexión</i>	120

Tabla 80 <i>Interpretación de resultados por subconjuntos para flexión</i>	120
Tabla 81 <i>Shapiro - Wilk para la permeabilidad</i>	122
Tabla 82 <i>ANOVA para Resistencia a la Permeabilidad</i>	122
Tabla 83 <i>Subconjunto para $\alpha=0.05$ para Permeabilidad (g/mm²).....</i>	123

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Ensayo a la compresión</i>	31
Figura 2 <i>Ensayo a la flexión</i>	32
Figura 3 <i>Equipo para medir la permeabilidad del concreto</i>	33
Figura 4 <i>Proporciona miento de agregados. Método Fuller</i>	39
Figura 5 <i>Flujograma toma de muestras</i>	44
Figura 6 <i>Ubicación geográfica de la cantera</i>	53
Figura 7 <i>Curva granulométrica: agregado fino</i>	68
Figura 8 <i>Granulometría del agregado grueso</i>	68
Figura 9 <i>Curva granulométrica agregado gruesa</i>	69
Figura 10 <i>Ensayo de resistencia a la flexión</i>	81
Figura 11 <i>Mapa Canchis-Sicuani</i>	88
Figura 12 <i>Área de estudio</i>	89

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Histograma Resistencia promedio a compresión del concreto permeable a los 7, 14 y 28 días.....	92
Gráfico 2 Curva de evolución de la resistencia a compresión del concreto permeable	93
Gráfico 3 Curva de Variabilidad de resistencia a la compresión entre CP y C 0.80%	94
Gráfico 4 Curva de Variabilidad de resistencia a la compresión entre CP y C 1.20% pet	95
Gráfico 5 Curva de Variabilidad de resistencia a la compresión entre CP y C 1.60% pet	96
Gráfico 6 Curva de Variabilidad de resistencia a la compresión entre CP y C 2.00% pet	97
Gráfico 7 Histograma Resistencia promedio a flexión del concreto permeable a los 7, 14 y 28 días	101
Gráfico 8 Curva de evolución de la resistencia a compresión del concreto permeable	101
Gráfico 9 Curva de Variabilidad de resistencia a la flexión entre VP y C 0.80%pet	102
Gráfico 10 Curva de Variabilidad de resistencia a la flexión entre VP y C 1.20%pet	103
Gráfico 11 Curva de Variabilidad de resistencia a la flexión entre VP y C 1.60%pet	104
Gráfico 12 Curva de Variabilidad de resistencia a la flexión entre VP y C 2.00%pet	105
Gráfico 13 Histograma de PERMEABILIDAD del concreto permeable.....	107
Gráfico 14 Curva de evolución de la PERMEABILIDAD del concreto permeable .	108
Gráfico 15 Interpretación de evolución de compresión	110
Gráfico 16 Interpretación de evolución de compresión	110
Gráfico 17 Interpretación de evolución de Flexión.....	113
Gráfico 18 Interpretación de evolución de Flexión.....	113
Gráfico 19 Histograma de resistencia compresión	114
Gráfico 20 Histograma de resistencia flexión.....	118
Gráfico 21 Histograma de Permeabilidad por absorción	121

RESUMEN

Nuestro país fue duramente golpeado en el año 2024 por precipitaciones altas, en la ciudad de Sicuani, la geomorfología induce a peligros de inundación, desbordamientos de ríos, crecimiento urbano desordenado genera inundaciones en vías, aceras y ciclovías, donde se verifica problemas de sistemas de drenaje pluvial y pendientes sin inclinaciones para evacuaciones de aguas pluviales. Se pretende el análisis el uso de concreto permeable en aceras y ciclovías en las franjas marginales del río Vilcanota de Sicuani.

El estudio del uso de concreto permeable en comparación con el concreto convencional en sus propiedades de resistencia a la compresión, flexión y permeabilidad, no solo induce a los beneficios por la utilización de concreto permeable, sino que además se adiciona el PET (tereftalato de Polietileno) reciclado y triturado para la elaboración de concreto permeable, el estudio metodológico es aplicada con un enfoque de investigación experimental.

El diseño de mezcla elaborado de 175kg/cm², con las pruebas de compresión el patrón llegó a 200.07 kg/cm². Se planteó 4 adiciones de PET al 0.8%, 1.2%, 1.6% y 2.0%. Se concluyó que las dosificaciones adecuadas son de 0.8% y 1.2% de PET, ya que las adiciones mencionadas se obtiene una resistencia de 194.71 kg/cm² y 180.39 kg/cm², cumplen el reglamento de aceras y ciclovías. Dichos resultados influyen, una mayor permeabilidad 2.114 ml/mm² y 2.416ml/mm² por ensayo de absortividad y la flexión es adecuada, teniendo resultados 24.45 mm y 27.68 para el 0.8% y 1.2% respectivamente.

Palabra clave: Concreto Permeable; (PET) Tereftalato de Polietileno; Aceras y Ciclovías

ABSTRACT

Our country was severely impacted in 2024 by heavy rainfall. In the city of Sicuani, the geomorphology contributes to flood risks, river overflows, and disordered urban growth, which causes flooding in roads, sidewalks, and bike lanes. Issues with storm drainage systems and insufficient slopes for rainwater evacuation have been identified. The analysis focuses on the use of permeable concrete for sidewalks and bike lanes in the marginal zones of the Vilcanota River in Sicuani.

The study examines the use of permeable concrete compared to conventional concrete in terms of compressive strength, flexural strength, and permeability. It not only highlights the benefits of permeable concrete but also incorporates recycled and crushed PET (Polyethylene Terephthalate) in its production. The methodological approach is experimental research.

The mix design was prepared for 175 kg/cm², with compression tests showing a pattern reaching 200.07 kg/cm². Four PET additions were proposed: 0.8%, 1.2%, 1.6%, and 2.0%. It was concluded that the appropriate dosages are 0.8% and 1.2% PET, as these additions yielded compressive strengths of 194.71 kg/cm² and 180.39 kg/cm², respectively, complying with regulations for sidewalks and bike lanes. These results also indicate higher permeability, with 2.114 ml/mm² and 2.416 ml/mm² in absorbency tests, and adequate flexural strength, with results of 24.45 mm and 27.68 mm for 0.8% and 1.2%, respectively.

Keywords: Permeable Concrete; PET (Polyethylene Terephthalate); Sidewalks and Bike Lanes.