

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**Evaluación de la resistencia a flexión y durabilidad en un pavimento rígido
utilizando fibras PET en zonas costeras Lambayeque 2022**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR

Anderson Frankzoe Fernandez Rubio

ASESOR

Atilio Ruben Lopez Carranza

<https://orcid.org/0000-0002-3631-2001>

Chiclayo, 2025

Evaluación de la resistencia flexión y durabilidad en un pavimento rígido utilizando fibras PET en zonas costeras Lambayeque 2022

PRESENTADO POR

Anderson Frankzoe Fernandez Rubio

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
Para optar el título de

INGENIERO CIVIL

APROBADO POR

César Eduardo Cachay Lazo

PRESIDENTE

Héctor Augusto Gamarra Uceda

SECRETARIO

Atilio Ruben Lopez Carranza

VOCAL

DEDICATORIA

La presente investigación está dedicada a Dios, que me ha dado inteligencia y sabiduría, y a mis padres, Moisés y Doraliza, que me han apoyado incondicionalmente y a diario, permitiéndome completar este trabajo.

AGRADECIMIENTO

A las personas que de alguna forma aportaron en la elaboración de esta tesis, a mis docentes por su orientación y conocimientos impartidos y a mi familia por la motivación constante.

INFORME DE ORIGINALIDAD

21 % INDICE DE SIMILITUD	20 % FUENTES DE INTERNET	2 % PUBLICACIONES	9 % TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
------------------------------------	------------------------------------	-----------------------------	---------------------------------------

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	9 %
2	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	2 %
3	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1 %
4	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
5	Submitted to Universidad Católica Boliviana "San Pablo" Trabajo del estudiante	<1 %
6	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %
7	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
8	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	<1 %
9	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
10	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	<1 %
11	Submitted to uni Trabajo del estudiante	<1 %
12	Submitted to Universidad Nacional de Trujillo	

ÍNDICE

Resumen	12
Abstract.....	13
Introducción.....	14
Revisión de la literatura.....	18
Antecedentes.....	18
Antecedentes Internacionales.....	18
Antecedentes nacionales	19
Bases teóricas – científicas.....	21
Pavimentos Rígidos	21
Las fibras	23
Tipos de fibras.....	23
Microfibras	23
Macrofibras	23
Fibras sintéticas.....	23
Tereftalato de polietileno (PET)	24
Propiedades y características químicas del PET	24
Estrategia de diseño	27
AASHTO 93	27
Portland Cement Association (PCA).....	35
Diseño de mezcla para concreto hidráulico.....	38
Comité 211 de American Concrete Institute (ACI)	38
Características de los agregados.....	44
NTP 400.017 (“Peso Unitario”)	44
NTP 400.022 (“Peso Específico – A. Fino”).....	45
NTP 400.021 (“Peso Específico – A. Grueso”)	45
NTP 339.185 (“Contenido de humedad”)	46
NTP 400.012 (“Granulometría”)	47

NTP 339.183 (“Elaboración y curado de especímenes”)	49
NTP 339.035 (“Asentamiento”)	50
NTP 339.077 Métodos (“Exudación del concreto”)	50
NTP 339.034 (“Resistencia a la compresión en muestras cilíndricas”)	52
NTP – 339.078 (Resistencia a la flexión)	53
ASTM C 1585 – 04 (Absorción de agua)	54
UNE – EN 12390 – 8 (“Profundidad de penetración de agua bajo presión”)	55
ASTM C 1579 (“Agrietamiento por concentración plástica”)	56
ASTM C 944 (“Resistencia a abrasión del concreto mediante el rodillo giratorio”)	56
UNE 83988 – 2 (“Resistividad eléctrica del concreto”)	57
ASTM C 1202 (Penetración de ion cloruro)	58
Materiales y métodos	59
Tipo y nivel de investigación	59
Diseño de la investigación	59
Población, muestra y muestreo	61
Población	61
Muestra	61
Muestreo	61
Criterios de selección	64
Procedimiento	65
Técnicas e instrumentos de recolección de datos	77
Resultados	82
Discusión	114
Conclusiones	118
Recomendaciones	121
Referencias	122
Anexos	126

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Granulometría de agregado fino para pavimentos de concreto hidráulico	22
Tabla 2: Granulometría del agregado grueso	26
Tabla 3: Número de repeticiones acumuladas por ejes equivalentes (8.2 Ton), en el carril de diseño	28
Tabla 4: Número de repeticiones acumuladas por ejes equivalentes (8.2 Ton), en el carril de diseño	28
Tabla 5: Número de repeticiones acumuladas por ejes equivalentes (8.2 Ton), en el carril de diseño	29
Tabla 6: Índice de serviciabilidad según rango de tráfico.....	29
Tabla 7: (Z_r) para periodos de 20 años según rango de tráfico.....	30
Tabla 8: CBR mínimo recomendado para la subrasante granular de pavimentos rígidos según intensidad de tráfico expresado en EE	32
Tabla 9: Valores recomendados de resistencia del concreto según rango de tráfico	32
Tabla 10: Condiciones de drenaje	34
Tabla 11: Coeficiente de drenaje "Cd" de las capas granulares	34
Tabla 12: Valores de coeficiente de transmisión de carga J.....	34
Tabla 13: Efecto de la subbase granular sobre los valores de k.....	37
Tabla 14: Valores de diseño para subbase tratada con cemento.....	37
Tabla 15: Resistencia a la compresión promedio requerida.....	38
Tabla 16: Asentamiento recomendado por tipo de construcción	39
Tabla 17: Volumen unitario de agua	40
Tabla 18: Volumen unitario de agua	40
Tabla 19: Contenido de aire atrapado	41
Tabla 20: Relación a/c por resistencia	41
Tabla 21: Relación a/c por durabilidad	42
Tabla 22: Peso del agregado grueso por unidad de volumen de concreto	43
Tabla 23: Tamaño de muestra del agregado.....	46
Tabla 24: Tamices para agregado fino	47
Tabla 25: Tamices para agregado grueso	48
Tabla 26: Límites granulométricos del agregado fino	48

Tabla 27: Cantidad mínima por muestra de agregado grueso.....	49
Tabla 28: Límites granulométricos - Agregado grueso.....	49
Tabla 29: Tiempo de tolerancia - Ensayo de compresión	52
Tabla 30: Riesgo de corrosión basado en los valores de resistividad eléctrica.....	57
Tabla 31: Contenido máximo de iones de cloruro	58
Tabla 32: MUESTRAS PARA ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	61
Tabla 33: MUESTRAS PARA ENSAYOS DE FISURACIÓN.....	62
Tabla 34: MUESTRAS PARA ENSAYOS DE ABRASIÓN	62
Tabla 35: MUESTRAS DE ENSAYO PARA EXUDACIÓN DEL CONCRETO	62
Tabla 36: MUESTRAS PARA ENSAYOS DE PENETRACIÓN DE AGUA	62
Tabla 37: MUESTRAS PARA ENSAYOS DE ABSORCIÓN DE AGUA	63
Tabla 38: Operacionalización de Variables.....	79
Tabla 39: Granulometría A. Fino	82
Tabla 40: Granulometría A. Grueso	83
Tabla 41: Resultado de los Agregados Naturales.....	83
Tabla 42: Materiales en condiciones secas para el diseño de mezcla	85
Tabla 43: Materiales en condiciones húmedas para el diseño de mezcla	85
Tabla 44: Dosificación en peso y volumen	86
Tabla 45: Dosificación en peso y volumen de PET	86
Tabla 46: Resultados de SLUMP	86
Tabla 47: Resultados resistencia a la compresión.....	88
Tabla 48: Resultados resistencia flexión.....	89
Tabla 49: Resultados de abrasión del concreto	90
Tabla 50: Resultados de fisuración del concreto	91
Tabla 51: Resultados de penetración de agua	92
Tabla 52: Resultados de absorción de agua	93
Tabla 53: Resultados de Resistividad Eléctrica	95
Tabla 54: Resultados de Penetración de Ion Cloruro.....	96
Tabla 55: Costo total de fibra PET al 2%	105
Tabla 56: Costo total de fibra PET al 3%	105
Tabla 57: Costo total de fibra PET al 4%	105

Tabla 58: Costo total - concreto estándar.....	106
Tabla 59: Costo total - PET 2% - AASHTO 93	107
Tabla 60: Costo total - PET 2% - PCA	107
Tabla 61: Costo total - PET 3% - AASHTO 93	108
Tabla 62: Costo total - PET 3% - PCA	108
Tabla 63: Costo total - PET 4% - AASHTO 93	108
Tabla 64: Costo total - PET 4% - PCA	108
Tabla 65: Comparación de costos de concreto estándar vs concreto reforzado - AASHTO 93	109
Tabla 66: Comparación de costos de concreto estándar vs concreto reforzado - PCA .	109
Tabla 67: Presupuesto para un diseño de concreto con adición de fibra PET	110
Tabla 68: VAN - AASHTO 93	111
Tabla 69: VAN - PCA	112
Tabla 70: Determinación del VAN.....	112

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1: Correlación CBR y módulo de reacción de la subrasante	31
Imagen 2: Correlación CBR y módulo de reacción de la subrasante	36
Imagen 3: Fibra PET	64
Imagen 4: Prototipo y proceso para la obtención del ancho de la fibra.....	66
Imagen 5: Prototipo y proceso para la obtención del largo de la fibra	66
Imagen 6: Peso unitario suelto y compactado A. fino	67
Imagen 7: Peso unitario suelto y compactado A. grueso	67
Imagen 8: Contenido de humedad A. fino y A, grueso	68
Imagen 9: Peso específico Absorción A. fino	69
Imagen 10: Peso específico Absorción A. grueso.....	69
Imagen 11: Análisis granulométrico A. fino	70
Imagen 12: Análisis granulométrico A. grueso.....	70
Imagen 13: Aplicación de la fibra PET	71
Imagen 14: Elaboración de probetas.....	71
Imagen 15: Elaboración de SLUMP	72
Imagen 16: Elaboración de exudación en el concreto	72
Imagen 17: Resistencia a compresión promedio de los diseños	73
Imagen 18: Resistencia a flexión promedio de los diseños	73
Imagen 19: Abrasión del concreto	74
Imagen 20: Fisuración del concreto.....	74
Imagen 21: Penetración de agua	75
Imagen 22: Absorción de agua.....	75
Imagen 23: Resistividad Eléctrica	76
Imagen 24: Penetración de ion cloruro	76
Imagen 25: Diagrama de flujo	80
Imagen 26: Matriz de consistencia	81

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Tipos de Fractura	53
Ilustración 2: Absorción inicial y absorción secundaria	54
Ilustración 3: Curva Granulométrica A. Fino	82
Ilustración 4: Curva Granulométrica A. Grueso	83
Ilustración 5: Comparación del asentamiento.....	87
Ilustración 6: Comparación de valores de resistencia a la compresión	88
Ilustración 7: Comparación de valores de resistencia a la flexión.....	90
Ilustración 8: Comparación de valores de abrasión del concreto	91
Ilustración 9: Comparación de valores de fisuración.....	92
Ilustración 10: Comparación de valores - Penetración de agua.....	93
Ilustración 11: Comparación de valores - Absorción de agua	94
Ilustración 12: Comparación de valores - Absorción de agua	94
Ilustración 13: Variación de valores - Resistividad Eléctrica	95
Ilustración 14: Comparación de datos - Penetración de ion cloruro.....	96
Ilustración 15: Comparación de datos - Penetración de ion cloruro.....	97
Ilustración 16: Comparación de datos calculados – Espesor de Pavimento	102
Ilustración 17: Comparación de datos asumidos – Espesor de Pavimento.....	102
Ilustración 18: Análisis de costo unitario - Concreto f'c 280 kg/cm ²	105

Resumen

Se tuvo como propósito evaluar el comportamiento del concreto hidráulico para el uso en pavimentos rígidos con $f'c$ 280kg/cm² añadiendo fibras de tereftalato de polietileno (PET) a la mezcla de concreto hidráulico en distintas proporciones (2%, 3% y 4%) respecto al peso del cemento empleado. Se evaluará tanto la resistencia flexión como durabilidad, además se analizará la rentabilidad económica al utilizar la adición de esta fibra, como también el diseño de un pavimento rígido aprovechando la fibra PET.

El método en este trabajo fue experimental, en la cual se efectuaron estudios de resistencia a la flexión; así como para los estudios por durabilidad se realizó desgaste por abrasión, exudación, fisuración por contracción plástica, penetración de agua y absorción de agua. Se determinó que al realizar el análisis por compresión la adición de fibra PET al 2% fue el único que cumplió respecto a las otras adiciones de fibra, al compararlo con el concreto estándar la resistencia a la flexión fue mayor, además de que disminuye los daños en fisuramiento por contracción plástica y fisuras por retracción, como también al realizar el diseño de la losa del pavimento rígido se reduce el costo del concreto; sin embargo, al realizar el análisis de abrasión la fibra PET aporta mayor desgaste; así como, un aumento de la permeabilidad y la absorción de agua.

Palabras Clave: Pavimento rígido, Tereftalato de Polietileno (PET), resistencia a la flexión, durabilidad, abrasión, exudación, fisuración, penetración de agua, absorción de agua.

Abstract

The purpose of this research is to evaluate the behavior of hydraulic concrete for use in rigid pavements with f_c 280kg/cm² by adding polyethylene terephthalate (PET) fibers to the hydraulic concrete mixture in different proportions (2%, 3% and 4%) with respect to the weight of the cement used. Both the flexural strength and durability of the concrete will be evaluated, and the economic profitability of using the addition of this fiber will also be analyzed, as well as the design of a rigid pavement using PET fiber.

The methodology used in this work has been experimental, in which flexural resistance studies were carried out; As well as for durability studies, wear due to abrasion, exudation, cracking due to plastic contraction, water penetration and water absorption were carried out. It was determined that when performing the compression analysis, the addition of 2% PET fiber was the only one that complied with respect to the other fiber additions, and when compared to standard concrete, the flexural resistance was greater, in addition to reducing the damage due to plastic contraction cracking and shrinkage cracks, as well as when designing the rigid pavement slab, the cost of concrete is reduced; However, when performing the abrasion analysis, the PET fiber provides greater wear; as well as, an increase in permeability and water absorption.

Keywords: Rigid pavement, Polyethylene Terephthalate (PET), flexural resistance, durability, abrasion, exudation, cracking, water penetration, water absorption.

Introducción

La construcción de infraestructuras viales es de vital importancia para que un país pueda desarrollarse, estas se iniciaron como una solución a las necesidades de comunicarnos entre poblaciones, dando origen al comercio e intercambio de productos y a medida que ha ido avanzando el desarrollo de la tecnología y estudios de infraestructura viales se han mejorado las vías, originándose los pavimentos con estructuras viales de capas superpuestas aportando velocidad, comodidad, reducción del tiempo, seguridad y desarrollo de un país, es decir, una estrategia respetuosa con el medio ambiente debe ir de la mano de los continuos avances en la tecnología de construcción de pavimentos.

A nivel del mundo debido a los fallos estructurales y al deterioro, el estado de los pavimentos, tanto flexibles como rígidos, provoca diversos problemas en la infraestructura viaria, haciendo imposible que la carretera se mantenga nivelada mientras está en uso.

Los pavimentos después de ser construidos están expuestos a distintos factores que influyen en su degradación inclusive antes de su uso los agentes atmosféricos perjudican a los pavimentos de acuerdo con su constitución y localización. Los pavimentos dependen de dos factores para su deterioro: factores pasivos (características de los pavimentos y calidad de la construcción) y factores activos (tránsito vehicular y agentes climáticos). [1]

En América Latina las vías no son ajenas a esta problemática, tal es el caso de Colombia que la mayor parte de la red vial está construida por pavimentos flexibles ya que son más económicos, sin tener en cuenta que estos pavimentos presentan problemas por variaciones de temperatura, precipitaciones, corrientes de agua, erosiones, a la creciente demanda de tráfico en las vías, entre otros.

En el Perú, las pocas pavimentaciones rígidas que se encuentran construidas en nuestro país no duran la cantidad de años para los que fueron diseñados, y la gran parte de ellas que se encuentran en zonas costeras, se encuentran en mal estado o en deterioro debido a la cercanía al mar, altas temperaturas de las zonas costeras, influyen en la inestabilidad del suelo y la exposición a sulfatos, dióxido de carbono y cloruros, añadiendo a los pavimentos de concreto no solo dichas exposiciones, sino también lo que provoca la presencia del fenómeno del niño en dichas zonas, como lo son inundaciones por falla de drenajes, deteriorando a un más este tipo de pavimentaciones. Pero el problema más resaltante es que no se lleva a cabo

un adecuado mantenimiento por parte de las autoridades ya que solo intervienen cuando el desgaste del pavimento es grave [2].

Lambayeque viene construyendo losas de pavimentos rígidos en diversas calles, sobre todo en zonas urbanas en crecimiento, para tener un mejor sistema de transporte y calidad de vida. Sin embargo, éstas no son ajenas a la problemática que presenta los pavimentos a nivel internacional y nacional por lo que se observa algunos pavimentos deteriorados presentando fisuras, grietas, elevaciones debido a algunos factores como: la creciente demanda del tráfico, el tiempo de uso, deficiencia en los estudios de ingeniería, cercanía al mar, las altas temperaturas costeras, entre otros. En tal sentido el propósito de este estudio es la reutilización del tereftalato de polietileno (PET) como aditivo en concretos rígidos para mejorar la perdurabilidad y la potencia flexión de este tipo de pavimentos, así como, darle un uso adecuado al material reciclado de las botellas plásticas con PET, actuando positivamente en la descontaminación y l de vida dentro de la población, debido a que la región Lambayeque presenta serios problemas de crisis ambiental por el gestión deficiente de los residuos sólidos [3].

Ante la problemática se fórmula la siguiente interrogante: ¿Cómo influye las fibras PET en la resistencia flexión y durabilidad de un pavimento rígido en las zonas costeras de Lambayeque? Y como hipótesis: “La incorporación de fibras PET influirá positivamente la resistencia flexión y durabilidad del pavimento rígido en zonas costeras de Lambayeque”.

La justificación de este estudio radica en promover y fomentar la utilización de pavimentos rígidos incorporando fibras de PET recicladas en mezclas de concreto de las diferentes obras civiles de nuestro país con el objeto de reforzar el conceto hidráulico y producir mezclas más duraderas para reducir el deterioro temprano de la superficie de los pavimentos e incluso aumentar su durabilidad sobre todo en las zonas costeras de Lambayeque ya que las fibras PET (tereftalato de polietileno) posee propiedades de alta compatibilidad con el concreto, de este modo se consiguió la posibilidad de mejorar los parámetros de resistencia flexión y durabilidad del concreto. Por otro lado, el PET tiene propiedades físico-mecánicas resistentes, procesables con la larga duración con más de 500 años para su descomposición, teniendo en cuenta que es una materia prima derivada del petróleo funcionando como barrera para líquidos y gases, debido a que este material tiene baja absorción de líquidos [4].

Así mismo esta investigación busca contrarrestar y remediar los problemas ambientales, debido a que en nuestro país y el mundo la producción excesiva de residuos sólidos está generando la contaminación del medio ambiente, siendo cada vez mayor y perjudicial debido a que muchos de ellos son contaminantes no biodegradables como los residuos plásticos que es uno de los materiales más destacados y que en estos tiempos es un problema que se debe enfrentar, debido a que su proceso de degradación es extremadamente largo, por lo que es esta investigación se está reutilizando las botellas plásticas que contengan tereftalato de polietileno (PET), desechadas en gran cantidad dentro de la región Lambayeque y éstas son cosechadas por las plantas recicladoras, dándole un bajo costo por kilogramo de S/. 0.60, el resultado es una adición rentable y sencilla a una mezcla de hormigón que ayuda a la economía del país al producir hormigón con las cualidades adecuadas para su empleo en pavimentos rígidos y tener un impacto medioambiental beneficioso.

Frente a los típicos problemas que presentan los pavimentos tanto flexibles como rígidos a nivel del estado peruano, se busca promover el uso de nuevas técnicas modernas aplicadas en pavimentos introduciendo en el mercado de la construcción la utilización de fibras poliméricas para modificar la composición de las mezclas de concreto, a tal sentido darle mayor resistencia, durabilidad, entre otras características y de esa manera se estará aportando con conocimientos sobre este tipo de pavimentaciones a la población, profesionales y estudiantes de ingeniería civil, docentes u otros, ya que las pavimentaciones flexibles construidas en el entorno peruano tienen corta duración, produciendo pérdidas económicas al país, y pueden estar ligado no solo al mal diseño de una pavimentación flexible. Sino a la mala elección del tipo de pavimentación que se construye, ya que nunca se toman en cuenta aspectos importante como su rentabilidad y su ubicación.

Esta investigación tiene como objetivo general: “Evaluar la resistencia flexión y durabilidad de un pavimento rígido convencional con adiciones de fibras PET a distintos porcentajes para un $f'c$ 280kg/cm² en zonas costeras de Lambayeque”. Además, para desarrollar el objetivo general, fue necesario cumplir con los siguientes objetivos específicos: Identificar y caracterizar el PET para usar en pavimentos rígidos en zonas costeras de Lambayeque, Verificar la resistencia flexión bajo la influencia del PET para un concreto $f'c$ 280kg/cm², Verificar la durabilidad bajo la influencia del PET para un concreto $f'c$ 280kg/cm², Evaluación del resultado de resistencia flexión, durabilidad con respecto al

concreto convencional, Diseñar un pavimento rígido aprovechando tereftalato de polietileno bajo las normativas AASHTO (1993) y PCA, Evaluar la rentabilidad económica del uso del PET en pavimentos rígidos.

El objetivo general y los objetivos específicos han sido formulados de manera precisa para asegurar un desarrollo adecuado de la investigación; además, estos se articulan entre sí y siguen una secuencia lógica de ejecución. Así mismo se realizó diversas pruebas en laboratorio para determinar el comportamiento del concreto con adiciones de fibras PET a fin de verificar la conveniencia de uso en la construcción de vías con pavimento rígido ofreciendo durabilidad y resistencia flexión, especialmente en las vías de las zonas costeras de Lambayeque.

Revisión de la literatura

Antecedentes

Antecedentes Internacionales

Según Lima & Lasducci [5] en su investigación tiene como fin realizar un estudio que analiza el comportamiento de un concreto con adiciones de fibras PET con intervalo de 3 cm y 5 cm con peso de 4 kg/m³, mediante de probetas y vigas para un $f'c$ de 210kg/cm² y 350kg/cm², estos serán comparados con un diseño patrón. Al analizar el asentamiento se pudo observar que hay disminución respecto al diseño patrón; al observar, el análisis a compresión muestra que el concreto con adición de fibra PET obtuvieron menores resistencias que el concreto convencional. Además, se logró obtener mayor resistividad a flexión con adición de fibras PET de 3 cm logró la obtención de un incremento en la resistencia a la flexión, obteniendo un valor de módulo de rotura (MR) de 4.47 MPa para un $f'c$ de 210 kg/cm² y un MR=4.99 MPa para un $f'c$ de 350 kg/cm².

Uchechukwu et al. [6], evaluó los impactos de PET como sustituto parcial del agregado fino en la trabajabilidad, las propiedades mecánicas, económicas del concreto; se cambió la solución fina en porcentajes de 100%, 40%, 30% 20% y 10%. En pruebas de trabajabilidad se halló el SLUMP para cada diseño, dando un aumento continuo hasta el reemplazo del 40% después del cual la trabajabilidad disminuyó con un asentamiento superior a 100 mm (0% PET – 3cm, 10% PET – 4.5 cm, 20% PET – 6 cm, 30% PET – 10 cm, 40% PET 10.5 cm, 100% PET – 4 cm). Capacidad de soportar cargas de compresión, los diseños con PET a los 7 días alcanzaron la resistencia objetiva y no alcanzaron la resistencia al llegar los 28 días.

Salhotra, Khitoliya y Kumar [7], tiene como finalidad incorporar fibras PET dentro de la mezcla de concreto hidráulico en 3%, 6%, 9%, 12%, fibras recubiertas con una mezcla mineral de humo de sílice y fibras de desecho ordinario. Los ensayos de compresión se efectuaron después de 7 y 28 días de curado muestran que los diseños con fibra obtuvieron menores resultados que el concreto de control sobresaliendo el diseño con incorporación al 3% siendo los valores a los 7 días Concreto control 35.78 MPa, fibra sin recubrimiento 33.65 MPa, fibra con recubrimiento 34.56 MPa; a los 28 días Concreto control 52.67 MPa, fibra sin recubrimiento 46.45 MPa, fibra con recubrimiento 48.45 MPa. Resistencia a flexión a los 28 días se pudo observar que la muestra de control alcanzó 6.35 MPa, los diseños con

incorporación de fibra al 3% obtuvieron mejores resultados, fibra sin recubrimiento 6.196 MPa, fibra con recubrimiento 6.32 MPa.

Antecedentes nacionales

Bartolomé y López [8] al realizar su investigación tienen como propósito determinar en qué manera influye las fibras recicladas PET adicionadas en proporciones de 0.5%, 1% y 2% respecto al volumen de la muestra en las características del concreto autocompactante en la ciudad de Huaraz, estas muestras se ensayaron a periodos de 7, 14 y 28 días en concreto de $f'c$ 280kg/cm². Se llegaron a obtener resultados a compresión menores a su concreto de control (Patrón - 345.59 kg/cm², 0.5% PET – 302.88 kg/cm², 1%PET – 300.14 kg/cm², 2% PET – 230.17 kg/cm²) siendo menor el testigo con proporciones de PET al 2%, con el ensayo de escurrimiento se obtuvo un mayor de tiempo con la probeta que tuvo 2% de PET (6.35 seg - 714.50 mm) mientras que el patrón fue más bajo (4.30 seg – 749.60 mm), en densidad se obtuvo mejor resultado con la adición de 0.5% de PET (2397.5 kg/cm³).

Caxi & Mamani [9] en la elaboración de su estudio científico plantean el análisis comparativo del efecto del PET, PP y su mezcla; a tal sentido de analizar el comportamiento adicionado a un concreto convencional. Para la obtención de datos se reemplazó los polímeros PET en 2%, 4% y 6% - PP en 0.5%, 1% y 1.5% respecto al peso del agregado. Se pudo obtener que la fibra PET le da menor trabajabilidad a la mezcla de concreto, esto con respecto a la muestra de control (SLUMP: Patrón 3.4 in “AF”: PET 2% - 2.7 in, PET 4% - 2.2 in, 6% - 1.8 in “AG”: PET 2% - 2.8 in, PET 4% - 2.4 in, 6% - 2 in). Resistencia a la compresión del diseño con fibra PET a los 7 días de curado alcanzó mejores resultados que el patrón esto para porcentajes de 2% y 4% (Patrón 147 kg/cm² “AF”: PET 2% - 153.5 kg/cm², PET 4% - 151.49 kg/cm², 6% - 124.99 kg/cm² “AG”: PET 2% - 148.11 kg/cm², PET 4% - 139.49 kg/cm², 6% - 114.34 kg/cm²) y al llegar a los 28 días de curado solo el diseño patrón pudo llegar al $f'c$ requerido (Patrón 236.46 kg/cm² “AF”: PET 2% - 202.12 kg/cm², PET 4% - 177.20 kg/cm², 6% - 140.75 kg/cm² “AG”: PET 2% - 203.30 kg/cm², PET 4% - 194.82 kg/cm², 6% - 137.90 kg/cm²). Resistencia a la flexión, los diseños con fibra PET a los 28 días de curado alcanzaron mejores resultados con respecto al diseño de control (Patrón 38.851 kg/cm² “AF”: PET 2% - 65.41 kg/cm², PET 4% - 93.26 kg/cm², 6%

- 75.27 kg/cm² “AG”: PET 2% - 83.209 kg/cm², PET 4% - 91.980 kg/cm², 6% - 71.039 kg/cm²).

Surichaqui, Quispe, Taípe & Quispe [10], en su trabajo investigativo orientado al estudio de fibras PET en pavimentos rígidos con $f'c$ 350 kg/cm², la incorporación de esta fibra fue de 1.50 kg/m³, 2 kg/m³ y 2.50 kg/m³. Al realizar el ensayo de compresión a los 7 días de curado, los diseños con adición de fibra PET tuvieron una mejor resistencia inicial teniendo en cuenta al diseño patrón (Patrón - 217 kg/cm², PET 1.50 – 255 kg/cm², PET 2 – 242 kg/cm², PET 2.50 – 257 kg/cm²) y al llegar los 28 días de curado solo el concreto sin fibra alcanzó la resistencia requerida por diseño (Patrón – 356 kg/cm², PET 1.50 – 291 kg/cm², PET 2 – 318 kg/cm², PET 2.50 – 313 kg/cm²). Respecto a resistencia a la flexión se pudo evidenciar que a los 28 días de curado el concreto con adición de 2 kg/m³ obtuvo los mejores resultados (Patrón – 38.095 kg/cm², PET 1.50 – 35.676 kg/cm², PET 2 – 40.816 kg/cm², PET 2.50 – 33.374 kg/cm²).

Valer [11] en su estudio tuvo como propósito optimizar el desempeño del concreto hidráulico a través de la implementación de fibras plásticas PET en 2 %, 5 %, 7.5 % respecto al peso de cemento. Estas fibras fueron de dimensiones de espesor 0.08 mm, ancho 3 mm y largo 40 mm. Los resultados se pudieron obtener con ensayos de laboratorio, dando que el concreto con adición al 5% de PET evidenció un desempeño de 1.42% en cuanto a la resistencia a la compresión [11].

Bases teóricas – científicas

Pavimentos Rígidos

Los pavimentos rígidos tienen esta denominación debido a que están conformadas por una losa de concreto hidráulico con o sin acero de refuerzo. Estas losas están apoyadas de forma directa sobre la subrasante con material especificado [12].

Losa de concreto hidráulico

Genera una uniforme superficie, brindando estabilidad al tráfico, teniendo la capacidad de resistir a los efectos de abrasión generados por este; la losa, debe cumplir en lo posible el paso del agua y en su función estructural soporta y transmite adecuadamente los esfuerzos que se le apliquen [12].

Subbase

Su función con mayor importancia es el impedimento a la acción de Impulso hacia juntas, fisuras y bordes del pavimento; además, funciona como una capa intermedia, brindando un soporte uniforme, sólido y duradero al pavimento. También contribuye a un mejor drenaje y disminuye la acumulación de agua debajo de la superficie pavimentada [12].

Concreto

Mezcla uniforme conformado por agua, cemento, agregado grueso (piedra chancada), agregado fino (arena) y aditivos si es que se requiere [13].

Cemento

Es el que se debe usar y debe cubrir las especificaciones de las normas: NTP (334.009, 334.090, 334.050, 334.082), ASTM 1157 y AASHTO (M85, M 240, M 307, M321) o ASTM – C 150 [13].

Cabe señalar que está estrictamente prohibido utilizar cementos ya endurecidos o que ya no se encuentren dentro de su vigencia. También se exige una cantidad reducida de 300 kg por cada porción de 1 m³ de agua, es decir, una relación máxima de un medio [13].

Agua

Debe mantenerse limpia y sin residuos de material álcalis y de cualquier otra sustancia, se debe tener en cuenta que el pH debe estar entre 5.5 y 8; además, el contenido de sulfatos no debe superar las 3000 ppm. El agua potable se considera apropiada sin llevar a cabo mediciones para sulfatos y pH [13].

Agregado Fino

Cualquier material que pueda pasar por el tamiz N°4 (4,75 mm) puede utilizarse para el proyecto; por ejemplo, grava, escoria de acero, rocas rotas y arenas naturales [13].

El manual de carreteras menciona que El agregado debe ajustarse a la granulometría especificada (ver tabla 1), asegurándose de que la distribución de tamaños del diseño de la mezcla no supere el 45% del material retenido entre dos tamices sucesivos. Además, lo ideal es un módulo de finura entre 2,3 y 3,1[13].

Tabla 1: Granulometría de agregado fino para pavimentos de concreto hidráulico

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA
NORMAL	ALTERNO	
9.5 mm	3/8"	100
4.75 mm	N.º 4	95 – 100
2.36 mm	N.º 8	80 – 100
1.18 mm	N.º 16	50 – 85
600 µm	N.º 30	25 – 60
300 µm	N.º 50	10 – 30
150 µm	N.º 100	2 – 10

Fuente: [13]

Agregado grueso

Corresponde a todo material que queda retenido en el tamiz N°4 (4.75 mm), el cual debe originarse principalmente de la trituración de grava, roca o una mezcla de ambos. Los fragmentos deben ser limpios, sólidos y duraderos, y no deben poseer una cantidad excesiva de partículas planas, frágiles, alargadas o que se desintegren fácilmente [13].

La gradación del agregado grueso se deberá ajustar a la Tabla 2, teniendo en cuenta que tamaño máximo nominal no debe pasar un tercio del espesor del pavimento [13].

Las fibras

Las mezclas de hormigón hidráulico se ven muy afectadas por la adición de fibras como refuerzo. Antes de que se inventaran el cemento Portland y el hormigón, al adobe se le añadía hierba, hilo e incluso pelo de animal para evitar que se agrietara. Sin embargo, se han desarrollado nuevas técnicas con la llegada de la industria, como también nuevos materiales para ser empelados en la mezcla de concreto hidráulico; se tiene como materiales mayormente usados al polietileno, acero, polipropileno, carbono, entre otros [14].

Al usar fibras se tiene ventajas como:

- Reduce la fisuración por revenimiento (asentamiento)
- Aumenta la resistencia por abrasión y al impacto
- Reduce fisuración por contracción plástica

Tipos de fibras

Microfibras

Las microfibras regularmente son de plástico, polietileno nylon, polipropileno; estas ayudan con la reducción de segregación en la mezcla de concreto hidráulico, además de prevenir las fisuras. La longitud de la microfibra oscila entre 12 – 75 mm [14].

Macrofibras

Las microfibras suelen estar compuestas de vidrio, acero, materiales sintéticos o naturales, y se emplean como refuerzo al distribuirse de forma aleatoria en todo el elemento estructural. Estas fibras actúan de manera similar a una malla electrosoldada o a varillas de refuerzo, contribuyendo a incrementar tenacidad y la capacidad del material después de que se presenten grietas. Una de las ventajas del hormigón reforzado hidráulicamente con fibras es su mayor resistencia a la fatiga y v. En cambio, las dimensiones de las macrofibras oscilan entre 0,25 y 1,5 mm de diámetro y entre 13 y 70 mm [14].

Fibras sintéticas

Según Silva [15], Las fibras sintéticas contribuyen beneficios al concreto hidráulico ya sea en estado plástico como también en estado endurecido, de los cuales se pueden recalcar:

- Distribución homogénea en toda la masa provee al concreto refuerzo tridimensional distribuyendo los esfuerzos uniformemente, a tal sentido de disminuir la fisuración por contracción plástica.
- Mayor resistencia del concreto hidráulico al impacto y a la fatiga.
- Proporciona soporte al concreto en superficies inclinadas.
- Minimiza los desperdicios por traslapes, procesos de corte y figuración.
- Disminuye el riesgo por corrosión, debido a que es menor la permeabilidad.
- Las fibras sintéticas son compatibles con cualquier aditivo y la química de los cementos.

Gracias a las fibras sintéticas el concreto hidráulico tiene grandes beneficios, ya sea en estado plástico como en estado endurecido. Se debe tener en cuenta que no aportan mayor resistencia estructural o como remplazo de cualquier refuerzo estructural de acero [15].

Tereftalato de polietileno (PET)

El polímero en cuestión es reconocido por su liviandad y su elevada resistencia mecánica a la presión. El origen de este material se deriva del petróleo crudo, el gas natural y el aire. Un kilogramo de polietileno tereftalato (PET) se compone de un 64% de petróleo, un 23% de gas natural licuado y un 13% de aire [16].

El PET es una de las fibras más relevantes dentro de la industria, debido a su alto rendimiento y bajo costo; gracias a que se puede reciclar es una de las opciones más apetecibles para la elaboración de fibras de alta resistencia [17].

Considerando las propiedades y características del PET, es apropiado el estudio sobre el comportamiento que tiene al ser integrado en el concreto, debido a que sus fibras son poco susceptibles a la corrosión por ser polimérica. Además, ofrecen mayor resistencia a la tracción. Es importante recalcar que las fibras PET pueden ser clasificadas como microfibras o macrofibras [18].

Propiedades y características químicas del PET

El PET posee una alta resistencia al aislamiento térmico, buena densidad, excelente aislamiento eléctrico, y gran tolerancia a álcalis, disolventes y ácidos, lo que lo garantiza su idoneidad para su incorporación en mezclas de concreto.

Adicionalmente, ofrece destacadas propiedades como resistencia al desgaste, estabilidad química, buen desempeño frente a esfuerzos mecánicos, un coeficiente de deslizamiento favorable y adecuadas características térmicas [19].

Las botellas elaboradas con tereftalato de polietileno (PET), brindan ciertos beneficios al ser unidos con otros materiales; en el caso de ser unido al concreto, aporta resistencia mayor a flexión y compresión, comprado con un concreto de cemento portland convencional [20].

Tabla 2: Granulometría del agregado grueso

HUSO	TAMAÑO NOMINAL (TAMICES CON ABERTURAS CUADRADA)	PORCENTAJE QUE PASA													
		100 mm (4 plg)	90 mm (3 ½ plg)	75 mm (3 plg)	63 mm (2 ½ plg)	50 mm (2 plg)	37,5 mm (1 ½ plg)	25 mm (1 plg)	19 mm (¾ plg)	12,5 mm (½ plg)	9,5 mm (¾ plg)	4,75 mm (N.º 4)	2,36 mm (N.º 8)	1,18 mm (N.º 16)	300 µm (N.º 50)
1	90 a 37,5 mm (3 ½ a 1 ½ plg)	100	90 – 100	-	25 - 60	-	0 – 15	-	0 – 5	-	-	-	-	-	-
2	63 a 37,5 mm (2 ½ - 1 ½ plg)	-	-	100	90 – 100	35 - 70	0 – 15	-	0 – 5	-	-	-	-	-	-
3	50 a 25 mm (2 - 1 plg)	-	-	-	100	90 – 100	35 – 70	0 – 15	-	0 – 5	-	-	-	-	-
357	50 a 4,75 mm (2 plg - N.º 4)	-	-	-	100	95 – 100	-	35 – 70	-	10 – 30	-	0 – 5	-	-	-
4	37,5 a 19 mm (1 ½ - ¾ plg)	-	-	-	-	100	90 – 100	20 – 55	0 – 15	-	0 – 5	-	-	-	-
467	37,5 a 4,75 mm (1 ½ - N.º 4)	-	-	-	-	100	95 – 100	-	35 – 70	-	10 – 30	0 – 5	-	-	-
5	25 a 12,5 mm (1 - ½ plg)	-	-	-	-	-	100	90 – 100	20 – 55	0 – 10	0 – 5	-	-	-	-
56	25 a 9,5 mm (1 - ¾ plg)	-	-	-	-	-	100	90 – 100	40 – 85	10 – 40	0 – 15	0 – 5	-	-	-
57	25 a 4,75 mm (1 plg - N.º 4)	-	-	-	-	-	100	95 – 100	-	25 – 60	-	0 – 10	0 – 5	-	-
6	19 a 9,5 mm (¾ - ¾ plg)	-	-	-	-	-	-	100	90 – 100	20 – 55	0 – 15	0 – 5	-	-	-
67	19 a 4,75 mm (¾ plg - N.º 4)	-	-	-	-	-	-	100	90 – 100	-	20 – 55	0 – 10	0 – 5	-	-
7	12,5 a 4,75 mm (½ plg - N.º 4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90 – 100	40 – 70	0 – 15	0 – 5	-	-
8	9,5 a 2,36 mm (¾ plg - N.º 8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 – 100	10 – 30	0 – 10	0 – 5	-
89	9,5 a 1,18 mm (¾ plg - N.º 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90 – 100	20 – 55	5 – 30	0 – 10	0 – 5
9A	4,75 a 1,18 mm (N.º 4 - N.º 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 – 100	10 – 40	0 – 10	0 – 5

Fuente: [13]

Estrategia de diseño

En el diseño se emplearán los métodos sugeridos por la Portland Cement Association (PCA) y AASHTO 93

AASHTO 93

El enfoque AASHTO 93 se presenta en la norma American Association of State Highway and Transportation Authorities (AASHTO) para el diseño de firmes rígidos. Según esta estrategia, el firme de una nueva construcción proporciona un elevador servicio al principio, pero con el paso del tiempo y como consecuencia de las cargas de tráfico recurrentes, el nivel de servicio disminuye [21].

AASHTO 93 establece un nivel de servicio final, que debe ser mantenido al terminar con el periodo de diseño.

Según el MTC [21], AASHTO 93 plantea la siguiente ecuación:

$$\text{Log}_{10}W_{82} = Z_R S_0 + 7.35 \text{Log}_{10}(D + 25.4) - 10.39 + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}\right)}{1 + \frac{1.525 * 10^{19}}{(D + 25.4)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P_t) * \text{Log}_{10}\left(\frac{M_r C_d (0.09D^{0.75} - 1.132)}{1.51 * J \left(0.09D^{0.75} - \frac{7.38}{\left(\frac{E_c}{k}\right)^{0.25}}\right)}\right)$$

Dónde: W82 (número estimado de ejes equivalentes de 8.2 toneladas métricas durante el período de diseño), ZR (desviación estándar normal), S0 (error estándar combinado en la predicción del tráfico en la variación del comportamiento esperado del pavimento), D (espesor del pavimento de concreto en milímetros), ΔPSI (diferencia entre los índices de servicio inicial y final), Mr (resistencia media del concreto a la flexión a los 28 días en MPa), Cd (coeficiente de drenaje), J (coeficiente de transmisión de carga de las juntas), Ec (módulo de elasticidad del concreto en MPa), K (módulo de reacción de la superficie sobre la cual se apoyará el pavimento de concreto en MPa/m).

AASHTO 93 da unas cuantificaciones que entran en su diseño, las cuales son:

Periodo de diseño

La planificación de pavimentos rígidos se realizará para un mínimo de tiempo de 20 años. Si este requiere un ajuste, el ingeniero de diseño podrá realizarlo teniendo en cuenta las condiciones específicas solicitadas en el proyecto y las exigencias de la entidad [21].

Variables

Tránsito (ESALs)

Hace referencia a que la cantidad de tránsito está asociado con el periodo de diseño (mínimo 20 años).

El método AASHTO 93 se distingue por simplificar el impacto del tránsito mediante la incorporación del concepto de ejes equivalentes. Esta técnica transforma las cargas de los ejes generadas por cualquier tipo de vehículo en un número equivalente de ejes simples de 8.2 ton, proceso que se denomina ESALs (equivalent single axle load) [21].

Según el MTC [21], hay tres tipos de categorías para tráfico y diseño de pavimentos rígidos.

- Vías con bajo flujo de tráfico, cuyo rango de ejes equivalentes se encuentra entre 150,001 EE y 1000000EE, considerando el carril y el período de diseño (ver Tabla 3).

Tabla 3: Número de repeticiones acumuladas por ejes equivalentes (8.2 Ton), en el carril de diseño

TIPOS DE TRÁFICO PESADO	RANGOS DE TRÁFICO PESADO
T _{P1}	> 150 000 EE ≤ 300 000 EE
T _{P2}	> 300 000 EE ≤ 500 000 EE
T _{P3}	> 500 000 EE ≤ 750 000 EE
T _{P4}	> 750 000 EE ≤ 1 000 000 EE

Fuente: [21]

- Caminos con tránsito en un rango de 1000001EE – 30000000EE, en el carril y periodo de diseño (ver Tabla 4).

Tabla 4: Número de repeticiones acumuladas por ejes equivalentes (8.2 Ton), en el carril de diseño

TIPOS DE TRÁNSITO PESADO	RANGO DE TRÁFICO PESADO
T _{P5}	> 1 000 000 EE ≤ 1 500 000 EE
T _{P6}	> 1 500 000 EE ≤ 3 000 000 EE
T _{P7}	> 3 000 000 EE ≤ 5 000 000 EE
T _{P8}	> 5 000 000 EE ≤ 7 500 000 EE
T _{P9}	> 7 500 000 EE ≤ 10 000 000 EE
T _{P10}	> 10 000 000 EE ≤ 12 500 000 EE
T _{P11}	> 12 500 000 EE ≤ 15 000 000 EE
T _{P12}	> 15 000 000 EE ≤ 20 000 000 EE
T _{P13}	> 20 000 000 EE ≤ 25 000 000 EE
T _{P14}	> 25 000 000 EE ≤ 30 000 000 EE

Fuente: [21]

Camino con tránsito mayor a 30000000EE, el carril y periodo de diseño. No están incluidos en el manual del MTC; el diseño del pavimento será estudiado por el

ingeniero proyectista al realizar análisis diversos en las alternativas de pavimentos, este deberá justificar su solución.

Tabla 5: Número de repeticiones acumuladas por ejes equivalentes (8.2 Ton), en el carril de diseño

TIPO DE TRÁFICO PESADO	RANGO DE TRÁFICO PESADO
T _{P15}	> 30 000 000 EE

Fuente: [21]

Serviciabilidad

En una escala de 0 - 5, donde 0 (intransitable) y 5 (buen estado), se evalúa la capacidad del pavimento para soportar el tráfico [21].

AASHTO 93 para su diseño emplea el valor de 1.5 en su índice de serviciabilidad terminal del pavimento, ya que el valor 0 lo considera como muy pesimista.

El método AASHTO 93, al servicio lo caracteriza en 2 parámetros: Pi (índice de servicio inicial) y Pt (índice de servicio final). En la ecuación que establece este método, se ingresa la diferencia obtenida por estos dos parámetros (Pi y Pt), determinando así una diferencia o variación entre los dos índices (Δ PSI) [21].

Tabla 6: Índice de serviciabilidad según rango de tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (Pi)	ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL O TEMPORAL (Pt)	DIFERENCIAL DE SERVICIABILIDAD (Δ PSI)
CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO	T _{P1}	150 001	300 000	4.10	2.00	2.10
	T _{P2}	300 001	500 000	4.10	2.00	2.10
	T _{P3}	500 001	750 000	4.10	2.00	2.10
	T _{P4}	750 001	1 000 000	4.10	2.00	2.10
RESTO DE CAMINOS	T _{P5}	1 000 001	1 500 000	4.30	2.50	1.80
	T _{P6}	1 500 001	3 000 000	4.30	2.50	1.80
	T _{P7}	3 000 001	5 000 000	4.30	2.50	1.80
	T _{P8}	5 000 000	7 500 000	4.30	2.50	1.80
	T _{P9}	7 500 001	10 000 000	4.30	2.50	1.80
	T _{P10}	10 000 001	12 500 000	4.30	2.50	1.80
	T _{P11}	12 500 001	15 000 000	4.30	2.50	1.80
	T _{P12}	15 000 001	20 000 000	4.50	3.00	1.50
	T _{P13}	20 000 001	25 000 000	4.50	3.00	1.50
	T _{P14}	25 000 001	30 000 000	4.50	3.00	1.50
	T _{P15}	> 30 000 000		4.50	3.00	1.50

Fuente: [21]

La confiabilidad (R) y la desviación estándar (So)

La confiabilidad representa un factor de seguridad que consiste en aumentar el volumen de tránsito estimado durante el período de diseño, AASHTO sugiere que en un rango alcanzado entre $0.30 < S_0 < 0.40$ [21].

El MTC [21] recomienda usar 0.35 para la desviación estándar ($S_0 = 0.35$).

Tabla 7: (Zr) para periodos de 20 años según rango de tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Zr)
CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO	TP0	100 000	150 0	65%	-0.385
	TP1	150 001	300 000	70%	-0.524
	TP2	300 001	500 000	75%	-0.674
	TP3	500 001	750 000	80%	-0.842
	TP4	750 001	1 000 000	80%	-0.842
RESTO DE CAMINOS	TP5	1 000 001	1 500 000	85%	-1.036
	TP6	1 500 001	3 000 000	85%	-1.036
	TP7	3 000 001	5 000 000	85%	-1.036
	TP8	5 000 000	7 500 000	90%	-1.282
	TP9	7 500 001	10 000 000	90%	-1.282
	TP10	10 000 001	12 500 000	90%	-1.282
	TP11	12 500 001	15 000 000	90%	-1.282
	TP12	15 000 001	20 000 000	90%	-1.282
	TP13	20 000 001	25 000 000	90%	-1.282
	TP14	25 000 001	30 000 000	90%	-1.282
	TP15		> 30 000 000	95%	-1.645

Fuente: [21]

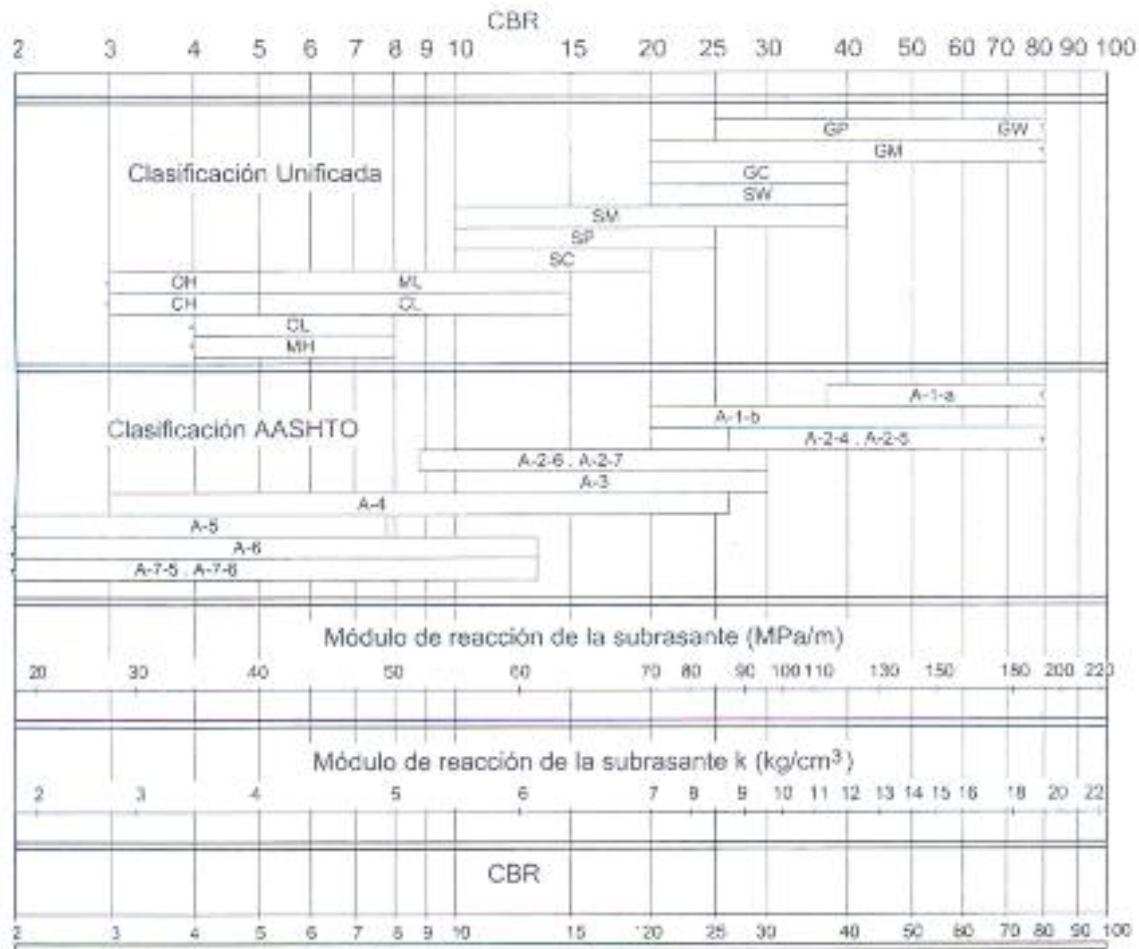
El suelo y el efecto de las capas de apoyo (Kc)

El Kc (módulo de reacción de la subrasante) es un parámetro que determina el tipo de subrasante. Este módulo puede ser optimizado mediante la aplicación de capas intermedias granulares o tratadas con el objetivo de mejorar las condiciones de apoyo, resultando en una disminución del espesor mediante el cálculo del concreto [21].

La obtención del módulo de reacción de la subrasante (MPa/m) requiere la realización del ensayo de placa, que establece la presión requerida hasta alcanzar su deformación de 13 mm. Este ensayo se rige conforme a la norma ASTM D – 1196 y la norma AASHTO T – 222 [21].

Según el MTC [21], para obtener el coeficiente de reacción (K) se debe utilizar la alternativa brindada por AASHTO, esta se encuentra De acuerdo con la clasificación de los suelos y el valor del CBR (ver Ilustración 1).

Imagen 1: Correlación CBR y módulo de reacción de la subrasante



Fuente: [21]

Un material necesita tener un CBR de al menos el 6% para poder ser utilizado en capas de subrasante. La estabilización del suelo es necesaria si el CBR es inferior (lo que indica una subrasante inadecuada o insuficiente). Las soluciones incluyen la estabilización mecánica, la estabilización química, la sustitución del suelo de cimentación, el uso de geosintéticos u otros productos aprobados por el MTC, la elevación de la rasante o el cambio del trazado de la carretera. La opción tecnológica más rentable y eficiente debe servir de base para seleccionar la mejor alternativa [21].

Cuando la base o subbase granular presenta una calidad superior a la de la subrasante, el coeficiente de reacción se incrementa, por lo que es necesario utilizar la siguiente ecuación:

$$K_c = \left[1 + \left(\frac{h}{38} \right)^2 \times \left(\frac{K_1}{K_0} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{0.5} \times K_0$$

Donde: K1 (Coeficiente de reacción de la subbase granular – kg/cm³), KC (Coeficiente de reacción combinado – kg/cm³), K0 (Coeficiente de reacción de la subrasante kg/cm³), h (Espesor de la subbase granular).

Tabla 8: CBR mínimo recomendado para la subrasante granular de pavimentos rígidos según intensidad de tráfico expresado en EE

TRÁFICO	ENSAYO DE NORMA	REQUERIMIENTO
≤ 15 x 10 ⁶ EE	MTC E 132	CBR mínimo 40%
> 15 x 10 ⁶ EE	MTC E 132	CBR mínimo 60%

Fuente: [21]

Resistencia a flexotracción del concreto (Mr)

Dado que las tensiones de flexión son la principal condición de funcionamiento de los firmes rígidos, se incorpora a la ecuación AASHTO 93. Según la norma ASTM C-78, deben tomarse muestras en forma de vigas y analizarse al cabo de 28 días para determinar el módulo de rotura (Mr). Además, las cargas deben aplicarse en el tercio central de la luz de la viga, donde es probable que se produzcan las fracturas [21].

Tabla 9: Valores recomendados de resistencia del concreto según rango de tráfico

RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RESISTENCIA A LA FELXOTRACCIÓN DEL CONCRETO (Mr)	RESISTENCIA MÍNIMA EQUIVALENTE A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO (f'c)
≤ 5 000 000 EE	40 kg/cm ²	280 kg/cm ²
> 5 000 000 ≤ 15 000 000 EE	42 kg/cm ²	300 kg/cm ²
> 15 000 000 EE	45 kg/cm ²	350 kg/cm ²

Fuente: [21]

El módulo de rotura (M_r) del concreto debe ser correlacionado con el módulo de compresión (f'_c) del concreto, esto de acuerdo con la siguiente ecuación normada por ACI 363.

$$M_r = a\sqrt{f'_c}$$

Donde: “ f'_c ” debe estar ex

presado en kg/cm^2 y “ a ” sus valores varían entre 1.99 – 3.18.

Módulo elástico del concreto

Tiene la particularidad de ser importante dentro del diseño de estructuras para concreto armado, este valor se puede predecir basado en la resistencia a la compresión. Para ello AASHTO 93 menciona que el módulo de elástico se puede estimar usando la correlación recomendada por ACI [21].

$$E = 57,000 \times (f'_c)^{0.5}$$

Donde: f'_c debe estar expresada en PSI

Drenaje (Cd)

Los pavimentos rígidos pueden presentar una serie de problemas al contar con presencia de agua o humedad, entre ellos tenemos:

- Pérdida de suelo debido al desplazamiento de partículas.
- Reblandecimiento del subsuelo provocado por una exposición prolongada a la saturación, especialmente a temperaturas bajo cero.
- Deterioro del material de la capa de rodadura causado por la humedad.
- Incremento en la deformación y aparición de fisuras debido a la reducción de la capacidad estructural.

La metodología AASHTO 93 incluye el coeficiente de drenaje (C_d), que oscila entre 0.70 y 1.25. Es importante destacar que un valor alto de C_d indica un buen sistema de drenaje, lo cual beneficia la estructura y permite reducir el espesor de concreto necesario en el diseño [21].

Según el MTC [21], para precisar el C_d se debe seguir dos pasos:

Primer paso: Al evaluar la calidad del material de drenaje hay que tener en cuenta su tamaño, permeabilidad y granulometría. Si el contenido cumple alguno de los criterios

predefinidos (ver tabla 10), puede clasificarse como excelente, bueno, regular, insuficiente o muy insuficiente.

Tabla 10: Condiciones de drenaje

CALIDAD DE DRENAJE	50% DE SATURACIÓN EN	85% DE SATURACIÓN EN
EXCELENTE	2 horas	2 horas
BUENO	1 día	2 - 5 horas
REGUKAR	1 semana	5 - 10 horas
INSUFICIENTE	1 mes	Mas de 10 horas
MUY INSUFICIENTE	El agua no drena	Mucho más de 10 horas

Fuente: [21]

Segundo paso: Tras la caracterización del material y la evaluación de la calidad del drenaje, se utiliza la tabla 11 para calcular el Cd en proporción a la exposición de la estructura a condiciones de humedad cercanas a la saturación.

Tabla 11: Coeficiente de drenaje "Cd" de las capas granulares

CALIDAD DE DRENAJE	% DEL TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTA EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD PRÓXIMOS A LA SATURACIÓN			
	< 1 %	1% - 5%	5% - 25%	> 25%
EXCELENTE	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10
BUENO	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00
REGUKAR	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90
INSUFICIENTE	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80
MUY INSUFICIENTE	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.70

Fuente: [21]

Transferencias de carga (J)

El valor de J cambia considerando el tipo de losa, la presencia y tipo de berma lateral, y si hay o no dispositivos de transferencia de cargas. Muestra la propiedad de la estructura para transferir cargas a través de juntas y fracturas. Es crucial tener en cuenta que el espesor final de la losa de concreto está directamente correlacionado con el valor de J; cuanto más fina sea la losa de concreto, menor será el valor de J [21].

Tabla 12: Valores de coeficiente de transmisión de carga J

TIPO DE BERMA	J			
	GRANULAR O ASFÁLTICA		CONCRETO HIDRÁULICO	
VALORES DE J	CON PASADORES	SIN PASADORES	CON PASADORES	SIN PASADORES
	3.2	3.8 - 4.4	2.8	3.8

Fuente: [21]

Portland Cement Association (PCA)

según Montejo Fonseca [12], para el método PCA se debe tomar unas consideraciones básicas las cuales no han sido cubiertas antes por ningún método.

- El nivel de transferencia de cargas que se produce a través de las juntas transversales en distintas categorías de pavimentos.
- El efecto del uso de bermas de concreto que están adyacentes al pavimento, las cuales disminuyen las deflexiones y los esfuerzos a flexión que son causadas por las distintas cargas de los vehículos.
- El uso de concreto pobre para la subbase tiende a reducir esfuerzos y deflexiones, proporcionando un considerable soporte al momento de que los vehículos pasan sobre las juntas, al mismo tiempo brinda resistencia contra la erosión producida en la subbase causada por las deflexiones repetitivas del que actúan en el pavimento.

Lineamientos para su diseño:

- Erosión, su propósito es reducir los impactos causados por la deflexión del pavimento, especialmente en los bordes de las losas, juntas y esquinas, con el objetivo de controlar la erosión tanto de la cimentación como de los materiales de las bermas.
- Fatiga, esto con el propósito de resguardar al pavimento frente a los esfuerzos producidos por la acción repetida de las cargas.
- En el diseño se puede considerar los ejes triples.

Factores de diseño

De acuerdo con Montejo Fonseca [12], el diseño del método PCA se fundamenta en cuatro factores principales. En primer lugar, se considera la resistencia de la subrasante o del sistema compuesto por la subrasante y la subbase, expresada mediante el coeficiente de reacción (K). En segundo lugar, se toma en cuenta la resistencia a la flexión del concreto, también conocida como módulo de rotura (M_r). Asimismo, el periodo de diseño, usualmente establecido en 20 años, puede adjuntarse considerando las demandas delimitadas por el proyecto y de la entidad responsable. Finalmente, se evalúan los tipos de cargas por ejes previstas, así como sus frecuencias y magnitudes, lo que permite dimensionar adecuadamente la estructura en función del tránsito esperado.

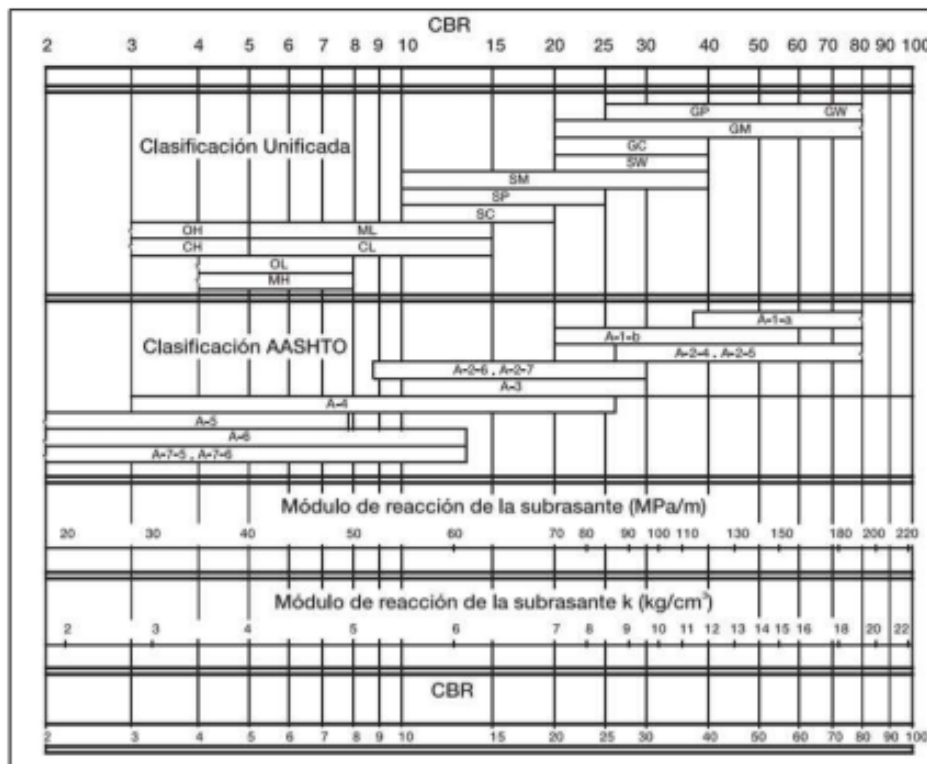
Resistencia del concreto a flexión

Este factor se tiene en cuenta en el criterio de fatiga, ya que regula la formación de grietas en los pavimentos ocasionadas por el paso repetido de vehículos. La resistencia se evalúa a través del ensayo de módulo de rotura realizado sobre vigas, las cuales deben haber sido curadas durante 28 días y las cargas aplicarse en los tercios de su luz [12].

Soporte de la subrasante y la subbase

Se evalúa mediante el módulo de reacción (K), obtenido por medio de ensayos de placa directa. Debido a que éstos resultan costosos y complejos, el valor de K suele determinarse por medio de la correlación con análisis más simples, como el ensayo de CBR o el estabilómetro de Hveem [12].

Imagen 2: Correlación CBR y módulo de reacción de la subrasante



Fuente: [21]

La capa de subbase debe ser necesario su uso en algunos casos, al realizarlo el valor K se incrementa. La tabla 13 presenta el aumento esperado al emplear una subbase granular,

mientras que la tabla 14 muestra el valor obtenido al utilizar una subbase estabilizada con cemento [12].

Tabla 13: Efecto de la subbase granular sobre los valores de k

VALORES DE K PARA SUBRASANTE		VALORES DE K PARA SUBBASE COMBINADA							
		100 mm		150 mm		225 mm		300 mm	
MPa/m	Lb/plg ³	MPa/m	Lb/plg ³	MPa/m	Lb/plg ³	MPa/m	Lb/plg ³	MPa/m	Lb/plg ³
20	73	23	85	26	96	32	117	38	140
40	147	45	165	49	180	57	210	66	245
60	220	64	235	66	245	76	280	90	330
80	295	87	320	90	330	100	370	117	430

Fuente: [12]

Tabla 14: Valores de diseño para subbase tratada con cemento

VALORES DE K PARA SUBRASANTE		VALORES DE K PARA SUBBASE COMBINADA							
		100 mm		150 mm		200 mm		250 mm	
MPa/m	Lb/plg ³	MPa/m	Lb/plg ³	MPa/m	Lb/plg ³	MPa/m	Lb/plg ³	MPa/m	Lb/plg ³
20	73	60	220	80	300	105	400	135	500
40	147	100	370	130	500	185	680	230	850
60	220	140	520	190	700	245	900	---	---

Fuente: [12]

Periodo de diseño

Para el pavimento rígido de una calle o carretera, el intervalo de diseño es de 20 años; sin embargo, si el proyecto lo justifica, el período de diseño puede acortarse o ampliarse. Debe recordarse que la selección de un período de diseño tendrá un impacto en el diseño del espesor, ya que establece cuántos años y cuántos vehículos comerciales pueden utilizar el pavimento durante ese tiempo [12].

El tránsito

El diseño de un pavimento rígido se ve influenciado principalmente por el tamaño y el peso de los ejes principales, los cuales constituyen elementos determinantes en su dimensionamiento [12]. Según Montejo Fonseca [12], estos valores se derivan de estimaciones relacionadas con las cargas por eje de los vehículos comerciales, el tránsito promedio diario de estos vehículos en ambas direcciones (TPDVC), así como el tránsito

promedio diario total (TPD), lo que permite proyectar con mayor precisión las solicitaciones que enfrentará la estructura durante su vida útil.

Diseño de mezcla para concreto hidráulico

Comité 211 de American Concrete Institute (ACI)

Su metodología permite determinar los valores de los numerosos componentes que integran la unidad cúbica de hormigón, y su diseño de mezcla es bastante sencillo. Este proceso sólo funciona con hormigón de peso normal (2000 kg/cm³) [22].

Según Riva López [23], se debe realizar una serie de secuencias para calcular la dosificación de insumos por unidad de volumen de concreto, estas son:

Resistencia promedio

La resistencia a la compresión estipulada y la desviación estándar deben emplearse como punto de partida para fijar la resistencia media [23].

En el supuesto de contar con el valor de la desviación estándar Riva López [23], recomienda emplear la tabla 15.

Tabla 15: Resistencia a la compresión promedio requerida

f_c	f_{cr}
$< 210 \text{ kg/cm}^2$	$f_c + 70$
$210 \text{ kg/cm}^2 - 350 \text{ kg/cm}^2$	$f_c + 84$
$> 350 \text{ kg/cm}^2$	$f_c + 98$

Fuente: [23]

Tamaño máximo nominal del agregado grueso

De acuerdo con la NTP 400.037, el tamaño máximo nominal (TMN) del árido grueso se define como el tamiz más pequeño de la serie que retiene la primera fracción del material. Este valor debe ser determinado por el ingeniero estructural responsable, considerando los criterios establecidos en las directrices de diseño [23]. Según Riva López [23], dichos criterios comprenden tres aspectos fundamentales: el TMN no debe exceder 1/5 de la separación mínima entre las caras de los encofrados, 1/3 de la altura de las losas y 3/4 de la distancia mínima entre las barras de refuerzo, garantizando así una adecuada trabajabilidad y desempeño del concreto.

Estos criterios se pueden obviar según el inspector, siempre que la trabajabilidad y el procedimiento de colocación de la mezcla tengan peculiaridades tales que la mezcla de concreto pueda ser acomodada en los encofrados sin formación a cangrejas o vacíos [23].

Asentamiento

Según Rivva López [23], la consistencia del concreto fresco es una propiedad que indica el grado de humedad de la mezcla, es por esta propiedad que a la mezcla de concreto se clasifica en:

- Mezclas secas : 0” – 2”
- Mezclas plásticas : 3” – 4”
- Mezclas fluidas : \geq a 5”

Para la selección del asentamiento se debe regir según el indicado en las especificaciones técnicas del expediente, si este no sea especificado debe tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- Para una consistencia plástica entre 3” y 4” cuando la consolidación se realiza mediante vibración; y menor a 5” cuando la compactación se efectúa por varillado.
- Se puede utilizar el valor más favorable de acuerdo con la tabla 16, considerando que los valores en dicha tabla corresponden a concretos vibrados; por ello, es necesario ajustar el asentamiento de la mezcla según el método de colocación empleado.

Tabla 16: Asentamiento recomendado por tipo de construcción

TIPO DE CONSTRUCCIÓN	ASENTAMIENTO	
	MAXIMO	MINIMO
Zapatas y muros de cimentación armados	3”	1”
Cimentaciones simples, cajones y subestructura de muros	3”	1”
Vigas y muros armados	4”	1”
Columnas de edificios	4”	1”
Losas y pavimentos	3”	1”
Concreto ciclópeo	2”	1”

Fuente: [23]

Agua de diseño

Es la cuantía de agua que debe añadirse por unidad de volumen de concreto, a tal sentido de lograr una consistencia determinada al momento de que el agregado se encuentra en estado

seco. Teniendo en cuenta el contenido de humedad y el porcentaje de absorción de los agregados, debe ser ajustada y corregida [23].

Rivva López [23] recomienda dos tipos de tablas, una elaborada por ACI (tabla 17) y la segunda por el Departamento de Concreto del Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Nacional de ingeniería (tabla 18).

- Tabla 17 por Comité 211 – ACI, el SLUMP y el TMN del árido grueso deben tenerse en cuenta al elegir el volumen unitario de agua para el agregado en estado seco, ya sea con o sin aire incorporado en el concreto.

Tabla 17: Volumen unitario de agua

ASENTAMIENTO	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO								
1" – 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" – 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" – 7"	243	228	216	202	190	178	160	---
CONCRETO CON AIRE INCORPORADO								
1" – 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" – 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" – 7"	216	205	197	184	174	166	154	---

Fuente: [23]

La Tabla 18, por el Departamento de Concreto del Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad de Ingeniería, brinda la determinación de agua por unidad cúbica de volumen de diseño, teniendo en cuenta la consistencia de mezcla, TMN y perfil del agregado grueso. Se debe tener en consideración que esta tabla solo presenta valores para mezclas sin aire incorporado.

Tabla 18: Volumen unitario de agua

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO	VOLUMEN DE AGUA (Lts/m ³) PARA LOS ASENTAMIENTOS Y PERFILES DE AGREGADO GRUESO					
	1" – 2"		3" – 4"		6" – 7"	
	AGREGADO REDONDEADO	AGREGADO ANGULAR	AGREGADO REDONDEADO	AGREGADO ANGULAR	AGREGADO REDONDEADO	AGREGADO ANGULAR
3/8"	185	212	201	227	230	250
1/2"	182	201	197	216	219	238
3/4"	170	189	185	204	208	227
1"	163	182	178	197	197	216
1 1/2"	155	170	170	185	185	204
2"	148	163	163	178	178	197
3"	136	151	151	167	163	182

Fuente: [23]

Contenido de aire

En mezclas de concreto se puede tener aire atrapado como también aire incorporado, al sumar estas dos cantidades se puede obtener un aire total. El aire atrapado es aquel que se obtiene de las burbujas que ocurren en la mezcla durante los procesos de aplicación; además, el aire incorporado se refiere a aquel que se presenta en la mezcla intencionalmente (mediante aditivos), para lograr una mejora en la durabilidad del concreto a los efectos de congelamiento y deshielo [23].

Rivva López, indica un porcentaje estimado de aire atrapado en la mezcla de concreto que no contiene aire incorporado, esto para distintos tipos de TMN.

Tabla 19: Contenido de aire atrapado

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO	AIRE ATRAPADO
3/8"	3 %
1/2"	2.5 %
3/4"	2 %
1"	1.5 %
1 1/2"	1 %
2"	0.5 %
3"	0.3 %
4"	0.2 %

Fuente: [23]

Relación agua – cemento

Esta decisión es crucial para determinar las dosificaciones de la mezcla, ya que la calidad de la pasta, que se produce cuando el cemento se hidrata, determina las propiedades deseadas del hormigón endurecido [23].

Tabla 20: Relación a/c por resistencia

f'cr (días)	RELACIÓN a/c DE DISEÑO EN PESO	
	SIN AIRE INCORPORADO	CON AIRE INCORPORADO
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	---
450	0.38	---

Fuente: [23]

Tabla 21: Relación a/c por durabilidad

CONDICIONES DE EXPOSICIÓN		Relación a/c máximo en concretos con agregado de peso natural	Resistencia en compresión mínima en concretos con agregados livianos
Concretos de baja permeabilidad	a) Expuestos a agua dulce	0.50	260
	b) Expuestos a agua de mar o aguas solubles	0.45	---
	c) Expuesto a la sección de aguas cloacales	0.45	---
Concretos expuestos a procesos de congelamiento y deshielo en condición húmeda	a) Sardineles, cunetas, secciones delgadas	0.45	300
	b) Otros elementos	0.50	
Protección contra la corrosión de concreto expuesto a la acción de agua de mar, aguas salobres, neblina o rocío de estas aguas		0.45	325
Si el recubrimiento mínimo se incrementa en 15 mm		0.45	300

Fuente: [23]

Factor cemento

La unida cúbica de volumen de a/c elegida se utilizan para determinar cuánto cemento se precisa para cada metro cúbico de concreto. La cantidad de cemento en kilogramos por metro cúbico de concreto, se determina dividiendo el volumen unitario de agua (l/m^3) por la relación a/c [23].

Cuando las especificaciones de la obra establecen una cantidad mínima de cemento, este debe cumplirse además del que se haya determinado por los requisitos de durabilidad o resistencia. Rivva López [23], menciona que se debe elegir el criterio que nos indique la cantidad más alta de cemento.

Contenido de agregado grueso

Se divide el peso seco necesario del árido grueso y el peso unitario seco compactado del mismo (kg/m^3) para obtener el coeficiente b/b_0 . Multiplicando este coeficiente por el peso unitario seco y varillado del árido grueso, podemos determinar cuánto árido grueso en estado seco y compactado debe utilizarse en la mezcla. Esto se hace después de tener el TMN del árido grueso y el módulo de finura del árido fino. [23].

Tabla 22: Peso del agregado grueso por unidad de volumen de concreto

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO	VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO SECO Y COMPACTADO POR UNIDAD DE VOLUMEN DEL CONCRETO PARA DIVERSOS MÓDULOS DE FINEZA DEL AGREGADO FINO			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: [23]

Volúmenes absolutos (cemento, agua, aire y agregado grueso)

Al poseer contenido de aire, árido grueso, cemento y agua; se suma los volúmenes absolutos de dichos insumos [23].

Volumen absoluto del agregado fino

Se obtiene el valor del volumen del árido fino, basta con deducir el total de los volúmenes absolutos conocidos de la unidad (1 m³). Así se obtiene el volumen absoluto del árido fino [23].

Peso seco del agregado fino

Este valor se obtiene de la multiplicación del volumen absoluto del agregado fino multiplicado por su peso específico de masa [23].

Valores de diseño (cemento, agua, aire y agregados)

Los valores de diseño de mezcla son los obtenidos en los pasos anteriores, esos valores será las cantidades de materiales que se va a utilizar para dicha mezcla; recordando que los agregados están en estado seco, por esa razón debe hacerse un ajuste por humedad [23].

Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado

Según la técnica ACI, las proporciones que componen un metro cúbico de concreto deben modificarse teniendo en cuenta las condiciones de humedad de los agregados, con el fin de alcanzar los valores adecuados para su utilización en obra [23].

Características de los agregados

NTP 400.017 (“Peso Unitario”)

Sirve para establecer la densidad de la masa o también llamado peso unitario, ya sea del agregado grueso o agregado fino en situaciones de suelto y compactado; además, calcula vacíos entre sus partículas.

Instrumentos y equipos para utilizar: 1 balanza sensible al 0.1% del peso de la muestra, 1 recipiente o molde, 1 varilla para el enrasado de 5/8” x 60 cm de largo, 1 martillo de goma, 1 molde cilíndrico, 2 bandejas, 1 horno con temperatura uniforme de 110 ± 5 °C, 1 brocha y 1 cucharon metálico de punta redonda.

Procedimiento peso unitario suelto de los agregados

- Se inicia pesando el molde cilíndrico.
- Ya pesado el molde, se llena con la muestra seleccionada (A. grueso o A. fino). Se debe tener en cuenta que el vertido del agregado no debe pasar la altura de 5 cm a partir del borde superior del molde cilíndrico.
- Una vez llenado el molde, se enrasa la superficie con ayuda de la varilla de 5/8”.
- Limpiar la superficie exterior del molde cilíndrico una brocha.
- Finalmente se pesa el molde más el agregado contenido en él.

Procedimiento peso unitario compactado de los agregados

- Se inicia pesando el molde cilíndrico.
- Se introduce el agregado seleccionado (A. grueso o A. fino) hasta 1/3 del molde cilíndrico.
- A continuación, con la varilla de 5/8", se apisona aplicando en forma espiral 25 golpes hacia el interior y 15 golpes externos con el martillo de goma.
- Se llena hasta los 2/3 del molde cilíndrico y se realiza la acción anterior de golpeo.
- Posteriormente se llena el total del molde cilíndrico y se realiza la acción de golpeo.
- Se enrasa con la varilla de 5/8” y se limpia la superficie exterior con una brocha.

- Finalmente se pesa el molde más el árido.

Cálculo del peso unitario

Para ello se hace uso de la siguiente ecuación

$$M = \frac{(G - T)}{V}$$

Donde:

- M : Densidad de la masa del agregado (kg/m³)
- G : Peso de muestra + molde cilíndrico (kg)
- T : Peso del molde cilíndrico (kg)
- V : Volumen del molde cilíndrico (m³)

NTP 400.022 (“Peso Específico – A. Fino”)

Este método sirve para determinar la densidad, densidad relativa y absorción del agregado fino.

Instrumentos y equipos para utilizar: 1 balanza sensible al 0.1% del peso de la muestra, 1 fiola, guantes resistentes al calor y 1 horno con temperatura 100 ± 5 °C.

Procedimiento:

El procedimiento para determinar ciertas propiedades del agregado comienza con la obtención de una muestra de 500 gramos previamente tamizada con la malla No. 4. A continuación, se pesa una fiola vacía, en la cual se introduce el agregado tamizado, y luego se llena con agua. Seguidamente, se agita la fiola con movimientos circulares con el propósito de eliminar burbujas de aire o vacíos atrapados. Una vez completado este paso, se deja reposar la mezcla durante 24 horas. Transcurrido ese tiempo, se transfiere el contenido a un recipiente previamente tarado. Luego, al sedimentarse las partículas, el recipiente se introduce al horno otras 24 horas. Finalmente, se retira la muestra del horno, se deja enfriar a temperatura ambiente y se procede al pesaje final.

NTP 400.021 (“Peso Específico – A. Grueso”)

Esto se realiza para determinar la densidad promedio de partículas, densidad relativa y la absorción del agregado grueso.

Instrumentos y equipos para utilizar: 1 balanza sensible al 0.1% del peso de la muestra, guantes resistentes al calor. 1 franela, 1 canastilla, 1 horno con temperatura al $100 \pm 5^\circ\text{C}$.

Procedimiento:

El procedimiento se inicia con el lavado del agregado, con el propósito de eliminar las partículas finas e impurezas presentes. Posteriormente, la muestra se sumerge en agua durante un periodo de 24 horas. Transcurrido este tiempo, se retira el agua y se deja reposar a temperatura ambiente antes de realizar el primer pesaje. Luego, la muestra se coloca en una canastilla para determinar su peso específico en estado saturado superficialmente seco. A continuación, se transfiere a un recipiente previamente tarado y se introduce al horno a 24 horas. Finalmente, tras el enfriamiento a temperatura ambiente, se realiza el pesaje final para completar el análisis.

NTP 339.185 (“Contenido de humedad”)

Permite establecer el porcentaje total de humedad evaporable en los agregados.

Este método se realiza debido a que es imprescindible controlar el contenido de agua en la mezcla de concreto hidráulico, ya que esto predomina en la resistencia y otras propiedades del concreto hidráulico.

La NTP 339.185, brinda unos parámetros que el agregado debe cumplir:

Tabla 23: Tamaño de muestra del agregado

TMN	Masa mínima de la muestra (kg)
No 4	0.5
3/8	1.5
1/2	2
3/4	3
1	4
2 1/2	6
2	8
2 1/2	10
3	13
3 1/2	16
4	25
6	50

Fuente: NTP 339.185

Instrumentos y equipos para utilizar: 1 balanza sensible al 0.1% del peso de la muestra, guantes resistentes al calor, recipientes, 1 cucharón de punta redonda y 1 horno con temperatura $100 \pm 5^\circ\text{C}$.

Procedimiento para agregado fino

Para la ejecución del ensayo, se inicia pesando una muestra de 500 gramos, la cual se deposita en un recipiente previamente tarado. A continuación, dicha muestra se introduce en un horno por un periodo de 24 horas. Transcurrido este tiempo, se retira del horno y se deja enfriar a temperatura ambiente. Finalmente, se procede a realizar el pesaje final con el fin de obtener los datos requeridos.

Procedimiento para agregado grueso

El procedimiento comienza separando una pequeña porción de la muestra, la cual se deposita en un recipiente previamente tarado. Luego, esta muestra se introduce en un horno durante un periodo de 24 horas. Transcurrido ese tiempo, se retira del horno y se deja enfriar a temperatura ambiente. Finalmente, se realiza el pesaje correspondiente para completar el ensayo.

Cálculo para contenido de humedad

Según la NTP 339.185 para conocer el contenido de humedad de los agregados, se debe utilizar la ecuación:

$$P(\%) = \frac{(W - D)}{D} \times 100$$

Donde: Contenido de humedad (%) (P), Muestra en estado húmedo (gr) (W), y Muestra en estado seco (gr) (D).

NTP 400.012 (“Granulometría”)

Este método sirve para determinar la finura y el diámetro en los agregados, además, sirve para establecer si los agregados son aptos para ser utilizados en lo que se requiere.

Instrumentos y equipos para utilizar: 1 balanza sensible al 0.1% del peso de la muestra, recipientes y tamices normalizados según NTP 350.001.

Tamices para A.fino

Tabla 24: Tamices para agregado fino

Tamiz No.	1/2”	3/8”	4	8	16	30	50	100
Abertura (mm)	12.7	9.5	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15

Fuente: NTP 350.001

Tamices para A. Grueso

Tabla 25: Tamices para agregado grueso

Tamiz No.	2''	1 ½''	1''	¾''	½''	⅜''	4	8	16
Abertura (mm)	50.8	37.5	25	19	12.5	9.5	4.75	2.36	1.18

Fuente: NTP 350.001

Procedimiento para A. Fino

- Se debe tener al menos 300 gr de agregado seco (puesto al horno por 24 horas).
- Luego se arma los tamices en orden uno encima de otro empezando con el fondo hasta el tamiz de 1/2''.
- Una vez armado los tamices y pesada la muestra a utilizar, se pasa a zarandear por al menos 10 minutos.
- Luego se pesa cada muestra retenida por tamiz, teniendo en cuenta que este paso es el más importante debido a que gracias a esos pesos obtendremos el porcentaje que pasa y porcentaje acumulado retenido.
- Con los datos obtenidos se debe realizar la curva granulométrica del agregado y verificar que cumpla con los límites granulométricos de la NTP 400.037.

Tabla 26: Límites granulométricos del agregado fino

MALLA	% PASA
3/8''	100
No 4	95 – 100
No 8	80 – 100
No 16	50 – 85
No 30	25 – 60
No 50	10 – 30
No 100	2 – 10

Fuente: NTP 400.037

Procedimiento para A. Grueso

El procedimiento comienza con la obtención de una muestra mínima de 5 kg mediante la técnica de cuarteo. Posteriormente, dicha muestra se somete a un proceso de secado en horno durante 24 horas, tras lo cual se retira y se deja enfriar a temperatura ambiente. A continuación, se disponen los tamices en orden, desde el más fino hasta el tamiz No.

16, para proceder al zarandeo de la muestra, la cual se introduce en partes para evitar el sobrellenado. Una vez finalizado el zarandeo, se pesa el material retenido en cada tamiz. Finalmente, se construye la curva granulométrica del agregado, verificando que los resultados cumplan con los límites establecidos en la NTP 400.037.

Tabla 27: Cantidad mínima por muestra de agregado grueso

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL ABERTURAS CUADRADAS mm (plg)	CANTIDAD MUESTRA DE ENSAYO MÍNIMO KG
9.5 (3/8)	1
12.5 (1/2)	2
19 (1)	5
25 (1 1/2)	10
37.5 (2)	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300

Fuente: NTP 400.012

Tabla 28: Límites granulométricos - Agregado grueso

HUSO	TMN	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS								
		1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 8	No 16	No 50
5	1" - 1/2"	100	90 - 100	20 - 55	0 - 10	0 - 5	-	-	-	-
67	3/4" - No 4	-	100	90 - 100	-	20 - 55	0 - 10	0 - 5	-	-
7	1/2" - No 4	-	-	100	90 - 100	40 - 70	0 - 15	0 - 5	-	-
89	3/8" - No 16	-	-	-	100	90 - 100	20 - 55	5 - 30	0 - 10	0 - 5
9	No 4 - No 16	-	-	-	-	100	85 - 100	10 - 40	0 - 10	0 - 5

Fuente: NTP 400.037

NTP 339.183 (“Elaboración y curado de especímenes”)

Se realiza en lugares donde se pueda tener un control adecuado de los materiales y condiciones de ensayo.

Instrumentos y equipos para utilizar: moldes cilíndricos, moldes rectangulares, 1 varilla de 5/8" x 60 cm, 1 mazo de goma, 1 cucharón metálico de punta redonda, 1 mezcladora para concreto y 1 plancha.

Procedimiento:

El proceso inicia con la limpieza de los moldes que serán utilizados. Posteriormente, se pesan los agregados, cemento y agua conforme al diseño de mezcla previamente calculado, para luego ser incorporados en la mezcladora. Una vez obtenida la mezcla de concreto

hidráulico, se procede al llenado de las probetas cilíndricas y rectangulares, aplicando 25 golpes con una varilla de 5/8" y 15 golpes con un mazo de goma por capa en cada molde, con el fin de eliminar vacíos. A continuación, se nivela y alisa la superficie utilizando una plancha. Las muestras se dejan reposar durante 24 horas para su secado inicial. Finalmente, transcurrido este periodo, se desencofran los moldes y las probetas se colocan a curar sumergidas en agua dentro de un recipiente adecuado.

NTP 339.035 (“Asentamiento”)

Este método sirve tanto en la aplicación de campo como también de laboratorio, dando a conocer la consistencia y el grado de trabajabilidad de la mezcla de concreto hidráulico. Además, cabe resaltar que este método no es exacto, pero puede dar resultados bastante precisos.

Instrumentos y equipos para utilizar: 1 cono de Abrams, 1 varilla de 5/8" x 60 cm, 1 cinta métrica (wincha), 1 cucharón metálico de punta redonda, 1 mezcladora para concreto

Procedimiento:

El procedimiento inicia con la humectación del cono de Abrams, que se ubica sobre una superficie plana y no absorbente. A continuación, la mezcla se deposita en el cono en 3 capas, aplicando 25 golpes por cada capa utilizando una varilla de 5/8". La última capa se llena en exceso antes de los golpes y posteriormente se nivela con la misma varilla. Finalmente, se retira el cono de manera vertical y lenta, procurando mantener la firmeza, para luego medir la diferencia entre la altura original del cono y la altura del eje vertical de la mezcla, con el fin de determinar la consistencia del concreto.

NTP 339.077 Métodos (“Exudación del concreto”)

Este método se lleva a cabo para calcular la cantidad relativa de agua de mezclado que puede segregarse en un concreto fresco.

El concreto para la muestra debe ser con agregados de tamaño máximo nominal hasta 50 mm, si los agregados tienen tamaño máximo nominal mayores deben ser tamizados por el tamiz de 3.75 mm.

Instrumentos y equipos para utilizar: Molde cilíndrico de diámetro 255 mm, 1 balanza sensible al 0.5% del peso de la muestra, 1 pipeta, probeta graduada de 100 ml, varilla compactadora.

Procedimiento:

- Se debe tener una temperatura ambiente entre 18 – 24 °C.
- Se llena el molde cilíndrico, se nivela la superficie y se registra la hora.
- La probeta se ubica sobre una plataforma en un piso estable y sin vibraciones, cubriendo su superficie para evitar la evaporación.
- Con una pipeta se extrae el agua acumulada en la superficie cada 10 minutos durante los primeros 40 minutos, y posteriormente cada 30 minutos.
- Se registra la hora de la última observación.
- Para facilitar la extracción del agua se inclina el recipiente con un taco de 50 mm de espesor.

Cálculo:

Para calcular el volumen de agua exudada por unidad de superficie se utiliza la ecuación:

$$V = \frac{V_1}{A}$$

Donde: V1 (volumen de agua exudada - ml), A (área expuesta del concreto – cm²)

Para calcular el agua exudada acumulada en porcentajes del agua de mezclado neta contenida se usa la siguiente ecuación:

$$C = \left(\frac{w}{W}\right) S$$

$$\text{Exudación: \%} = \left(\frac{D}{C}\right) \times 100$$

Donde: w (agua de mezcla neta – kg), C (masa de agua en la muestra de ensayo - g), W (masa total de la tanda – kg), D (masa del agua exudada – g), S (masa de la muestra – g),

NTP 339.034 (“Resistencia a la compresión en muestras cilíndricas”)

Este método es realizado para especímenes cuya masa unitaria se al menos de 800 kg/cm².

Esta prueba es una de las propiedades mecánicas más importante para verificar el esfuerzo máximo que puede soportar el concreto hidráulico bajo una carga axial, cabe resaltar que esta carga se expresa en kg/cm².

Instrumentos y equipos para utilizar: Maquina universal totalmente calibrada y especímenes cilíndricos de concreto hidráulico.

Procedimiento:

- Se debe tener los especímenes cilíndricos de concreto secos en su totalidad teniendo en cuenta que hay un tiempo de tolerancia para la realización de este método.

Tabla 29: Tiempo de tolerancia - Ensayo de compresión

EDAD	TIEMPO DE TOLERANCIA
24 HORAS	± 0.5 HORAS
3 DÍAS	± 2 HORAS
7 DÍAS	± 6 HORAS
28 DÍAS	± 20 HORAS

Fuente: NTP 330.034

- Seguidamente se alinea el espécimen cilíndrico con el eje de bloque de empuje superior; además, se debe revisar que la carga esté en 0.
- Se aplica la carga continua, la cual debe ser continua y progresiva.
- Al llegar el espécimen cilíndrico al fallo o capacidad ultima, se toma los datos de resistencia que soportó.
- Finalmente se identifica el tipo de fractura que tiene el espécimen.

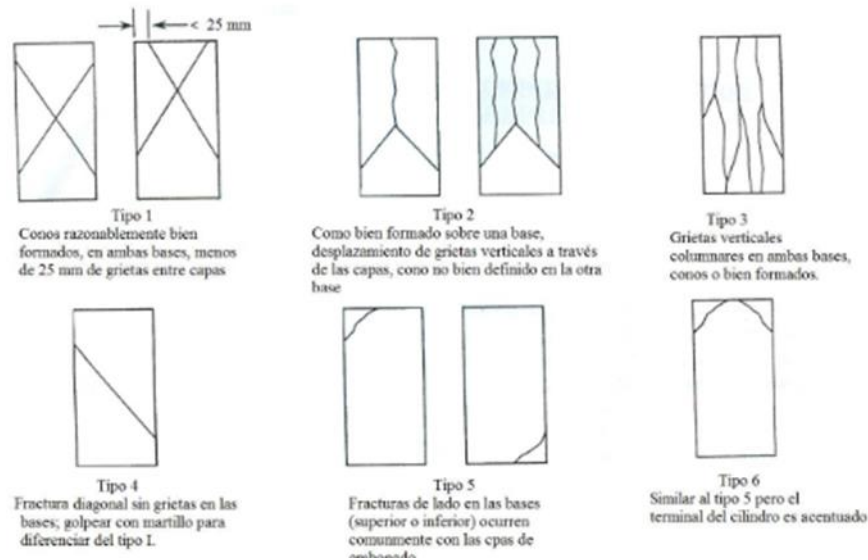


Ilustración 1: Tipos de Fractura

NTP – 339.078 (Resistencia a la flexión)

Este método sirve para precisar la carga que resiste un espécimen rectangular de concreto hidráulico, la carga se aplica a los tercios su luz. Además, se debe tener en cuenta la rotura de la viga debe fallar en la parte central.

Instrumentos y equipos para utilizar: Máquina universal totalmente calibrada y especímenes rectangulares de concreto hidráulico.

Procedimiento:

- Inicialmente se debe tener seca en su totalidad el espécimen y se marca a los tercios de su luz.
- Seguidamente se posiciona la falla, debido a que de eso dependerá el cálculo del módulo de rotura.

Cálculo:

Se calcula el módulo de rotura haciendo uso de la ecuación:

$$M_r = \frac{PL}{bh^2}$$

Donde: Mr: Módulo rotura (MPa), P: Carga de rotura (N), L: Luz libre entre apoyo (mm), b: Ancho promedio en sección de fallo (mm), h: Altura promedio en sección de fallo (mm)

ASTM C 1585 – 04 (Absorción de agua)

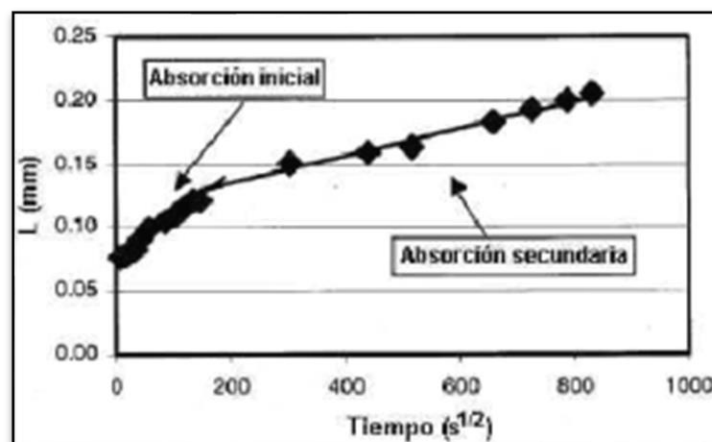
La técnica determina la tasa de absorción de agua en el concreto, hormigón de cemento hidráulico, que es el cambio que el área de la sección transversal de una probeta multiplicada por la densidad del agua es la masa de la probeta en un tiempo determinado. Dado que el cambio en la densidad del agua causado por la temperatura es tan pequeño, se considera insignificante para este ensayo [24].

$$I = \frac{m_t}{A * d}$$

Donde: I - Absorción capilar (mm), m_t - cambio de masa en función del tiempo (g), A - Área de la sección transversal (mm²), d - Densidad de agua (g/mm³).

Las medidas que evalúa la norma ASTM dentro de este método, se debe efectuar ajustes en dos partes (Ilustración 4.) para poder determinar la absorción inicial se toma en cuenta desde el minuto 1 hasta las 6 primeras horas; y, la absorción secundaria es tomada en cuenta de pasado 1 un día hasta completar los 7 días que es cuando finaliza este ensayo.

Ilustración 2: Absorción inicial y absorción secundaria



Fuente: ASTM C1585

Instrumentos y equipos para utilizar: Especímenes de concreto circulares (100 mm de diámetro x 50 mm de alto), cámara de vacío, agua destilada, químico (Bromuro de potasio), dispositivo de soporte, estufa, desecador, bolsa hermética, silicona, balanza.

Procedimiento:

- El espécimen es llevado a la cámara de vacío por 3 horas para poder extraer todo el aire existente.
- Luego en el interior de un desecador se coloca 20 gramos de bromuro de potasio y 25 gramos de agua destilada, se agita uniformemente para obtener la solución saturada de bromuro de potasio. Esto permite tener una humedad relativa del 80%.
- Dentro del desecador se coloca un dispositivo de soporte agujereada el cual impida el contacto directo entre las probetas y la solución de bromuro de potasio.
- Seguidamente se lleva el desecador dentro de una estufa por 3 días a una temperatura de 50° C.
- Al paso de 3 días se retira de la estufa y los especímenes cilíndricos se colocan en una bolsa hermética, para ser reposadas por 15 días a temperatura ambiente.
- Después de los 15 días se retira las probetas de las bolsas herméticas, se recubren con silicona excepto una cara de esta y se pesa la muestra.
- Luego en un recipiente se aplica unos apoyos y se vierte agua hasta una altura en donde la probeta se humedezca por 2 mm.
- Se coloca la probeta dentro del recipiente encima de los apoyos, se mide un tiempo 1 minuto, luego se retira para pasarla y este proceso es repetitivo siguiendo los tiempos establecidos.

UNE – EN 12390 – 8 (“Profundidad de penetración de agua bajo presión”)

Este método se utiliza para medir la cantidad de agua u otros líquidos que migran a través de los poros del material durante un período específico.

Instrumentos y equipos para utilizar: Maquina de ensayo y especímenes cilíndricos con diámetro mayor a 150 mm.

Procedimiento:

- El espécimen debe tener al menos 28 días de edad.

- Seguidamente se instala en la máquina de ensayo y se suministra agua a una presión constante de 500 ± 50 Kpa por 3 días (72 horas)

ASTM C 1579 (“Agrietamiento por concentración plástica”)

Sirve para determinar la fisuración por contracción plástica en estructuras de concreto.

Instrumentos y equipos para utilizar: Paneles rectangulares con restricciones, ventilador con velocidad de tiempo de más de 4.7 m/s, cámara ambiental, sensores (temperatura, humedad y velocidad del viento), bandeja para agua, herramienta de medición de grietas.

Procedimiento:

- Se rellena los moldes previamente engrasados con la mezcla y se coloca dentro de la cámara ambiental.
- Se enciende los ventiladores, se toman datos de temperatura al comienzo de la prueba y a intervalos de 30 minutos; además de registrar temperatura, humedad y velocidad del aire.
- Al ocurrir el fraguado final se registra las variables atmosféricas, se apagan los ventiladores y se registra el tiempo transcurrido.
- Se retira los paneles de la cámara y se cuantifica las grietas midiendo su ancho.

ASTM C 944 (“Resistencia a abrasión del concreto mediante el rodillo giratorio”)

Este método indica la resistencia al desgaste del concreto.

Instrumentos y equipos para utilizar: Taladro de banco, cortador abrasivo, especímenes cilíndricos de 50 mm x 100 mm.

Procedimiento:

- Se fija el peso inicial del espécimen.
- Seguidamente se monta el cortador abrasivo en el taladro de banco y se coloca la muestra a ser ensayada.
- A continuación, enciende el taladro y se baja lentamente el rodillo hasta que llegue a tocar la superficie de la probeta.
- Se deja la abrasión por 2 minutos, al pasar este tiempo se retira la muestra del taladro para ser limpiada superficialmente y ser pesada nuevamente. Esto se realiza por al menos tres ciclos de 2 minutos.

UNE 83988 – 2 (“Resistividad eléctrica del concreto”)

La resistividad eléctrica es una propiedad intrínseca y volumétrica del material refleja su resistencia al flujo de cargas eléctricas [25].

La ecuación para calcular la resistividad eléctrica es:

$$\rho = R \frac{A}{L} = R \times K$$

Donde: ρ (Resistividad eléctrica), R (Resistencia), A (Área de la sección transversal), L (Longitud entre placas), K (factor de forma).

Teniendo en cuenta que la resistividad eléctrica se mide utilizando probetas cilíndricas, existen 2 métodos: caras paralelas y el de cuatro puntos.

Andrade y Andrea afirman que la resistividad eléctrica también se utiliza para medir la porosidad del hormigón armado; una mayor resistividad eléctrica indica una mayor resistencia mecánica. Del mismo modo, la resistividad eléctrica también mide la saturación, que hace que la resistencia eléctrica del hormigón aumente cuando no está saturado de agua. Hallar la resistividad eléctrica también sirve para revelar la porosidad y la calidad del hormigón [25].

Tabla 30: Riesgo de corrosión basado en los valores de resistividad eléctrica

RIESGO DE CORROSION	RESISTIVIDAD (K Ω – cm)
ALTO	< 12
MODERADO	12 – 21
BAJO	21 – 37
MUY BAJO	37 – 254
DESPRECIABLE	> 254

Fuente: AASHTO TP 93

Instrumentos y equipos para utilizar: Máquina de ensayo y especímenes cilíndricos con diámetro mayor a 150 mm.

Procedimiento:

- Se satura en agua las probetas cilíndricas y se humedecen las esponjas de la máquina de ensayo.
- Se señala la probeta en 6 partes iguales, ya que ahí es donde se tomarán las medidas.
- Toma de datos.

ASTM C 1202 (Penetración de ion cloruro)

La corrosión generada por los cloruros se halla en estructuras expuestas a ambientes marinos, estas estructuras presentan un alto contenido de cloruros debido al agua de mar debido a que se transportan por el aire y se depositan en el concreto.

La NTP E 060 establece unos parámetros que deben cumplir de contenido máximo de iones cloruros dependiendo al tipo de elemento que estará expuesta (ver tabla 30).

Tabla 31: Contenido máximo de iones de cloruro

TIPO DE ELEMENTO	CONTENIDO MÁXIMO DE IONES DE CLORURO SOLUBLES EN AGUA EN EL CONCRETO (% EN PESO DEL CEMENTO)
Concreto Preesforzado	0.06
Concreto armado que en servicio estará expuesto a cloruros	0.15
Concreto armado que en servicio estará seco o protegido contra la humedad	1.00
Otras construcciones de concreto armado	0.30

Fuente: ASTM C 1202

Instrumentos y equipos para utilizar: Especímenes de concreto circulares (100 mm de diámetro x 50 mm de alto) Cámara de vacío, Agua destilada, Químicos (Hidróxido de sodio al 0.3 normal y Cloruro de sodio al 3%), 2 cámaras de vidrio con sección circular abierta en el centro de 100 mm de diámetro, máquina de aplicación de voltaje, multitester, silicona líquida,

Procedimiento:

- Las muestras cilíndricas son llevadas a la cámara de vacío el cual está lleno con agua destilada por al menos 3 horas, para eliminar las burbujas de aire del espécimen y ser reemplazadas por el agua destilada.
- Se prepara las soluciones químicas: hidróxido de sodio al 0.3 normal y cloruro de sodio al 3%.
- Se recubre a la probeta con de silicona en toda la superficie externa, con el fin de impermeabilizar y se evite pérdidas por evaporación o goteo
- Seguidamente se coloca la muestra en las cámaras de vidrio, teniendo en cuenta que debe colocarse silicona al borde del espécimen y la cámara ya que puede producirse pérdidas de solución.
- Luego de haber secado la silicona se vierte las soluciones preparadas.

- Finalmente se conecta la máquina de aplicación de voltaje y se toma los datos de corriente eléctrica que pasa por el sistema en intervalos de 30 minutos por un plazo de 6 horas.

Cálculo:

$$Q = 900(I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 22I_{300} + 2I_{330} + I_{360})$$

Donde:

- Q: Carga Pasada – Coulomb
- It: Corriente en t minutos después de aplicar la tensión – Amperios
- Io: Corriente inmediatamente después de aplicar la tensión – Amperios

Si el diámetro del espécimen no es 95 mm, se hace un ajuste en el valor de la carga total aprobada.

$$Q_s = Q_x \times \left(\frac{95}{x}\right)^2$$

Donde:

- Qs: Carga pasada en espécimen de diámetro 95 mm – Coulomb
- Qx: Carga pasada en espécimen de diámetro x mm – Coulomb

Materiales y métodos

Tipo y nivel de investigación

El estudio es de tipo experimental, ya que se han manipulado variables para alcanzar los objetivos específicos propuestos en el estudio para determinar el cumplimiento del objetivo general. Así mismo a partir de los ensayos practicados en el laboratorio se obtendrá información para demostrar y refutar la hipótesis planteada.

Diseño de la investigación

El estudio se ha planteado con un diseño experimental que incluye dos grupos: uno experimental y otro de control. Se ha manipulado la variable independiente (fibras de PET) en tres niveles distintos. Al concluir esta manipulación, se medirán las variables dependientes, que en este estudio son la durabilidad y la resistencia a la flexión, tanto en el grupo experimental como en el de control.

El diseño de la investigación se representa con el siguiente esquema:

$$R G 1 \rightarrow X 1 \rightarrow O1$$

$$R G 2 \rightarrow X 2 \rightarrow O2$$

$$R G 3 \rightarrow X 3 \rightarrow O3$$

$$R G 4 \rightarrow - \rightarrow O4$$

Donde: En el estudio, se utilizan probetas de concreto identificadas como R, las cuales se distribuyen en cuatro grupos: G1, G2 y G3 corresponden a los grupos experimentales, mientras que G4 representa el grupo de control. La variable independiente corresponde a la dosificación de fibras PET en los grupos experimentales, indicada como X, con niveles específicos de dosificación: X1 para un 2% del peso del cemento, X2 para un 3% y X3 para un 4%. Por otro lado, el grupo de control mantiene un nivel cero de esta variable, señalado como "-". Las variables dependientes, que corresponden a las propiedades del concreto, se miden posteriormente en cada grupo, siendo O1, O2 y O3 las mediciones para los grupos experimentales y O4 para el grupo de control.

Población, muestra y muestreo

Población

La población para este estudio está representada por 80 especímenes los cuales están constituidos por 60 probetas cilíndricas, 12 vigas y 8 paneles rectangulares con adición de 0%, 2%, 3% y 4% de fibra PET.

Muestra

Se analizaron a los 80 especímenes constituido por 60 probetas cilíndricas (15 probetas de concreto estándar y 45 de concreto con adición de fibra PET), 12 vigas (3 probetas de concreto estándar y 9 de concreto con adición de fibra PET) y 8 paneles rectangulares (2 probetas de concreto estándar y 6 de concreto con adición de fibra PET).

Muestreo

En este estudio se propone la incorporación de fibras PET en porcentajes de 2%, 3% y 4 %, Así mismo, cabe resaltar que la incorporación de las fibras PET es según el peso del cemento.

Tabla 32: MUESTRAS PARA ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

TIPO DE MUESTRA	PORCENTAJES	CANTIDAD (UND)
MUESTRA PATRÓN	---	3
MUESTRA CON	2 %	3
ADICIÓN DE FIBRAS	3 %	3
PET	4 %	3
TOTAL		12

Fuente: Elaboración propia

Ensayos de Durabilidad

Los ensayos por durabilidad propuestos en esta tesis son: Fisuración del concreto, abrasión del concreto, penetración de agua, absorción de agua, penetración de ion cloruro y resistividad eléctrica; esto con el fin de evaluar el comportamiento en los pavimentos rígidos con mezcla de concreto hidráulico incorporando fibras PET.

Tabla 33: MUESTRAS PARA ENSAYOS DE FISURACIÓN

TIPO DE MUESTRA	PORCENTAJES	CANTIDAD (UND)
MUESTRA PATRÓN	---	2
MUESTRA CON	2 %	2
ADICIÓN DE FIBRAS	3 %	2
PET	4 %	2
TOTAL		8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34: MUESTRAS PARA ENSAYOS DE ABRASIÓN

TIPO DE MUESTRA	PORCENTAJES	CANTIDAD (UND)
MUESTRA PATRÓN	---	2
MUESTRA CON	2 %	2
ADICIÓN DE FIBRAS	3 %	2
PET	4 %	2
TOTAL		8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35: MUESTRAS DE ENSAYO PARA EXUDACIÓN DEL CONCRETO

TIPO DE MUESTRA	PORCENTAJES	C CANTIDAD (UND)
MUESTRA PATRÓN	---	2
MUESTRA CON	2 %	2
ADICIÓN DE FIBRAS	3 %	2
PET	4 %	2
TOTAL		8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36: MUESTRAS PARA ENSAYOS DE PENETRACIÓN DE AGUA

TIPO DE MUESTRA	PORCENTAJES	CANTIDAD (UND)
MUESTRA PATRÓN	---	2
MUESTRA CON	2 %	2
ADICIÓN DE FIBRAS	3 %	2
PET	4 %	2
TOTAL		8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37: MUESTRAS PARA ENSAYOS DE ABSORCIÓN DE AGUA

TIPO DE MUESTRA	PORCENTAJES	CANTIDAD (UND)
MUESTRA PATRÓN	---	3
MUESTRA CON	2 %	3
ADICIÓN DE FIBRAS	3 %	3
PET	4 %	3
TOTAL		12

Fuente: Elaboración propia

Criterios de selección

Fibras PET

- Las fibras PET que se utilizó para esta investigación fue tipo de natural o cristal, debido a que este material se encuentra en bases de refrescos (agua gasificada, agua con azúcar, agua mineral, etc.) siendo el más utilizado en la población.
- La longitud seleccionada fue de 30 mm de largo por 3 mm de ancho, esta selección fue debido a los antecedentes citados anteriormente, donde los valores de largo oscilan entre 13 mm – 50 mm y el ancho entre 3 mm – 5 mm.
- Para la obtención de la fibra se tuvo que caracterizar los envases conseguidos de una planta recicladora, donde el costo por kilogramo fue de S/ 0.50.

Imagen 3: Fibra PET



Fuente: Elaboración propia

Cemento

Se utilizó cemento portland tipo II(MS)MH de 42.5 kg de la cementera Pacasmayo, debido a que este tipo de cemento es idóneo para diseños con moderado calor de hidratación siendo apto en climas cálidos, a tal sentido de reducir probables fisuras en el concreto, además de que incluye aditivos que disminuyen la permeabilidad del concreto y la infiltración de humedad.

Agregados

La elección A. fino y A. grueso se realizó basándose en los requerimientos dados por NTP 400.012. Siendo las canteras elegidas, Pátapo (“La Victoria”) para el A. fino y la cantera Ferreñafe (Tres Tomas) el A. grueso.

Agua

El agua empleada para la preparación de especímenes cilíndricos y rectangulares fue de uso potable de acuerdo con lo estipulado por la norma peruana E060.

Slump

Se verificó que el asentamiento cumpla con lo normado en pavimentaciones que es de 3 pulgadas. Para esto se tiene en cuenta la metodología brindada por NTP 339.035.

Procedimiento

Características de las fibras PET

- Se compró botellas por kilogramos en una planta recicladora, el costo por kilogramo fue de S/ 0.50.
- Se lavó y desinfectó las botellas recicladas.
- Una vez secas las botellas se obtuvo las fibras PET en dimensiones uniformes de 3 cm x 0.3 cm. Para ello se creó dos prototipos para poder cortarlas, uno para poder cortar el ancho y otro para cortar el largo.
- El primer prototipo para cortar el ancho constó con una base de madera con dimensiones 30 cm x 20 cm x 1 cm, 4 arandelas, 2 pernos y una navaja para cutter.
- El primer prototipo para cortar el ancho constó con una base de madera con dimensiones 30 cm x 20 cm x 1 cm, 4 arandelas, 2 pernos y una navaja para cutter.

Imagen 4: Prototipo y proceso para la obtención del ancho de la fibra



Fuente: Elaboración propia

- El segundo prototipo para cortar el largo de las fibras se constituye de 1 madera como base con dimensiones de 30 cm x 20 cm x 1 cm, 1 cutter, 2 pernos, 1 madera de 6.5 cm x 2 cm x 1.5 cm y 1 madera de 3 cm x 2 cm x 1.5 cm.

Imagen 5: Prototipo y proceso para la obtención del largo de la fibra



Fuente: Elaboración propia

Características de los agregados

Para obtener las características de los agregados se contó con A. fino de la cantera Pátapo (“La Victoria”) y A. grueso procedente de la cantera Ferreñafe (“Tres Tomas”).

Peso unitario

Este método se realizó siguiendo los pasos estipulados en la NTP 400.017, teniendo en cuenta que se la utilización de un recipiente cilíndrico con volumen conocido.

Peso unitario suelto de los agregados

Se inicio pesando el molde cilíndrico y se llenó con el agregado seleccionado (A fino o A grueso), seguidamente se enrazó la superficie del molde y finalmente se pesó.

Peso unitario compactado de los agregados

Se realizó tres veces este método para finalmente tener un promedio de ello.

Imagen 6: Peso unitario suelto y compactado A. fino



Fuente: Elaboración propia

Imagen 7: Peso unitario suelto y compactado A. grueso



Fuente: Elaboración propia

Contenido de humedad

Para la realización de este método se respetó lo estipulado en la NTP 339.185.

Procedimiento

Para obtener la obtención del contenido de humedad se pesó 500 gramos de A. fino y 1000 gramos de A. grueso, cabe resaltar que ambos agregados se encontraban en estado húmedo natural.

Imagen 8: Contenido de humedad A. fino y A. grueso



Fuente: Elaboración propia

Peso Específico

Para el desarrollo de este método se tomó en cuenta la NTP 400.022 para el A. fino y la NTP 400.021 para el A. grueso.

Procedimiento – A. fino

Se tomó una muestra de 500 gramos tamizado por la malla No. 4.

Procedimiento – A. grueso

Se tomó una muestra seca superficialmente de 1530 gramos.

Imagen 9: Peso específico Absorción A. fino



Fuente: Elaboración propia

Imagen 10: Peso específico Absorción A. grueso



Fuente: Elaboración propia

Granulometría

Para la recolección de datos de este método se realizó bajo la NTP 400.012.

Procedimiento – A. fino

Se realizó con una muestra de 500 gramos seca superficialmente, el cual fue secada al horno obteniendo un peso seco de 491.30 gramos.

Imagen 11: Análisis granulométrico A. fino



Fuente: Elaboración propia

Procedimiento – A. grueso

Se realizó con una muestra seca superficialmente de 7307.3 gramos, este fue secado al horno teniendo como resultado un peso de 7283.1 gramos.

Imagen 12: Análisis granulométrico A. grueso



Fuente: Elaboración propia

Aplicaciones de las fibras PET

La cuantía de fibras PET que se añadió a la mezcla de concreto hidráulico estuvo en función al peso de cemento, debido a que este sería un refuerzo para dicho material. Las dosificaciones añadidas fueron del 2%, 3% y 4% respectivamente.

Esta adición fue añadida gradualmente para que pueda mezclarse homogéneamente con la mezcla de concreto hidráulico.

Imagen 13: Aplicación de la fibra PET



Fuente: Elaboración propia

Elaboración y curado de las probetas patrón y con fibra PET

La elaboración y curado de probetas se realizó bajo los procedimientos estipulados por la NTP 339.183. Teniendo en cuenta que para este método se debe tener calculado el diseño de mezcla correspondiente.

Una vez realizado el llenado de probetas cilíndricas y vigas, se dejó secar por 24 horas para luego desencofrarlos, seguidamente se colocó a curar dichas probetas dentro de una piscina.

Imagen 14: Elaboración de probetas



Fuente: Elaboración propia

Asentamiento del concreto hidráulico

Este método se realizó bajo las estipulaciones dadas por la NTP 339.035, debido a que permite conocer la consistencia y el grado de trabajabilidad en el concreto fresco. Cabe resaltar que este método se realizó tanto para el diseño patrón como para los diseños con adición de fibras PET.

Imagen 15: Elaboración de SLUMP



Fuente: Elaboración propia

Exudación del concreto

Para la obtención de los datos se realizó bajo lo descrito por la NTP, para esto se realizó el análisis de dos muestras por diseño.

Imagen 16: Elaboración de exudación en el concreto



Fuente: Elaboración propia

Resistencia a la compresión

Se realizó bajo las directrices estipulados por la NTP 339.034. Para ello, se realizó la ruptura de tres probetas cilíndricas por cada muestra a los 7 días y 28 días de curado con el fin de comprobar la resistencia requerida de diseño.

Imagen 17: Resistencia a compresión promedio de los diseños



Fuente: Elaboración propia

Resistencia a la flexión

Se obtuvo los datos siguiendo la metodología brindada por la NTP, teniendo cuidado en tomar bien las medidas a los tercios de la luz de la viga y la posición de la falla.

Imagen 18: Resistencia a flexión promedio de los diseños



Fuente: Elaboración propia

Abrasión del concreto

Este método de prueba se rigió bajo lo estipulado por la norma ASTM C 944, para ello se tuvo en cuenta que los testigos tengan una buena fijación al igual que la masa aplicada sea la misma.

Imagen 19: Abrasión del concreto



Fuente: Elaboración propia

Fisuración del concreto

El ensayo de fisuración del concreto se basó en la norma ASTM C 1579 – 06

Imagen 20: Fisuración del concreto



Fuente: Elaboración propia

Penetración de agua

Para la elaboración de este método se utilizó como referencia la norma española UNE – EN 12390 – 8, dentro de esta prueba se tiene tener cuidado si es que se observa alguna filtración de agua.

Imagen 21: Penetración de agua



Fuente: Elaboración propia

Absorción de agua

La norma ASTM C 1585, me brindó los pasos a seguir para el proceso de este ensayo.

Imagen 22: Absorción de agua



Fuente: Elaboración propia

Resistividad Eléctrica

Este método de ensayo se realizó bajo los pasos descritos en la norma UNE 83988 – 2. Se tuvo probetas cilíndricas de 250 mm de ancho.

Imagen 23: Resistividad Eléctrica



Fuente: Elaboración propia

Penetración de ion cloruro

Para la obtención de los datos se cumplió los pasos estipulados en la normativa ASTM C 1202.

Imagen 24: Penetración de ion cloruro



Fuente: Elaboración propia

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En el transcurso del estudio se empleó las técnicas:

Análisis de contenido

Se realizó la técnica análisis de documentos, donde lo primero fue la recopilación de datos referente a la investigación para poder desarrollar los puntos clave. En esta investigación sería todo lo referente a los pavimentos rígidos con incorporación de fibra PET.

Instrumentos técnicos – normativos

- Norma Técnica Peruana
- Manual de Ensayo de Materiales
- Manual de Carreteras
- Norma ASTM
- Norma UNE
- AASHTO 1993
- Portland Cement Association

Instrumentos – Gabinete

- Fichas de laboratorio
- Libreta de campo
- Pc o laptop

Instrumentos de programa de cómputo

- Microsoft Excel
- Microsoft Word

Pruebas

- Ensayo de materiales: Análisis Granulométricos, Humedad, Peso Específico, Absorción, Peso Volumétrico del Agregado Fino y Grueso.
- Ensayo del concreto en estado fresco: Asentamiento, Exudación

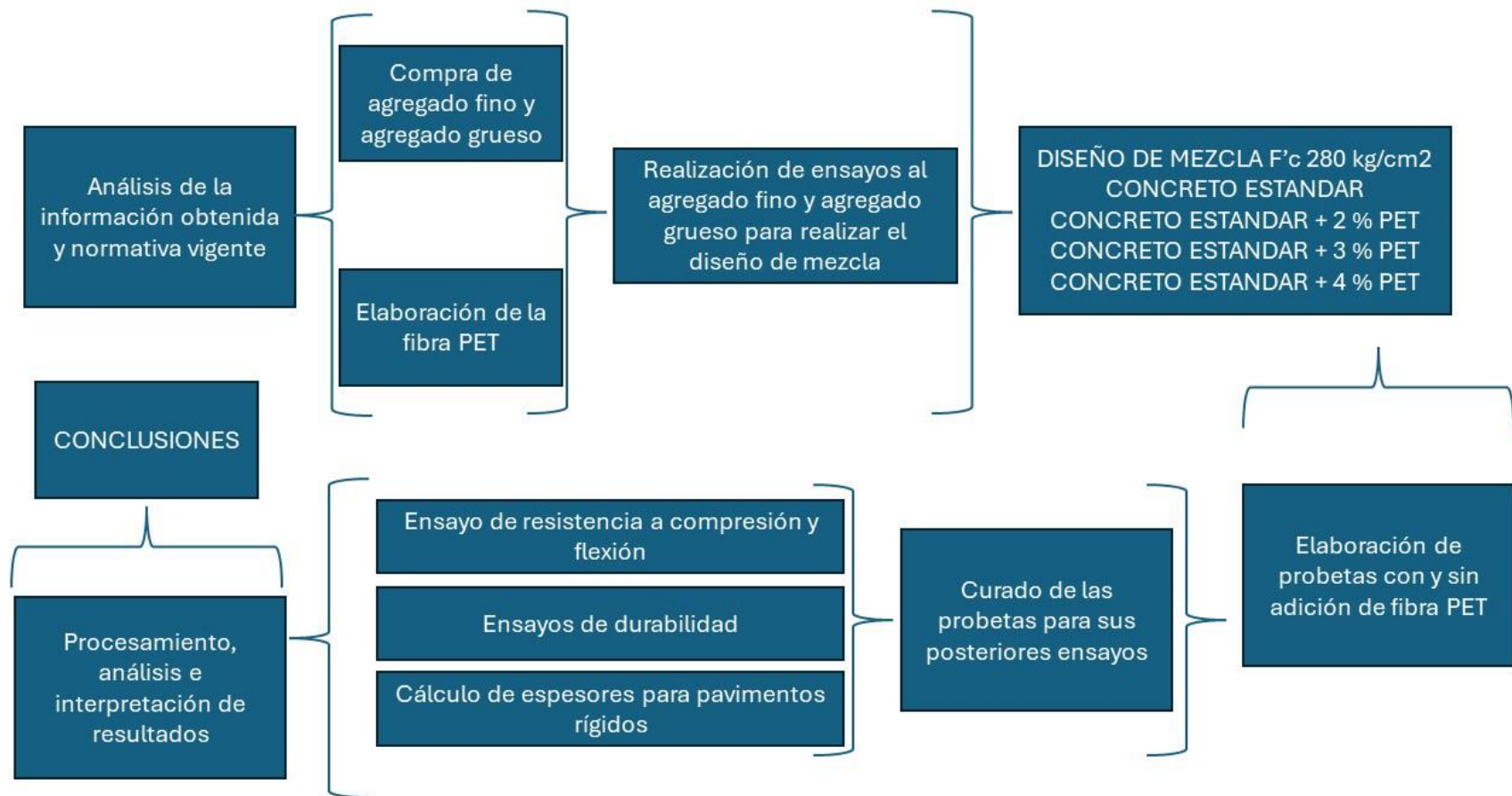
- Ensayo de concreto en estado endurecido: Resistencia a la Compresión, Resistencia a la Flexión, Abrasión, Fisuración, Absorción, Permeabilidad

Tabla 38: Operacionalización de Variables

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES				
VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
DURABILIDAD	Fisuración Por Contracción Plástica	Determinar el espesor de fisuración en losas de concreto	Milímetros	ASTM 1579 – 06
	Resistencia a la Abrasión	Analizar el desgaste por rozamiento en probetas de concreto	Porcentaje	ASTM C 944
	Penetración de Agua Bajo Presión	Velocidad de infiltración del concreto	Milímetros	UNE – EN 12390 – 8
	Velocidad de Absorción Agua (Absortividad)	Analizar la variación de masas en probetas de concreto para determinar una referencia rápida de la velocidad	Milímetros	ASTM C 1585
	Exudación en la Mezcla de Concreto	Acumulación de agua en la superficie de la mezcla	Mililitros	ASTM C232 / C232M - 12
RESISTENCIA A FLEXIÓN	Ensayo de SLUMP	Consistencia del concreto	Pulgadas	Cinta métrica / NTP 339.034
	Ensayo de esfuerzo a la flexión en vigas	Resistencia a la flexión – 28 días	Kg/cm ²	Prensa Hidráulica / NTP 339.078
VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS Y UNIDADES DE MEDICIÓN	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
FIBRAS PET	Geometría de las fibras	Longitud	Centímetros	Cinta métrica
		Espesor	Centímetros	Cinta métrica
		Proporción	Kilogramos	Balanza
VARIABLE INTERVINIENTES	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS Y UNIDADES DE MEDICIÓN	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
AGREGADOS NATURALES - Agregado Fino - Agregado grueso	Propiedades físicas de los agregados	Granulometría	Milímetros	NTP 339.185
		Humedad	Porcentaje	NTP 400.022
		Absorción	Porcentaje	NTP 400.021 – NTP 400.022
		Peso específico	Gr/cm ³	NTP 400.017
		Peso unitario	Kg/m ³	NTP 400.012
CEMENTO	Características	Tipo II (MH)MS	Kilogramos	Balanza

Fuente: Elaboración Propia

Imagen 25: Diagrama de flujo



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 26: Matriz de consistencia

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES			
¿Cómo influye las fibras PET en la resistencia flexión y durabilidad de un pavimento rígido en las zonas costeras de Lambayeque?	Objetivo General	"La incorporación de fibras PET influirá positivamente la resistencia flexión y durabilidad del pavimento rígido en zonas costeras de Lambayeque"	Variable Independiente: Fibras PET			
	Evaluar la resistencia flexión y durabilidad de un pavimento rígido convencional con adiciones de fibras PET a distintos porcentajes para un $f'c$ 280 kg/cm ² en zonas costeras de Lambayeque		Características	Dosificación		
	Objetivos Específicos		Variable Dependiente: Resistencia A La Flexión y Durabilidad			
	Identificar y caracterizar el PET para usar en pavimentos rígidos en zonas costeras de Lambayeque		Fisuración por contracción plástica - ASTM 1579 - 06	Resistencia a la abrasión - ASTM C 944	Penetración de Agua Bajo Presión - UNE - EN 12390 - S	
	Verificar la resistencia flexión bajo la influencia del PET para un concreto $f'c$ 280 kg/cm ²		Velocidad de Absorción de Agua - ASTM C 1585	Exudación del Concreto - ASTM C 232	Ensayo de esfuerzo a la flexión en vigas - NTP 339.078	
	Verificar la durabilidad bajo la influencia del PET para un concreto $f'c$ 280 kg/cm ²		Variable Interviniente: Agregados Naturales y Cemento			
	Evaluación del resultado de resistencia flexión, durabilidad con respecto al concreto convencional		Granulometría - NTP 339.185	Humedad - NTP 400.022	Absorción - NTP 400.021 - NTP 400.022	
	Diseñar un pavimento rígido aprovechando tereftalato de polietileno bajo las normativas AASHTO (1993) y PCA		Peso Específico - NTP 400.017	Peso Unitario - NTP 400.012		
Evaluar la rentabilidad económica del uso del PET en pavimentos rígidos						

Resultados

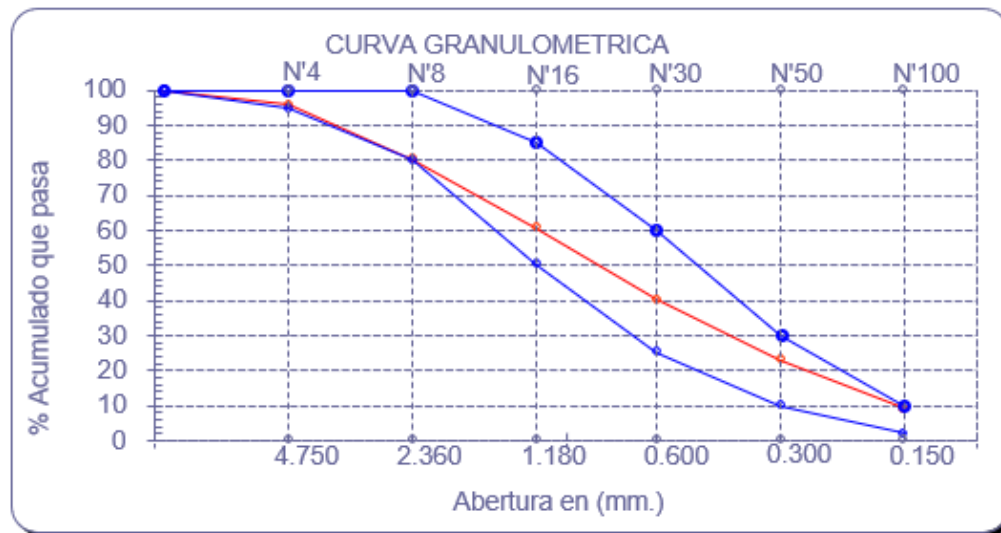
A. Fino

Tabla 39: Granulometría A. Fino

Malla	Peso	(%)	(%) Acum.	(%) Acum.
Pulg.	(mm.)	Ret.	Ret.	Que Pasa
1/2"	12.700	0	0.0	100.0
3/8"	9.500	0	0.0	100.0
N° 04	4.750	20.7	4.2	95.8
N° 08	2.360	75.8	15.4	80.4
N° 16	1.180	96.6	19.7	60.7
N° 30	0.600	100.2	20.4	40.3
N° 50	0.300	85.2	17.3	23.0
N° 100	0.150	68.2	13.9	9.1
Fondo		44.6	9.1	100.0
Módulo de Fineza			2.908	
Abertura de malla de referencia			9.500	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 3: Curva Granulométrica A. Fino



Fuente: Elaboración propia

Los valores obtenidos en el ensayo de granulometría del A. fino cumplen con lo estipulado en la NTP 400.037, cabe resaltar que el agregado retenido entre mallas consecutivas no supera el 45%; además, el módulo de fineza se halla dentro de los parámetros establecidos.

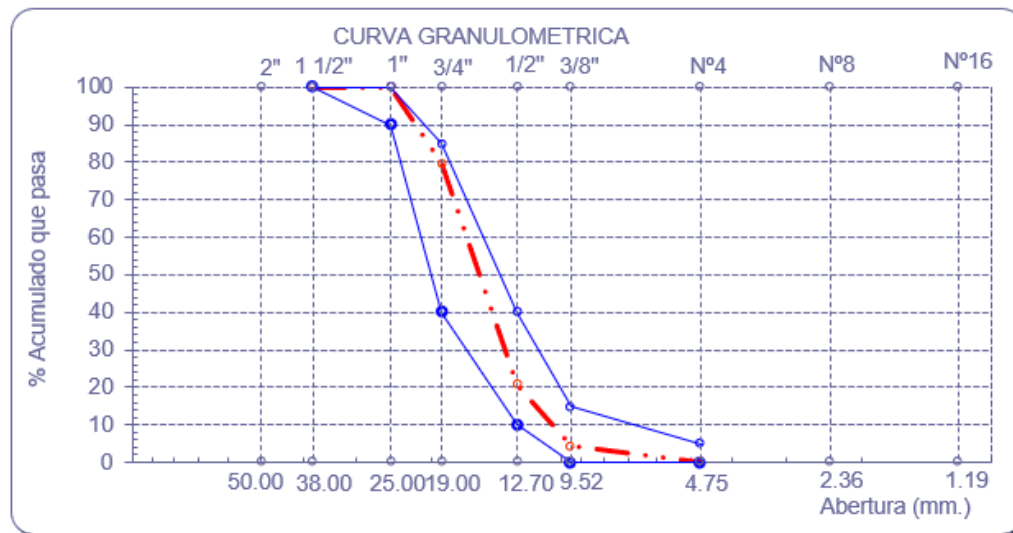
A. Grueso

Tabla 40: Granulometría A. Grueso

Malla	(mm.)	(%)	(%) Acum.	(%) Acum.
Pulg.		Ret.	Ret.	Que Pasa
2"	50.00	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	100.0
1"	25.00	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.00	20.2	20.2	79.8
1/2"	12.70	59.2	79.4	20.6
3/8"	9.52	16.4	95.8	4.2
Nº 04	4.75	4.0	99.8	0.2
Nº 08	2.36	0.1	99.9	0.1
Nº 16	1.19	0.0	99.9	0.1
Fondo		0.1	100.0	0.0
Tamaño Máximo		1"	25.00	
Tamaño Máximo Nominal		3/4"	19.00	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 4: Curva Granulométrica A. Grueso



Fuente: Elaboración propia

Tabla 41: Resultado de los Agregados Naturales

Agregado	C.H. (%)	PUS (kg/m ³)	PUCS (kg/m ³)	Pe (g/cm ³)	Absorción (%)
Agregado Fino	1.77	1524	1709	2.578	1.07
Agregado Grueso	0.33	1387	1555	2.642	1.06

Fuente: Elaboración propia

Coefficiente de Uniformidad

Se define el coeficiente de uniformidad (CU) como la relación entre el diámetro correspondiente al 60% del peso acumulado del material y el diámetro que permite el paso del 10% del mismo, expresado como $CU = d_{60}/d_{10}$. Cabe señalar que si este coeficiente es menor a 5, la distribución granulométrica se considera uniforme; si se encuentra entre 5 y 20, el suelo presenta una gradación poco uniforme; mientras que valores superiores a 20 indican que el suelo está bien gradado.

Coefficiente de Curvatura

La fórmula $CC = ((D_{30})^2/(D_{10} \cdot D_{60}))$ define y evalúa el grado de curvatura de la distribución granulométrica.

Los suelos bien graduados presentarán una menor proporción de espacios vacíos, lo que resultará en una mayor densidad. Como consecuencia, serán menos compresibles, más impermeables y manejables durante la construcción.

d 10			d 30			d 60					
D2	0.150	D2	0.300	D2	1.180	D2	9.52	D2	12.7	D2	12.7
D1	0.300	D1	0.600	D1	2.360	D1	12.70	D1	19.0	D1	19.0
D10	0.166	D30	0.443	D60	1.131	D10	11.245	D30	14.447	D60	17.671
% 2	9.1	% 2	23.0	% 2	60.7	% 2	4.2	% 2	20.6	% 2	20.6
% 1	23.0	% 1	40.3	% 1	80.4	% 1	20.6	% 1	79.8	% 1	79.8

$$CU = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

$$CU_{A.Fino} = \frac{1.311}{0.166}$$

$$CU_{A.Fino} = 6.831$$

$$CU_{A.Grueso} = \frac{17.671}{11.245}$$

$$CU_{A.Grueso} = 1.571$$

$$CC = \frac{d_{30}^2}{d_{10} * d_{60}}$$

$$CC_{A.Fino} = \frac{0.443^2}{0.166 * 1.131}$$

$$CC_{A.Fino} = 1.045$$

$$CC_{A.Grueso} = \frac{14.447^2}{11.245 * 17.671}$$

$$CC_{A.Grueso} = 1.05$$

Diseño de mezcla

Para el diseño de mezcla patrón se utilizó la metodología determinada por ACI 211.

- Selección de SLUMP: el asentamiento varía según la resistencia requerida para el diseño.

$$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2 = 3''$$

- Tamaño Máximo Nominal.

$$\text{TMN} = 3/4''$$

- Agua para la mezcla:

$$W = 205 \text{ lt/m}^3$$

- Determinar la resistencia de dosificación ($f'cr$), el valor del factor está determinado por la norma E 060.

$$f'cr = 280 \text{ kg/cm}^2 + 84 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'cr = 364 \text{ kg/cm}^2$$

- Relación a/c se estableció tomando en cuenta los criterios por durabilidad ya que se considera exposición al agua de mar dado que la investigación se orienta a las condiciones de las zonas costeras de Lambayeque.

$$a/c = 0.45$$

- Condiciones secas y húmedas

Tabla 42: Materiales en condiciones secas para el diseño de mezcla

Material para 1m ³ de concreto en condiciones secas		
Cemento:	480.00	Kg
A. Grueso:	824.93	Kg
A. Fino:	602.44	Kg
Agua:	216.00	Lts

Fuente: Elaboración propia

Tabla 43: Materiales en condiciones húmedas para el diseño de mezcla

Material para 1m ³ de concreto en condiciones húmedas		
Cemento:	496.03	Kg
A. Grueso:	827.57	Kg
A. Fino:	609.43	Kg
Agua:	223.21	Lts

Fuente: Elaboración propia

Tabla 44: Dosificación en peso y volumen

MATERIAL	f'c 280kg/cm2	
	En peso	En Volumen
Cemento	1	1
Agua de diseño (L)	19.12	19.12
Agregado Fino (kg)	1.23	1.33
Agregado Grueso (kg)	1.67	1.64

Fuente: Elaboración propia

Para calcular lo requerido de fibra PET estuvo en función del peso del cemento es por ello por lo que se tuvo que multiplicar el porcentaje requerido por el valor de cemento.

Tabla 45: Dosificación en peso y volumen de PET

MATERIAL	f'c 280kg/cm2	
	En peso	En Volumen
0% PET	0	0
2% PET	0.02	0.02
3% PET	0.03	0.03
4% PET	0.04	0.04

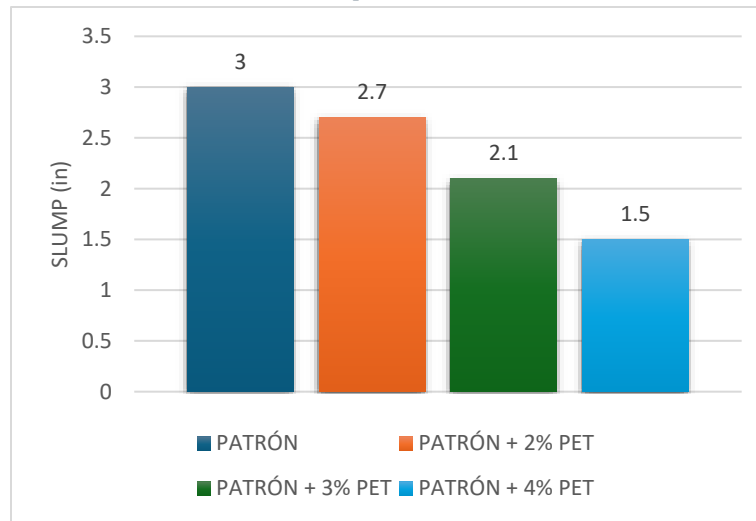
Fuente: Elaboración propia

Asentamiento del concreto

Tabla 46: Resultados de SLUMP

MAUESTRA	SLUMP
PATRÓN + 0% PET	3''
PATRÓN + 2% PET	2.7''
PATRÓN + 3% PET	2.1''
PATRÓN + 4% PET	1.5''

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 5: Comparación del asentamiento

Fuente: Elaboración propia

El asentamiento de la mezcla patrón se encuentra en lo estipulado para el diseño para pavimentos rígidos; además, a medida que la fibra PET se va incorporando en la mezcla este disminuye. Se observó que al añadir un 2% de fibra PET el SLUMP se reduce en un 10%, al 3% disminuye en 30% y 4% tiene una reducción de 50%.

Exudación del concreto

Al realizar el método para la exudación del concreto se pudo obtener valores de 0 exudación tanto para el diseño de concreto patrón y con añadidura de fibra PET al 2%, 3% y 4%.

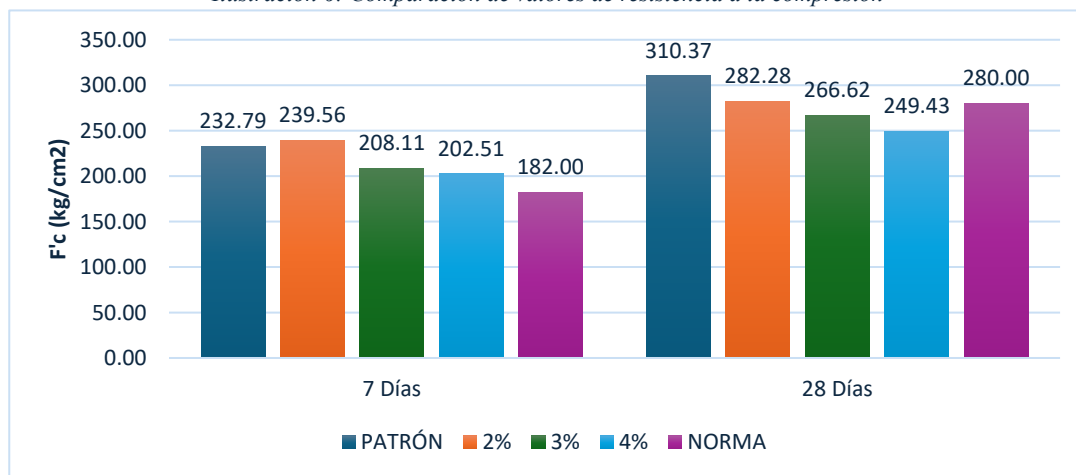
Resistencia a la compresión

Tabla 47: Resultados resistencia a la compresión

IDENTIFICACIÓN DE CONCRETO DE PATRÓN	DÍAS	DIÁMETRO (d) (cm)	CARGA (P) (kg)	f'c	
				(kg/cm ²)	Promedio
280kg/cm ²	7	10	17700	225	232.79
280kg/cm ²	7	10	18000	229	
280kg/cm ²	7	10	19150	244	310.37
280kg/cm ²	28	10	24405	311	
280kg/cm ²	28	10	24380	310	310.37
280kg/cm ²	28	10	24345	310	
+ 2% PET	7	10	18160	231	239.56
+ 2% PET	7	10	19470	248	
+ 2% PET	7	10	18815	240	282.28
+ 2% PET	28	10	23180	295	
+ 2% PET	28	10	21160	269	282.28
+ 2% PET	28	10	22170	282	
+ 3% PET	7	10	16260	207	208.11
+ 3% PET	7	10	16430	209	
+ 3% PET	7	10	16345	208	266.62
+ 3% PET	28	10	21110	269	
+ 3% PET	28	10	20770	264	266.62
+ 3% PET	28	10	20940	267	
+ 4% PET	7	10	16310	208	202.51
+ 4% PET	7	10	15500	197	
+ 4% PET	7	10	15905	203	249.43
+ 4% PET	28	10	19050	243	
+ 4% PET	28	10	20130	256	249.43
+ 4% PET	28	10	19590	249	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 6: Comparación de valores de resistencia a la compresión



Fuente: Elaboración propia

Este ensayo de resistencia a compresión permitió verificar lo requerido en pavimentaciones rígidas, el cual es de $f'c$ 280 kg/cm².

La ilustración 8 representa una comparación con los distintos diseños realizados entre las resistencias a compresión alcanzadas a los 7 y 28 días, la resistencia requerida por norma está representada de color morado.

Se puede observar que a los días iniciales de curado todos los diseños pudieron alcanzar más del 65% de la resistencia requerida, dando entender que tienen una buena resistencia inicial; además, se pudo evidenciar que el diseño con adición de 2% de PET fue la mejor. También muestra que, a los 28 días de curado donde se alcanza la mayor resistencia del concreto, el diseño patrón es 310.37 kg.

Según los resultados obtenidos se puede notar que al llegar a la resistencia máxima mientras mayor es la adición de fibra PET la resistencia es menor.

Según lo estipulado en las normativas para pavimentos los diseños con adición de 3% y 4% de fibra PET no son aptos.

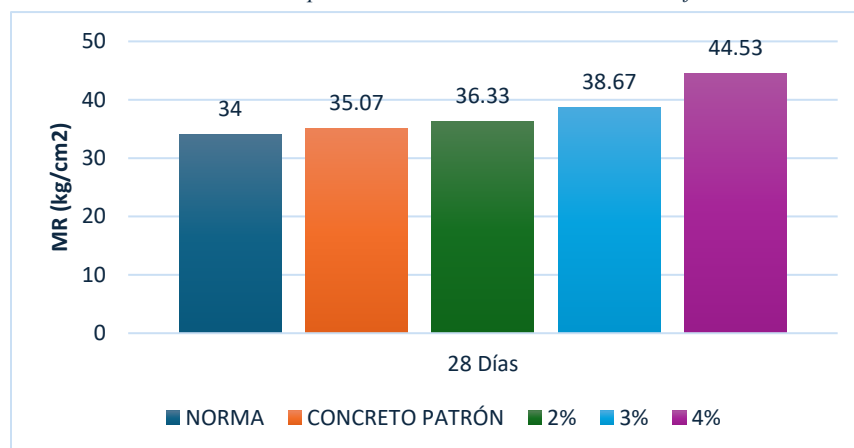
Resistencia a flexión

Tabla 48: Resultados resistencia flexión

Denominación de Espécimen	Carga (N)	Antigüedad del Espécimen	Módulo de Rotura (MPa)	Módulo de Rotura (Kg/cm ²)	Módulo de Rotura (Kg/cm ²) Promedio
CONCRETO PATRÓN	26183.622	28	3.5	35.60	
CONCRETO PATRÓN	25399.094	28	3.4	34.53	35.07
CONCRETO PATRÓN	25791.358	28	3.4	35.07	
CONCRETO PATRÓN + 2% PET	26673.952	28	3.6	36.27	
CONCRETO PATRÓN + 2% PET	26772.018	28	3.6	36.40	36.33
CONCRETO PATRÓN + 2% PET	26722.985	28	3.6	36.33	
CONCRETO PATRÓN + 3% PET	28537.206	28	3.8	38.80	
CONCRETO PATRÓN + 3% PET	28341.074	28	3.8	38.53	38.67
CONCRETO PATRÓN + 3% PET	28439.14	28	3.8	38.67	
CONCRETO PATRÓN + 4% PET	32950.176	28	4.4	44.80	
CONCRETO PATRÓN + 4% PET	32557.912	28	4.3	44.27	44.53
CONCRETO PATRÓN + 4% PET	32754.044	28	4.4	44.53	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 7: Comparación de valores de resistencia a la flexión



Fuente: Elaboración propia

La resistencia a flexión se realizó a los 28 días con el fin de utilizar los resultados para el diseño de pavimentos; además, según los resultados cumplen con la norma CE 010 donde estipula que el mínimo requerido para pavimentos rígidos en el Perú es de 34 kg/cm².

Se pudo evidenciar que la adición de fibra PET ayuda a tener una mayor resistencia debido a su adherencia con el concreto; también, se muestra que a mayor cantidad de fibra incorporada la resistencia aumenta, siendo al 2% un incremento de 3.6%, al 3% un aumento de 10.27% y al 4% en un 26.97% esto con respecto al diseño de concreto patrón.

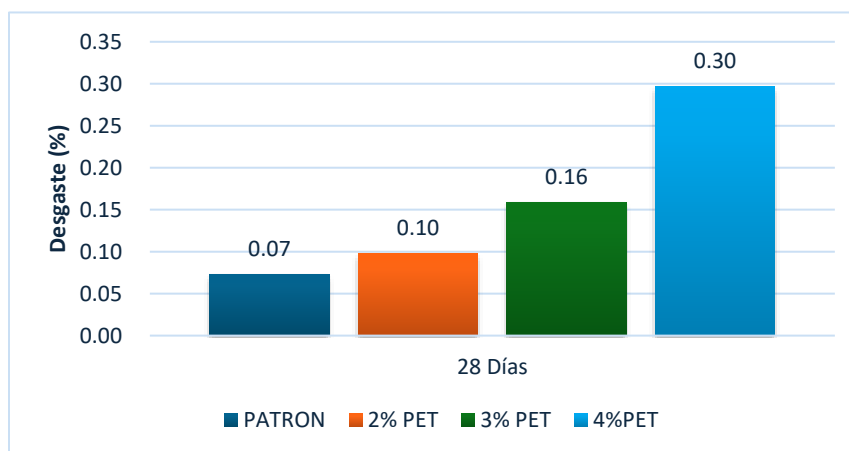
Abrasión del concreto

Tabla 49: Resultados de abrasión del concreto

MUESTRA	MASA DE MUESTRA (g)				DESGASTE (%)	PROMEDIO (%)
	Masa inicial	Primer ciclo	Segundo ciclo	Tercer ciclo		
PATRON	821.68 g.	821.44 g.	821.23 g.	821.05 g.	0.08	0.07
	849.38 g.	849.18 g.	848.99 g.	848.79 g.	0.07	
P + 2% PET	975.53 g.	975.16 g.	974.87 g.	974.51 g.	0.10	0.10
	959.19 g.	958.87 g.	958.64 g.	958.32 g.	0.09	
P + 3% PET	976.70 g.	976.13 g.	975.55 g.	975.07 g.	0.17	0.16
	968.80 g.	968.13 g.	967.75 g.	967.35 g.	0.15	
P + 4%PET	892.01 g.	890.12 g.	889.64 g.	889.22 g.	0.31	0.30
	881.68 g.	880.03 g.	879.58 g.	879.20 g.	0.28	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 8: Comparación de valores de abrasión del concreto



Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos del ensayo de abrasión al concreto, muestra que el diseño patrón resiste más que los otros; esto evidencia que, mientras mayor es la incorporación de fibra PET mayor es el desgaste. Se tiene que al incorporar fibra al 2% su desgaste aumenta en un 42.86%, al 3% incrementa en 128.57% y al 4% en 328.57%.

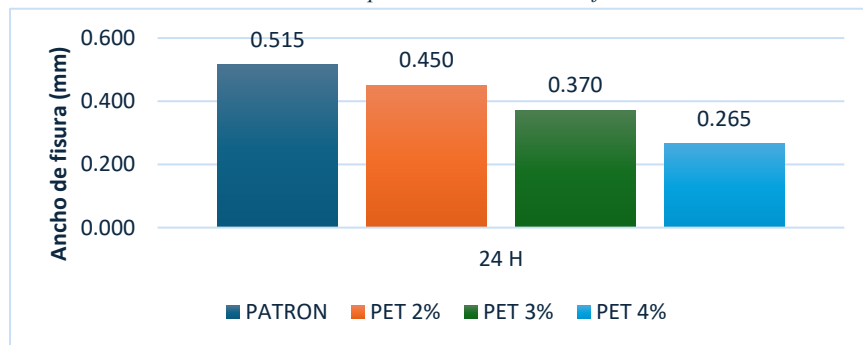
Fisuración del concreto

Tabla 50: Resultados de fisuración del concreto

DESCRIPCIÓN	Dimensiones del Panel			Área de evaporación (m ²)	Ancho de Fisura (mm)	Ancho de Fisura Promedio (mm)
	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Profundidad (mm)			
Concreto Patrón	560	350	100	0.196	0.52	0.515
Concreto Patrón	560	350	100	0.196	0.51	
P + 2% PET	560	350	100	0.196	0.43	0.450
P + 2% PET	560	350	100	0.196	0.47	
P + 3% PET	560	350	100	0.196	0.35	0.370
P + 3% PET	560	350	100	0.196	0.39	
P + 4% PET	560	350	100	0.196	0.29	0.265
P + 4% PET	560	350	100	0.196	0.24	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 9: Comparación de valores de fisuración



Fuente: Elaboración propia

Con los resultados obtenidos se muestra que la fibra PET aporta menor fisuración por contracción plástica; ya que, la fibra tiene buena adherencia en la mezcla.

Respecto al diseño patrón la adición de 2% de PET disminuye en 12.62%, el de 3% en 28.16% y al 4% en 48.54%, estos resultados dan a entender que a medida que la incorporación de fibra la fisuración disminuye.

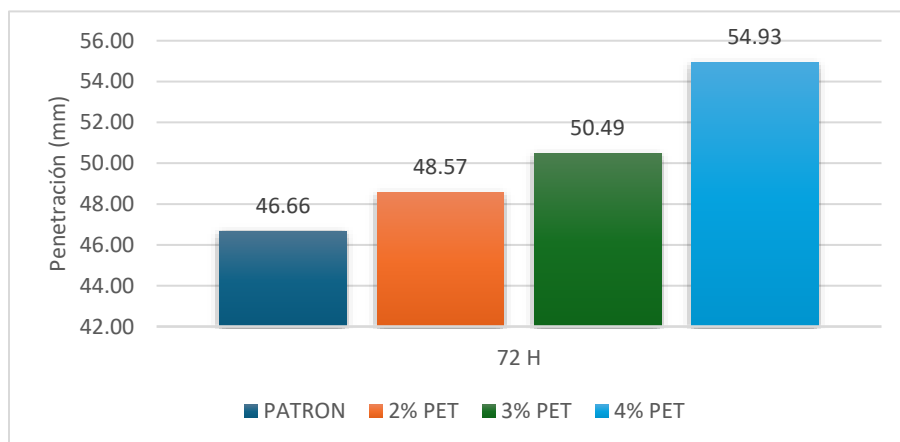
Penetración de agua

Tabla 51: Resultados de penetración de agua

Descripción de la Muestra (kg/cm ²)	Tiempo (72 ± 2 Horas)	Cara	Penetración Máxima (mm)		
			Unidad	Promedio	Promedio
PATRON	72	A	47.80	47.99	46.66
		B	48.17		
	72	A	45.21	45.33	
		B	45.44		
2% PET	72	A	49.35	49.50	48.57
		B	49.64		
	72	A	47.58	47.65	
		B	47.71		
3% PET	72	A	51.35	51.10	50.49
		B	50.84		
	72	A	49.81	49.89	
		B	49.96		
4% PET	72	A	54.35	54.55	54.93
		B	54.74		
	72	A	55.21	55.32	
		B	55.42		

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 10: Comparación de valores - Penetración de agua



Fuente: Elaboración propia

Concluida la prueba de infiltración de agua a presión se pudo demostrar un aumento de permeabilidad en el concreto al incrementar el porcentaje de fibra PET, teniendo respecto a la muestra patrón incrementos de 4.09% para diseño de 2%, para el 3% un aumento de 8.21% y para el diseño de incorporación del 4% un incremento del 17.72%.

Absorción de agua

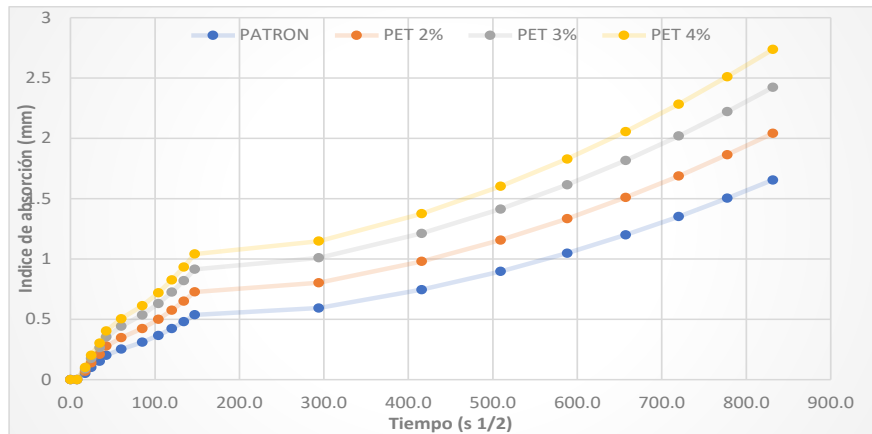
Tabla 52: Resultados de absorción de agua

PATRÓN		PATRÓN + 2% PET		PATRÓN + 3% PET		PATRÓN + 4% PET	
M/H/D	I	M/H/D	I	M/H/D	I	M/H/D	I
0	0	0	0	0	0	0	0
1 min	0.0505	1 min	0.0695	1 min	0.0883	1 min	0.1009
5 min	0.1010	5 min	0.1390	5 min	0.1766	5 min	0.2018
10 min	0.1515	10 min	0.2085	10 min	0.2650	10 min	0.3027
20 min	0.2021	20 min	0.2780	20 min	0.3533	20 min	0.4036
30 min	0.2526	30 min	0.3475	30 min	0.4416	30 min	0.5045
60 min	0.3094	60 min	0.4234	60 min	0.5362	60 min	0.6117
2 horas	0.3662	2 horas	0.4992	2 horas	0.6309	2 horas	0.7189
3 horas	0.4231	3 horas	0.5750	3 horas	0.7255	3 horas	0.8261
4 horas	0.4799	4 horas	0.6508	4 horas	0.8201	4 horas	0.9333
5 horas	0.5367	5 horas	0.7267	5 horas	0.9147	5 horas	1.0405
6 horas	0.5935	6 horas	0.8025	6 horas	1.0094	6 horas	1.1477
1 día	0.7451	1 día	0.9794	1 día	1.2112	1 día	1.3747
2 días	0.8966	2 días	1.1564	2 días	1.4131	2 días	1.6017
3 días	1.0482	3 días	1.3333	3 días	1.6150	3 días	1.8288
4 días	1.1997	4 días	1.5102	4 días	1.8169	4 días	2.0558

5 días	1.3512	5 días	1.6871	5 días	2.0187	5 días	2.2828
6 días	1.5028	6 días	1.8641	6 días	2.2206	6 días	2.5098
7 días	1.6543	7 días	2.0410	7 días	2.4225	7 días	2.7368
8 días	1.8059	8 días	2.2179	8 días	2.6244	8 días	2.9638

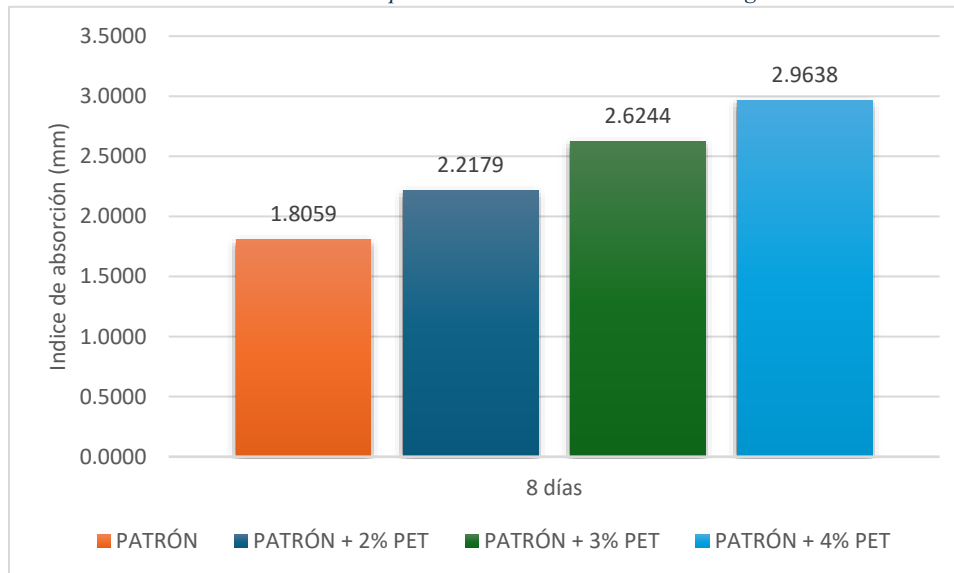
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 11: Comparación de valores - Absorción de agua



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 12: Comparación de valores - Absorción de agua



Fuente: Elaboración propia

Según los datos obtenidos al realizar los análisis se puede identificar que, teniendo en cuenta el diseño patrón la absorción aumenta en los diseños con incorporación de fibra PET, se observa que a mayor porcentaje de fibra mayor es la absorción de agua.

Respecto al diseño patrón la absorptividad para el diseño con adición del 2% de PET aumenta en 22.81%, para el diseño de 3% de PET incrementa en 43.32% y para el diseño de 4% de PET en 62.62%.

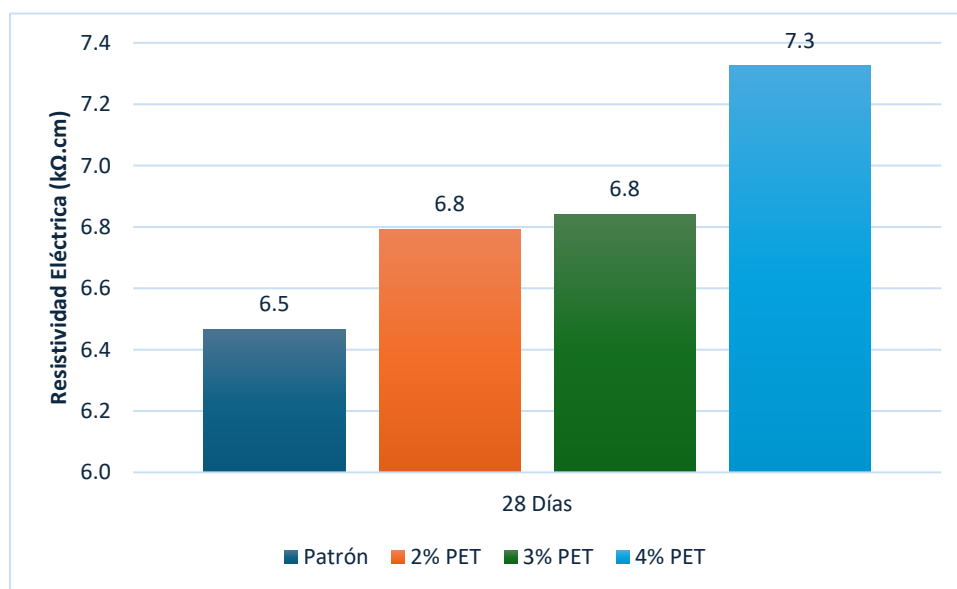
Resistividad Eléctrica

Tabla 53: Resultados de Resistividad Eléctrica

IDENTIFICACIÓN	F'c	EDAD	TEMPERATURA	RESISTIVIDAD ELÉCTRICA	PROMEDIO
Concreto Patrón	280	28	19.5	6.40	6.47
Concreto Patrón	280	28	19.5	6.53	
CP + 2% PET	280	28	19.5	6.80	6.79
CP + 2% PET	280	28	19.5	6.78	
CP + 3% PET	280	28	19.5	6.90	6.84
CP + 3% PET	280	28	19.5	6.78	
CP + 4% PET	280	28	19.5	7.32	7.33
CP + 4% PET	280	28	19.5	7.33	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 13: Variación de valores - Resistividad Eléctrica



Fuente: Elaboración propia

Al observar los datos se puede evidenciar que la resistividad eléctrica en todos los diseños es alta ya que se encuentran en un rango de resistividad entre 5 – 10 k Ω .cm. Además, se muestra que al incorporar la fibra PET en mayores porcentajes la resistividad aumenta en 4.95% para la adición de 2% PET, 5.72% para la adición de 3% PET y 13.29% para la adición de 4% PET, esto teniendo en cuenta el concreto patrón que su resistividad fue de 6.47 k Ω .cm.

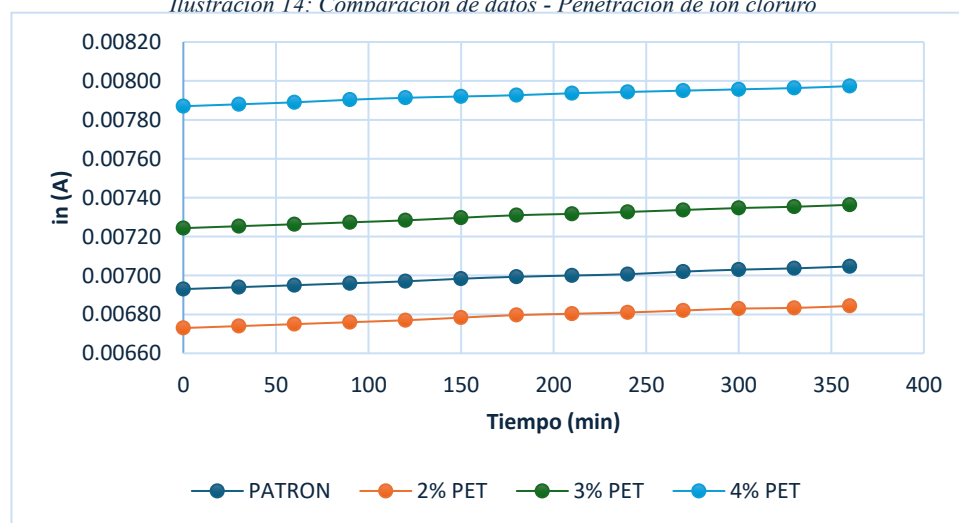
Penetración de ion cloruro

Tabla 54: Resultados de Penetración de Ion Cloruro

Registro de Datos		PATRON	2% PET	3% PET	4% PET
Dato N°	t (30min)	in (A)	in (A)	in (A)	in (A)
1	0	0.00693	0.006730	0.007243	0.007870
2	30	0.00694	0.006740	0.007253	0.007880
3	60	0.00695	0.006750	0.007263	0.007890
4	90	0.00696	0.006760	0.007273	0.007903
5	120	0.00697	0.006770	0.007283	0.007913
6	150	0.00698	0.006783	0.007297	0.007920
7	180	0.00699	0.006797	0.007310	0.007927
8	210	0.00700	0.006803	0.007317	0.007937
9	240	0.00701	0.006810	0.007327	0.007943
10	270	0.00702	0.006820	0.007337	0.007950
11	300	0.00703	0.006830	0.007347	0.007957
12	330	0.00704	0.006833	0.007353	0.007963
13	360	0.00705	0.006843	0.007363	0.007973

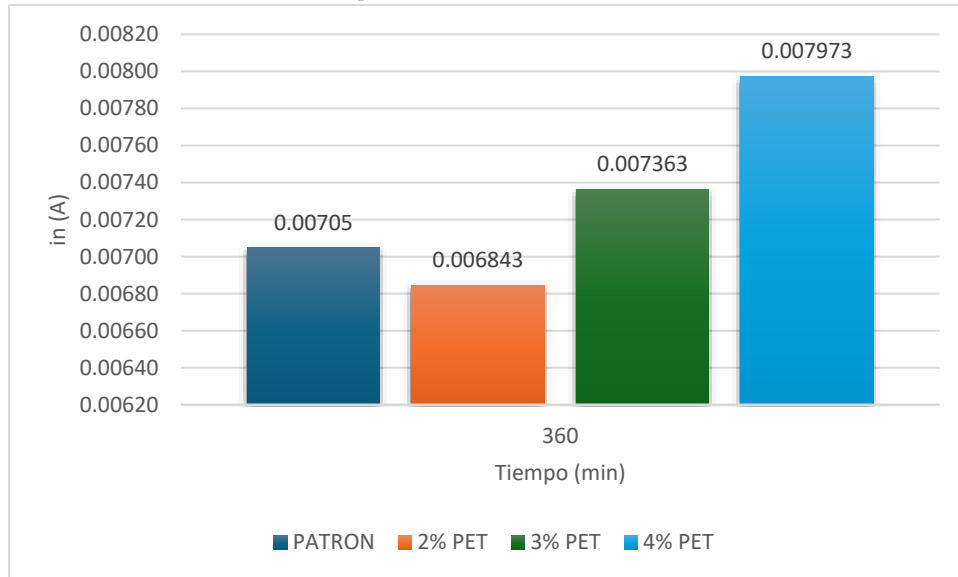
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 14: Comparación de datos - Penetración de ion cloruro



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 15: Comparación de datos - Penetración de ion cloruro



Fuente: Elaboración propia

Al ejecutar este método de ensayo se pudo obtener que la penetración de ion cloruro fue “muy baja” para todos los diseños de concreto debido a que se encuentran en un rango de 100 – 1000 coulomb. Se puede determinar que respecto al concreto patrón la penetración de ion cloruro para el diseño con fibra PET al 2% disminuye en 2.94% y para los diseños de 3% y 4% aumenta en 4.44% y 13.09%.

Se determinó que a pesar de que todos tiene muy baja penetración de ion cloruro los resultados de la incorporación de 2% PET fueron los mejores.

Diseño de Pavimentos

AASHTO 93

Para realizar el diseño de pavimentos rígidos bajo la normativa AASHTO 93 se consideró tomar los valores máximos permisibles para un pavimento con $f'c$ 280 kg/cm², además se utilizó los valores conseguidos por el ensayo de resistencia a flexión. El MTC recomienda que el valor de la subbase granular sea de 15 cm.

$$\log_{10} W_{82} = Z_R S_0 + 7.35 \log_{10}(D + 25.4) - 10.39 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.525 * 10^{19}}{(D + 25.4)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 P_i) * \log_{10} \left(\frac{M_r C_d (0.09 D^{0.75} - 1.132)}{1.51 * J \left(0.09 D^{0.75} - \frac{7.38}{\left(\frac{E_c}{k} \right)^{0.25}} \right)} \right)$$

A fin de llevar a cabo el diseño de pavimento rígido patrón se tomó en cuenta las mediciones obtenidos por los ensayos realizados tanto como compresión y flexión, siendo así el $f'c$ 310.37 kg/cm² y flexión 3.44 MPa.

TIPO DE CONCRETO	PETT		f'c (Kg/cm ²)
	0%		280.00
Datos de Entrada			
ESALS	W_{82}	= 1000000	EE
Índice de Serviciabilidad Inicial	P_i	= 4.10	
Índice de Serviciabilidad Terminal	P_t	= 2.00	
Diferencia de Serviciabilidad	ΔPSI	= 2.10	
Confiabilidad	R	= 0.80	
Desviación Estándar Normal	Z_R	= -0.842	
Error Estándar Combinado	S_0	= 0.35	
Espesor del Pavimento de Concreto	D	= 209	mm (asumir)
Espesor de la Subbase Granular	h	= 15	cm
CBR de Reacción Subrasante	CBR_0	= 8	
CBR de Reacción Subbase Granular	CBR_1	= 45	
Módulo de Reacción Subrasante	K_0	= 49.96	MPa/m
Módulo de Reacción Subbase Granular	K_1	= 126.47	MPa/m
Módulo de Reacción	K	= 56.73	MPa/m
Resistencia a la Flexión del Concreto	Mr	= 3.44	MPa
Módulo de Elasticidad del Concreto	E	= 26119	MPa
Coefficiente de Drenaje	C_d	= 1.00	
Coefficiente de Transmisión de Cargas	J	= 3.8	

Resolviendo la ecuación

$$\begin{aligned} \text{Primer miembro} &= \text{Segundo miembro} \\ 6.00 &= -0.29 + 17.42 + -10.39 + -0.14 + -0.60 \\ 6.00 &= 6.00 \end{aligned}$$

Datos de Salida			
Espesor de Pavimento Calculado	D_{calc}	= 209	mm
Espesor de Pavimento Mínimo	D_{min}	= 150	mm
Espesor de Pavimento	D	= 209	mm
Espesor de Pavimento Final	D	= 250	mm

Para el diseño de pavimento rígido con añadidura de fibra PET al 2% se tomó en cuenta los valores obtenidos por los ensayos realizados tanto como compresión y flexión, siendo así el $f'c$ 382.28 kg/cm² y Mr 3.56 MPa.

TIPO DE CONCRETO	PET 2%	f'c (Kg/cm ²) 280.00
Datos de Entrada		
ESALS	W ₈₂ =	1000000 EE
Índice de Serviabilidad Inicial	P _i =	4.10
Índice de Serviabilidad Terminal	P _t =	2.00
Diferencia de Serviabilidad	ΔPSI =	2.10
Confiabilidad	R =	0.80
Desviación Estándar Normal	Z _R =	-0.842
Error Estándar Combinado	S ₀ =	0.35
Espesor del Pavimento de Concreto	D =	204 mm (asumir)
Espesor de la Subbase Granular	h =	15 cm
CBR de Reacción Subrasante	CBR ₀ =	8
CBR de Reacción Subbase Granular	CBR ₁ =	45
Módulo de Reacción Subrasante	K ₀ =	49.96 MPa/m
Módulo de Reacción Subbase Granular	K ₁ =	126.47 MPa/m
Módulo de Reacción	K =	56.73 MPa/m
Resistencia a la Flexión del Concreto	Mr =	3.56 MPa
Módulo de Elasticidad del Concreto	E =	24909 MPa
Coefficiente de Drenaje	Cd =	1.00
Coefficiente de Transmisión de Cargas	J =	3.8

Resolviendo la ecuación

Primer miembro = Segundo miembro

$$6.00 = -0.29 + 17.35 + -10.39 + -0.14 + -0.53$$

$$6.00 = 6.00$$

Datos de Salida			
Espesor de Pavimento Calculado	D_{cal}	=	204 mm
Espesor de Pavimento Mínimo	D_{min}	=	150 mm
Espesor de Pavimento	D	=	204 mm
Espesor de Pavimento Final	D	=	250 mm

Para el diseño de pavimento rígido con añadidura de fibra PET al 3% se tomó en cuenta los valores obtenidos por los ensayos realizados tanto como compresión y flexión, siendo así el f'c 366.62 kg/cm² y Mr 3.79 MPa.

TIPO DE CONCRETO	PET 3%	f'c (Kg/cm ²) 280.00
Datos de Entrada		
ESALS	W ₈₂ =	1000000 EE
Índice de Serviciabilidad Inicial	P _i =	4.10
Índice de Serviciabilidad Terminal	P _t =	2.00
Diferencia de Serviciabilidad	ΔPSI =	2.10
Confiabilidad	R =	0.80
Desviación Estándar Normal	Z _R =	-0.842
Error Estándar Combinado	S ₀ =	0.35
Espesor del Pavimento de Concreto	D =	195.9 mm (asumir)
Espesor de la Subbase Granular	h =	15 cm
CBR de Reacción Subrasante	CBR ₀ =	8
CBR de Reacción Subbase Granular	CBR ₁ =	45
Módulo de Reacción Subrasante	K ₀ =	49.96 MPa/m
Módulo de Reacción Subbase Granular	K ₁ =	126.47 MPa/m
Módulo de Reacción	K =	56.73 MPa/m
Resistencia a la Flexión del Concreto	Mr =	3.79 MPa
Módulo de Elasticidad del Concreto	E =	24208 MPa
Coefficiente de Drenaje	Cd =	1.00
Coefficiente de Transmisión de Cargas	J =	3.8

Resolviendo la ecuación

Primer miembro = Segundo miembro

$$6.00 = -0.29 + 17.24 + -10.39 + -0.13 + -0.42$$

$$6.00 = 6.00$$

Datos de Salida			
Esp. de Pavimento Calculado	<u>D_{calc}</u> =	195.9	mm
Esp. de Pavimento Mínimo	<u>D_{min}</u> =	150	mm
Esp. de Pavimento Final	D =	195.9	mm
Esp. de Pavimento Final	D =	200	mm

Para el diseño de pavimento rígido con añadidura de fibra PET al 4% se tomó en cuenta los valores obtenidos por los ensayos realizados tanto como compresión y flexión, siendo así el f'c 249.49 kg/cm² y Mr 4.19 MPa.

TIPO DE CONCRETO	PET 4%	f'c (Kg/cm ²) 280.00
Datos de Entrada		
ESALS	$W_{82} =$	1000000 EE
Índice de Serviciabilidad Inicial	$P_i =$	4.10
Índice de Serviciabilidad Terminal	$P_t =$	2.00
Diferencia de Serviciabilidad	$\Delta PSI =$	2.10
Confiabilidad	$R =$	0.80
Desviación Estándar Normal	$Z_R =$	-0.842
Error Estándar Combinado	$S_0 =$	0.35
Espesor del Pavimento de Concreto	$D =$	182.5 mm (asumir)
Espesor de la Subbase Granular	$h =$	15 cm
CBR de Reacción Subrasante	$CBR_0 =$	8
CBR de Reacción Subbase Granular	$CBR_1 =$	45
Módulo de Reacción Subrasante	$K_0 =$	49.96 MPa/m
Módulo de Reacción Subbase Granular	$K_1 =$	126.47 MPa/m
Módulo de Reacción	$K =$	56.73 MPa/m
Resistencia a la Flexión del Concreto	$M_r =$	4.19 MPa
Módulo de Elasticidad del Concreto	$E =$	23414 MPa
Coefficiente de Drenaje	$C_d =$	1.00
Coefficiente de Transmisión de Cargas	$J =$	3.8

Resolviendo la ecuación

Primer miembro = Segundo miembro

$$6.00 = -0.29 + 17.04 + -10.39 + -0.12 + -0.23$$

$$6.00 = 6.00$$

Información para salida		
Esp. de Pavimento Calculado	$D_{calc} =$	182.5(mm)
Esp. de Pavimento Mínimo	$D_{min} =$	150 (mm)
Esp. de Pavimento Final	$D =$	182.5 (mm)
Esp. de Pavimento Final	$D =$	200 (mm)

Ilustración 16: Comparación de datos calculados – Espesor de Pavimento

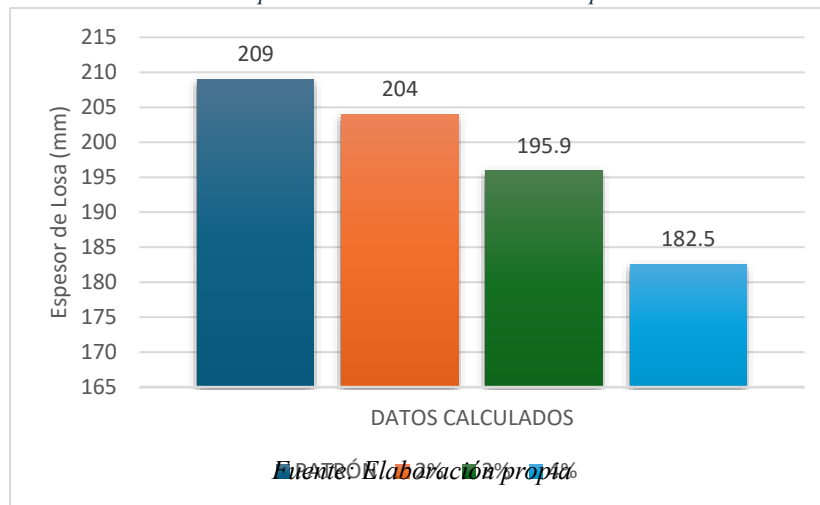
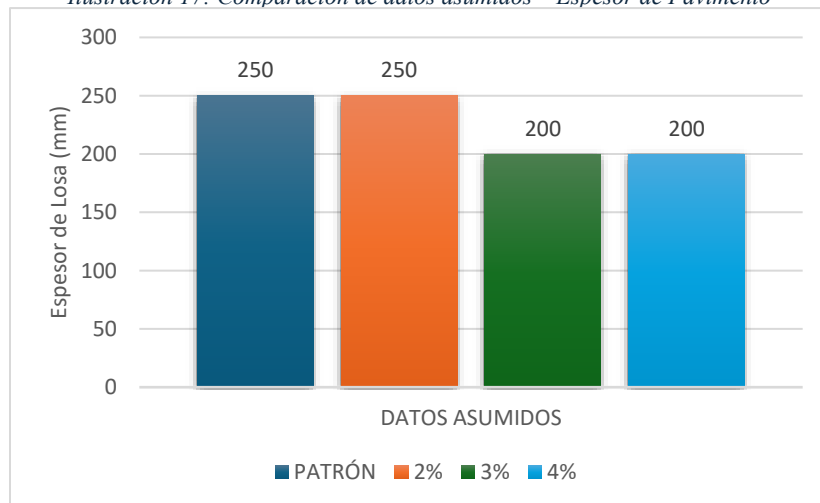


Ilustración 17: Comparación de datos asumidos – Espesor de Pavimento



Al realizar el diseño por método AASHTO 93 se obtuvo que a mayor cantidad de fibra PET el espesor de losa para pavimento rígido disminuye, teniendo respecto al diseño patrón una disminución de 2.39 % para PET al 2%, para la adición de PET al 3% una disminución de 6.27% y el menor espesor se obtuvo con la adición de PET al 4% siendo una disminución de 1.68%.

Portland Cement Association (PCA)

Al realizar el diseño de pavimentos rígidos bajo la normativa PCA se consideró tomar los valores máximos permisibles para una categoría de carga por eje tipo 1 (calles residenciales,

calles rurales y secundarias), el tipo de suelo de subrasante con soporte mediano (arenas y mezclas de arena – grava, con moderadas cantidades de limos y arcillas.

El diseño de pavimento para el concreto de control se utilizó el módulo de rotura obtenido del ensayo de resistencia flexión siendo 35.07 kg/cm².

CONCRETO PATRÓN			
CARGA	ADT	800	
	ADTT	25	
TIPO DE SUELO	SUELO	ARENA	
	SOPORTE	MEDIANO	
FLEXIÓN	MR	498.93	PSI
JUNTAS CON TRABAZON DE AGREGADOS			

Respecto a la tabla 11 se puede obtener que el espesor de losa es 6.5 plg

El diseño de pavimento con adición de fibra PET al 2% se utilizó el MR obtenido del ensayo de resistencia flexión siendo 36.33 kg/cm².

CONCRETO PATRÓN + 2% PET			
CARGA	ADT	800	
	ADTT	25	
TIPO DE SUELO	SUELO	ARENA	
	SOPORTE	MEDIANO	
FLEXIÓN	MR	516.33	PSI
JUNTAS CON TRABAZON DE AGREGADOS			

Respecto a la tabla 11 se puede obtener que el espesor de losa es 6.5 plg

El diseño de pavimento con adición de fibra PET al 3% se utilizó el MR obtenido del ensayo de resistencia flexión siendo 38.67 kg/cm².

CONCRETO PATRÓN + 3% PET			
CARGA	ADT	800	
	ADTT	25	
TIPO DE SUELO	SUELO	ARENA	
	SOPORTE	MEDIANO	
FLEXIÓN	MR	549.69	PSI
JUNTAS CON TRABAZON DE AGREGADOS			

Respecto a la tabla 11 se puede obtener que el espesor de losa es 6.5 plg

El diseño de pavimento con adición de fibra PET al 4% se utilizó el MR obtenido del ensayo de resistencia flexión siendo 42.73 kg/cm².

CONCRETO PATRÓN + 4% PET			
CARGA	ADT	5000	
	ADTT	1000	
TIPO DE SUELO	SUELO	ARENA	
	SOPORTE	MEDIANO	
FLEXIÓN	MR	607.71	PSI
JUNTAS CON TRABAZON DE AGREGADOS			

Respecto a la tabla 11 se puede obtener que el espesor de losa es 6 plg

Al realizar el diseño de pavimentos rígidos bajo el método PCA se obtuvo que al mayor porcentaje de incorporación de fibra PET 4% el espesor de losa fue menor 6 plg mientras que para los diseños de con añadidura de fibra al 2% y 3% el espesor de losa fue el mismo 6.5 plg.

Evaluación económica

Para realizar la evaluación económica, se usó como referencia el APU de la subpartida “Concreto f’c 280 kg/cm²” el cual pertenece a la partida de Pavimento rígido. Esta referencia se tomó con el fin de realizar el caso aplicativo para el cálculo teniendo en cuenta el espesor del pavimento.

Ilustración 18: Análisis de costo unitario - Concreto f'c 280 kg/cm²

Partida	01.05.06	CONCRETO F'c 280 KG/CM ²					
Rendimiento	m ³ /DIA	MO 60.0000	EQ. 60.0000	Costo unitario directo por: m ³			354.03
Códigos	Descripción Recursos	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra							
101010002	CAPATAZ	hh		0.9998	0.1333	23.12	3.08
101010003	OPERARIO	hh		0.9998	0.1333	20.10	2.68
101010004	OFICIAL	hh		3.0000	0.4000	16.51	6.60
101010005	PEDON	hh		8.0003	1.0667	14.85	15.84
							28.21
Equipos							
301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo			5.0000	28.2	1.41
301290001	VIBRADOR PARA CONCRETO	hm	3.0000	0.4000	5.66		2.26
							3.67
Subpartidas							
10713000103	CONCRETO f'c=280 kg/cm ²	m ³		1.0000	322.15		322.15
							322.15

Teniendo en consideración la ilustración 17, el costo por metro cubico (m³) de concreto es de S/ 354.03.

Costo de la fibra PET

Se procede a calcular la cantidad de fibra PET en kilogramos de 2%, 3% y 4% relativo al peso del cemento. Además, el kilogramo de botella plástica reciclada es de S/ 0.50.

Tabla 55: Costo total de fibra PET al 2%

RECURSO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO (S/)	PARCIAL (S/)
PET 2%	kg	9.92	0.50	4.96
Costo total de la fibra utilizada por m³				4.96

Fuente: Elaboración propia

Tabla 56: Costo total de fibra PET al 3%

RECURSO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO (S/)	PARCIAL (S/)
PET 3%	kg	14.88	0.50	7.44
Costo total de la fibra utilizada por m³				7.44

Fuente: Elaboración propia

Tabla 57: Costo total de fibra PET al 4%

RECURSO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO (S/)	PARCIAL (S/)
PET 4%	kg	19.84	0.50	9.92
Costo total de la fibra utilizada por m³				9.92

Fuente: Elaboración propia

Para realizar el cálculo del volumen de concreto requerido para el pavimento rígido, se está tomando en cuenta la cuadra 2 de la calle “La Estación” en el distrito de Pimentel debido que se encuentra sin pavimentar teniendo las siguientes medidas: longitud de 113.45 m y ancho de calle 6.40 m.



Costo de pavimento

Para pavimento con concreto estándar

Largo = 113.45 m

Ancho = 6.40 m

Espesor = 20.9 cm – AASHTO 93

Espesor = 6.5 in – PCA

Por tanto, en 113.45 metros lineales se utilizará 151.75 m³ de concreto según AASHTO y 119.88 m³ según PCA.

Tabla 58: Costo total - concreto estándar

Pavimento	Longitud (m)	Volumen (m ³)	Parcial (m ³)	Costo (S/)	Costo Total (S/)
AASHTO	113.45	151.75	151.75	354.03	53,724.31
PCA	113.45	119.88	119.88	354.03	42,439.63

Fuente: Elaboración propia

Para pavimento con concreto estándar + 2% PET

Largo = 113.45 m

Ancho = 6.40 m

Espesor = 20.4 cm – AASHTO

Espesor = 6.5 in – PCA

Por tanto, en un metro lineal se utilizará 148.12 m³ de concreto según AASHTO y 119.88 m³ según PCA.

Tabla 59: Costo total - PET 2% - AASHTO 93

Pavimento	Longitud (m)	Volumen (m ³)	Parcial (m ³)	Costo (\$/)	Costo Total (\$/)
AASHTO	113.45	148.12	148.12	354.03	52,439.04
PET	113.45	148.12	148.12	4.96	734.68
				Costo Total	53,226.16

Fuente: Elaboración propia

Tabla 60: Costo total - PET 2% - PCA

Pavimento	Longitud (m)	Volumen (m ³)	Parcial (m ³)	Costo (\$/)	Costo Total (\$/)
PCA	113.45	119.88	119.88	354.03	42,439.63
PET	113.45	119.88	119.88	4.96	594.60
				Costo Total	43,034.23

Fuente: Elaboración propia

Para pavimento con concreto estándar + 3% PET

Largo = 113.45 m

Ancho = 6.40 m

Espesor = 19.6 cm – AASHTO

Espesor = 6.5 in – PCA

Por tanto, en un metro lineal se utilizará 142.31 m³ de concreto según AASHTO y 119.88 m³ según PCA.

Tabla 61: Costo total - PET 3% - AASHTO 93

Pavimento	Longitud (m)	Volumen (m3)	Parcial (m3)	Costo (\$/)	Costo Total (\$/)
AASHTO	113.45	142.31	142.31	354.03	50,382.60
PET	113.45	142.31	142.31	7.44	1,058.79
				Costo Total	51,441.39

Fuente: Elaboración propia

Tabla 62: Costo total - PET 3% - PCA

Pavimento	Longitud (m)	Volumen (m3)	Parcial (m3)	Costo (\$/)	Costo Total (\$/)
PCA	113.45	119.88	119.88	354.03	42,441.12
PET	113.45	119.88	119.88	7.44	891.91
				Costo Total	43,333.03

Fuente: Elaboración propia

Para pavimento con concreto estándar + 4% PET

Largo = 113.45 m

Ancho = 6.40 m

Espesor = 18.3 cm – AASHTO

Espesor = 6 in – PCA

Por tanto, en un metro lineal se utilizará 132.87 m³ de concreto según AASHTO y 110.65 m³ según PCA.

Tabla 63: Costo total - PET 4% - AASHTO 93

Pavimento	Longitud (m)	Volumen (m3)	Parcial (m3)	Costo (\$/)	Costo Total (\$/)
AASHTO	113.45	132.87	132.87	354.03	47,040.90
PET	113.45	132.87	132.87	9.92	1,318.09
				Costo Total	48,358.99

Fuente: Elaboración propia

Tabla 64: Costo total - PET 4% - PCA

Pavimento	Longitud (m)	Volumen (m3)	Parcial (m3)	Costo (\$/)	Costo Total (\$/)
PCA	113.45	110.65	110.65	354.03	39,175.05
PET	113.45	110.65	110.65	9.92	1,097.69
				Costo Total	40,272.74

Fuente: Elaboración propia

Comparación de costos entre concreto estándar y concreto reforzado con fibra PET

Tabla 65: Comparación de costos de concreto estándar vs concreto reforzado - AASHTO 93

	Concreto Estándar	Concreto + PET	Diferencia (S/)	Diferencia (%)
PET 2%	53,724.31	53,226.16	498.15	0.93
PET 3%	53,724.31	51,441.39	2,282.92	4.25
PET 4%	53,724.31	48,358.99	5,365.32	9.99

Fuente: Elaboración propia

Tabla 66: Comparación de costos de concreto estándar vs concreto reforzado - PCA

	Concreto Estándar	Concreto + PET	Diferencia (S/)	Diferencia (%)
PET 2%	42,439.63	43,034.23	-594.60	-1.40
PET 3%	42,439.63	43,333.03	-893.40	-2.11
PET 4%	42,439.63	40,272.74	2,166.89	5.11

Fuente: Elaboración propia

Por el método AASHTO 93 para el diseño con PET al 2% se ahorra S/ 498.15 el cual equivale a 0.93% menos, para el diseño con PET al 3% se ahorra S/ 2,282.92 el cual equivale a 4.25% menos y para el diseño con PET al 4% se ahorra S/ 5,365.32 el cual equivale a 9.99% menos.

Por el método Portland Cement Association para el diseño con PET al 2% se gasta un adicional de S/ 594.60 el cual equivale a 1.40% más, para el diseño con PET al 3% se gasta un adicional de S/ 893.40 el cual equivale a 2.11% más y para el diseño con PET al 4% se ahorra S/ 2,166 el cual equivale a 5.11% menos.

Análisis Económica

Para realizar el análisis económico del presente estudio se toma en cuenta los presupuestos de los pavimentos rígidos, con adición de fibra PET en un 2%, 3% y 4%, conociendo que los diseños de los pavimentos están proyectados para una vida útil de 20 años, teniendo en cuenta la vida útil del pavimento se realiza el análisis de comparación de costos del concreto estándar, Método Tradicional AASHTO y PCA con adición de adicionando fibra PET; donde observamos:

$$VAN = \frac{R_t}{(1 + i)^t}$$

- VAN : valor actual neto
- Rt : flujo de caja neto en el periodo t
- I : tasa de descuento
- t : periodo del flujo de caja

Tabla 67: Presupuesto para un diseño de concreto con adición de fibra PET

CONCRETO	AASHTO 93			PCA		
	PET 2%	PET 3%	PET 4%	PET 2%	PET 3%	PET 4%
ESTANDAR	53,724.31	53,724.31	53,724.31	42,439.63	42,439.63	42,439.63
ADICION DE PET	53,226.16	51,441.39	48,358.99	43,034.23	43,333.03	40,272.74
VR	498.15	2,282.92	5,365.32	-594.60	-893.40	2,166.89

Fuente: Elaboración propia

Se obtiene una diferencia de costo positivo que va aumentando a medida el % de adición de fibra PET aumenta S/ 498.15, 2,282.92 y 5,365.32. bajo el método de AASHTO 93, es decir los costos disminuyen a favor del diseño con adición de fibra PET, en relación al peso del cemento; sin embargo para el diseño bajo el método PCA se obtienen resultados negativos de -594.60 y -893.40 al adicionar fibras PET de 2% y 3% lo que indicia que los costos son mayores que un concreto estándar, sin embargo, al adicionar fibras PET en un 4% resulta menos costoso en 2,166.89, por tanto a efectos de determinar la rentabilidad de las inversiones bajo estos métodos de diseño para una vida útil de 20 años a una tasa social de retorno de 8%, establecido para proyectos de pistas y veredas en inversiones pública y determinar la rentabilidad, así, como el costo beneficio de la inversión se utilizará el método

del Valor Actual Neto (VAN) de un proyecto de pavimento rígido, se calcula la suma de los flujos de caja futuros (beneficios y costos) actualizados a una tasa de descuento y se le resta la inversión inicial. La fórmula es: $VAN = \sum [\text{Flujo de Caja} / (1 + r)^t] - \text{Inversión Inicial}$, donde 'r' es la tasa de descuento y 't' es el período de tiempo. Un VAN positivo indica que el proyecto es rentable y adecuado, mientras que un VAN negativo sugiere lo contrario.

Para el pavimento con diseño AASHTO 93, dividimos el presupuesto total en 20 años, teniendo así un costo de depreciación del concreto estándar de S/ 2,686.22, y para la adición de fibra PET en proporciones de 2%, 3% y 4% en relación al peso del cemento, trabajando con el mismo periodo de obtienen un costo de depreciación anual de S/ 2,661.31, S/ 2,572.07 y S/ 2,417.95, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 68: VAN - AASHTO 93

0.08	53,724.31	53,226.16	51,441.39	48,358.99
PERIODO	ESTANDAR	PET 2%	PET 3%	PET 4%
1	2,686.22	2,661.31	2,572.07	2,417.95
2	2,686.22	2,661.31	2,572.07	2,417.95
3	2,686.22	2,661.31	2,572.07	2,417.95
4	2,686.22	2,661.31	2,572.07	2,417.95
5	2,686.22	2,661.31	2,572.07	2,417.95
6	2,686.22	2,661.31	2,572.07	2,417.95
7	2,686.22	2,661.31	2,572.07	2,417.95
8	2,686.22	2,661.31	2,572.07	2,417.95
9	2,686.22	2,661.31	2,572.07	2,417.95
10	2,686.22	2,661.31	2,572.07	2,417.95
11	2,686.22	2,661.31	2,572.07	2,417.95
12	2,686.22	2,661.31	2,572.07	2,417.95
13	2,686.22	2,661.31	2,572.07	2,417.95
14	2,686.22	2,661.31	2,572.07	2,417.95
15	2,686.22	2,661.31	2,572.07	2,417.95
16	2,686.22	2,661.31	2,572.07	2,417.95
17	2,686.22	2,661.31	2,572.07	2,417.95
18	2,686.22	2,661.31	2,572.07	2,417.95
19	2,686.22	2,661.31	2,572.07	2,417.95
20	2,686.22	2,661.31	2,572.07	2,417.95

Fuente: Elaboración propia

Para el pavimento con diseño PCA, dividimos el presupuesto total en 20 años, teniendo así un costo de depreciación del concreto estándar de S/ 2,121.98, y para la adición de fibra

PET en proporciones de 2%, 3% y 4% en relación al peso del cemento, trabajando con el mismo periodo de obtienen un costo de depreciación anual de S/ 2,151.71, S/ 2,166.65 y S/ 2,013.64, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 69: VAN - PCA

	42,439.63	43,034.23	43,333.03	40,272.74
PERIODO	ESTANDAR	PET 2%	PET 3%	PET 4%
1	2,121.98	2,151.71	2,166.65	2,013.64
2	2,121.98	2,151.71	2,166.65	2,013.64
3	2,121.98	2,151.71	2,166.65	2,013.64
4	2,121.98	2,151.71	2,166.65	2,013.64
5	2,121.98	2,151.71	2,166.65	2,013.64
6	2,121.98	2,151.71	2,166.65	2,013.64
7	2,121.98	2,151.71	2,166.65	2,013.64
8	2,121.98	2,151.71	2,166.65	2,013.64
9	2,121.98	2,151.71	2,166.65	2,013.64
10	2,121.98	2,151.71	2,166.65	2,013.64
11	2,121.98	2,151.71	2,166.65	2,013.64
12	2,121.98	2,151.71	2,166.65	2,013.64
13	2,121.98	2,151.71	2,166.65	2,013.64
14	2,121.98	2,151.71	2,166.65	2,013.64
15	2,121.98	2,151.71	2,166.65	2,013.64
16	2,121.98	2,151.71	2,166.65	2,013.64
17	2,121.98	2,151.71	2,166.65	2,013.64
18	2,121.98	2,151.71	2,166.65	2,013.64
19	2,121.98	2,151.71	2,166.65	2,013.64
20	2,121.98	2,151.71	2,166.65	2,013.64

Fuente: Elaboración propia

Con los datos de la tabla, calculamos el valor actual neto de cada proyecto VAN con una tasa social de descuento del 8%, establecido para proyectos de pistas y veredas, aplicamos el cálculo al concreto estándar y con la adición de fibra PET en proporciones de 2%, 3% y 4% en relación al peso del cemento, obteniendo lo siguiente:

Tabla 70: Determinación del VAN

VAN	ESTANDAR	PET 2%	PET 3%	PET 4%
AASHTO 93	-27,350.61	-27,097.03	-26,188.43	-24,619.20
PCA	-21,605.72	-21,908.42	-22,060.54	-20,502.53

Fuente: Elaboración propia

El presente proyecto se demuestra que el pavimento diseñado bajo el método tradicional AASHTO 93 y método PCA, con adición de fibras PET en proporciones del 2% 3% 4% en relación al peso del cemento se puede evidenciar que es más rentable bajo el método AASHO 93 debido ya que el VAN va disminuyendo de -27,350.61, -27,097.03, -26,188.43 y -24,619.20, que si comparamos al VAN obtenido de los datos del método PCA se evidencia que al adicionar las proporciones de 2% y 3% de fibra PET la rentabilidad disminuye -21,605.72; -21,908.42 y -22,060.54, pero al adicionar el 4% de fibra la rentabilidad aumenta obteniendo u VAN de -20,502.53 , en comparación de los datos obtenidos y tomando en cuenta un periodo de rendimiento de los pavimentos a 20 años y su depreciaciones de cada uno, se puede decir el diseño bajo el método PCA, no es rentable; demostrando así la eficiencia del proyecto con la adición del 2%, 3% y 4% bajo el método AASHTO 93 de fibras PET; este resulta más beneficioso.

Discusión

Objetivo 01: *Identificar y caracterizar el PET para usar en pavimentos rígidos en zonas costeras de Lambayeque.*

En el presente trabajo de investigación se propone la adición de fibras PET con dimensiones de largo 30 mm, ancho 2.5 mm y espesor 0.08 mm en proporciones de 2%, 3% y 4% respecto al peso del cemento, para determinar su resistencia a la flexión y durabilidad con el fin de utilizar este concreto en pavimentos de bajo tránsito para zonas costeras de Lambayeque. Teniendo en cuenta Antillón [14], las dimensiones de la fibra PET utilizadas en esta investigación son del tipo macrofibras ya que están en una longitud de 13 a 70 mm; además en su investigación menciona que este tipo de fibra aporta en el concreto, disminución de fisuras por contracción plástica y mejoras en su consistencia.

En el análisis de resistencia a compresión se obtuvo un resultado que al incorporar fibra PET al 2%, 3% y 4% su $f'c$ disminuye en 10% (282.28 kg/cm²), 14.10% (266.62 kg/cm²) y 19.63% (249.43 kg/cm²), esto teniendo en cuenta el concreto patrón que alcanzó una resistencia de 310.37 kg/cm². Sin embargo, según lo estipulado en las normativas AASHTO 93 y PCA señalan que la resistencia a compresión mínima requerida en pavimentaciones rígidas es de $f'c$ 280 kg/cm², por ello es que la fibra PET al 3% y 4% no cumplen; pero, la adición de 2% si cumple con lo establecido en las normativas antes mencionadas. Los resultados obtenidos guardan relación con Sandeep, Khitolia & Kumar [7], quienes obtuvieron que al incorporar fibra PET de tamaño 50mm x 2 mm en proporciones de 3%, 6%, 9% y 12% como complemento del cemento disminuyó su resistencia en 11.81% (473.66 kg/cm²), 18.13% (439.70 kg/cm²), 21.32% (422.57 kg/cm²) y 24.89% (403.40 kg/cm²), siendo su concreto de control $f'c$ 537.08 kg/cm². También guarda relación con Bartolomé & López [8], donde utilizan fibra PET de 5 mm x 30 mm en porcentajes de 0.5%, 1% y 2% respecto al volumen de su concreto, teniendo disminución según el resultado del concreto patrón de 345.59 kg/cm² en 12.36% (302.88 kg/cm²) – 0.5% PET; 13.15% (300.14 kg/cm²) – 1% PET y 33.40% (230.17 kg/cm²) – 2% PET. Sin embargo, difiere con la investigación de Valer [11] debido que los resultados obtenidos en su trabajo al incorporar fibra PET de 3 mm * 40 mm en porcentajes de 2.5%, 5% y 7.5% respecto al peso del cemento aumenta de

366.41 kg/cm² - Patrón a 6.02% (382.45 kg/cm²) – 2.5% PET, 13.42% (415.60 kg/cm²) – 5% PET y 8.17 % (396.35 kg/cm²) – 7.5% PET.

Objetivo 02: *Verificar la resistencia flexión bajo la influencia del PET para un concreto $f'c$ 280 kg/cm².*

Al analizar la resistencia a la flexión, se llegó a obtener que al incorporar fibra PET al 2%, 3% y 4% su MR incrementa en 3.6% (36.33 kg/cm²), 10.27% (38.67 kg/cm²) y 26.97% (44.53 kg/cm²) con respecto al diseño de control que tiene una resistencia de 35.07 kg/cm². La norma CE 010 estipula que lo mínimo requerido para pavimentos rígidos la resistencia a la flexión es de 34 kg/cm²; es así que, al adicionar la fibra PET en porcentajes de 2%, 3% y 4% cumplen con lo determinado por la norma CE 010. Los resultados obtenidos guardan correlación con los autores: Lima & Lasducci [5], quienes en su investigación con incorporación de 4 kg/m³ fibra PET en tamaños de 3cm y 5 cm obtuvieron aumentos de 7.45% (45.59 kg/cm²) – PET 3 cm y 4.10% (44.17 kg/cm²) – PET 5 cm, teniendo en cuenta su diseño patrón (42.43 kg/cm²). También guarda relación con de Valer [11] debido que los resultados obtenidos en su trabajo al incorporar fibra PET de 3 mm * 40 mm en 7.5%, 5%, 2.5% respecto al peso del cemento aumenta su resistencia en 7.84% (46.22 kg/cm²), 22.89 % (52.67 kg/cm²) y 7.56% (46.10 kg/cm²) respecto al concreto patrón que es 42.86 kg/cm². Sin embargo, mis resultados obtenidos difieren con Sandeep, Khitolia & Kumar, quienes obtuvieron que al incorporar fibra PET de tamaño 50mm * 2 mm en proporciones de 3%, 6%, 9% y 12% como complemento del cemento disminuye la resistencia a la flexión en 4.78% (44.66 kg/cm²), 10% (42.22 kg/cm²), 13.48% (40.58 kg/cm²) y 15.43% (39.67 kg/cm²). Surichaqui, Quispe, Taipe & Quispe también concuerdan con Sandeep, Khitolia & Kumar debido a que en sus resultados obtenidos con la incorporación de fibra PET en 1.50 kg/m³ y 2.50 kg/m³ tiene una disminución respecto al concreto patrón (38.095 kg/cm²) de 6.35% (35.676 kg/cm²) y 12.39% (33.374 kg/cm²)

Objetivo 03: *Verificar la durabilidad bajo la influencia del PET para un concreto $f'c$ 280 kg/cm².*

Respecto a la abrasión del concreto se determinó que las fibras PET al ser añadidas en porcentajes de 2%, 3% y 4% aportan mayor desgaste en 42.86%, 128.57% y 328.57% según

el resultado del concreto patrón, Sin embargo, difiero con Antillón [14], ya que en su teoría menciona que las fibras aportan aumento de resistencia al desgaste.

El análisis de exudación mostró que el concreto patrón y los diseños con incorporación al 2%, 3% y 4% de fibra PET fuesen nulos, siendo idóneos para ser utilizados en pavimentos rígidos; ya que, Valdivia [26] en su investigación menciona que la exudación en el concreto genere una debilidad en la superficie del pavimento, generando el problema de retracción ocasionando fisuramiento por retracción, además de generar mayor desgaste por abrasión en la capa superficial de rodadura. Asimismo, al realizar el SLUMP en cada diseño se pudo determinar que a medida que la fibra PET se añadía en mayores proporciones este disminuía, dando así mayor consistencia al concreto.

Los resultados del ensayo ASTM C1579 mostraron que el concreto convencional presentó fisuración a las 6 horas con un ancho promedio final de 0.515 mm, mientras que las mezclas con fibras PET al 2 %, 3 % y 4 % redujeron este valor a 0.450 mm, 0.370 mm y 0.265 mm, respectivamente. Esto representa una disminución de la fisuración en 12.62 %, 28.16 % y 48.54 % respecto al concreto patrón, evidenciando que el aumento del contenido de fibras PET mejora el control de la fisuración por contracción plástica.

Estos resultados coinciden con la teoría propuesta por Silva [15], quien señala que las fibras sintéticas actúan como un refuerzo tridimensional capaz de distribuir los esfuerzos de retracción de manera uniforme. El efecto de puenteo generado por las fibras limita la apertura y propagación de microfisuras, reduciendo así la fisuración superficial. Por lo tanto, la incorporación de fibras PET contribuye de forma efectiva a mejorar la resistencia del concreto a la fisuración temprana y, en consecuencia, a la durabilidad del pavimento rígido.

Al realizar el método de ensayo de penetración de agua se observó que las fibras PET al ser añadidas en porcentajes de 2%, 3% y 4% aumentan su permeabilidad siendo el incremento de 4.09%, 8.21% y 17.72% respecto al concreto de control. Sin embargo, difiero con Antillón [14] y Silva [15] quienes indican en sus investigaciones que las fibras aportan al concreto hidráulico menor permeabilidad.

Con los resultados obtenidos al medir la absorción de agua en el concreto se puede identificar que, teniendo en cuenta el diseño patrón la absorción aumenta en los diseños con incorporación de fibra PET, teniendo en cuenta al diseño patrón la absorción para el diseño con adición del 2% de PET aumenta en 22.81%, para el diseño de 3% de PET incrementa en 43.32% y para el diseño de 4% de PET en 62.62%. BECOSAN [27], indica que a mayor absorción de agua en los pavimentos rígidos mayor es el problema al desgaste por abrasión, fisuras y grietas.

Objetivo 04: *Evaluación de los resultados de resistencia flexión y durabilidad con respecto al concreto convencional.*

Al evaluar los resultados obtenidos de los análisis de resistencia a flexión y lo análisis por durabilidad se obtuvo que al agregar la fibra PET en 2%, 3% y 4% su MR aumenta hasta en un 26.97%; asimismo los análisis realizados al concreto por durabilidad la fibra PET aporta una menor fisuración, sin embargo, genera aumento en absorción y penetración de agua hechos que traen como consecuencia el de desgaste por abrasión.

Objetivo 05: *Diseñar un pavimento rígido aprovechando tereftalato de polietileno bajo las normativas AASHTO (1993) y PCA.*

Ambas metodologías de diseño contemplan parámetros válidos para el diseño; sin embargo, la metodología PCA no cuenta con criterios importantes de serviciabilidad y coeficiente de drenaje, estos generan un impacto significativo en el espesor del pavimento, además de que deben ser considerados en la elaboración de cualquier diseño de pavimento; debido a ello es que, al realizar los cálculos por el método AASHTO 93 plantea espesores mayores mientras que los espesores por el método PCA son menores y constantes.

Objetivo 06: *Evaluar la rentabilidad económica del uso del PET en pavimentos rígidos*

Se determinó que al calcular el espesor de los pavimentos rígidos mediante el método AASHTO 93 se puede generar ahorros de 0.93% con la utilización de la fibra PET; por el contrario, el diseño por la metodología PCA genera gastos mayores de 1.40% al incorporar esta fibra.

Conclusiones

Objetivo General: *Evaluar la resistencia flexión y durabilidad de un pavimento rígido convencional con adiciones de fibras PET a distintos porcentajes para un $f'c$ 280 kg/cm² en zonas costeras de Lambayeque.*

Las fibras de plástico PET recicladas influyen en el mejoramiento de resistencia a la flexión, produciendo una disminución en el espesor de losa para pavimentos rígidos generando reducción de costos; y, en cuanto a la durabilidad, las fibras PET ayudan a tener menor fisuración por contracción plástica y fisuración por retracción. Sin embargo, estas fibras generan mayor desgaste por abrasión en el concreto, además que generan mayor absorción y penetración de agua generando con el tiempo agrietamientos y un aumento al desgaste.

Objetivo 01: *Identificar y caracterizar el PET para usar en pavimentos rígidos en zonas costeras de Lambayeque.*

La adición de fibras PET con dimensiones de largo 30 mm, ancho 2.5 mm y espesor 0.08 mm en proporciones de 2%, 3% y 4% respecto al peso del cemento, aporta en los pavimentos rígidos mayor resistencia a la flexión y menor fisuración.

Objetivo 02: *Verificar la resistencia flexión bajo la influencia del PET para un concreto $f'c$ 280 kg/cm².*

Con los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a compresión se determinó que los diseños que cumplen para ser utilizados en pavimentos rígidos con un $f'c$ 280 kg/cm² son el concreto patrón que obtuvo 310.37 kg/cm² y el concreto con adición de fibra PET al 2% que alcanzó 282.28 kg/cm²; sin embargo, los diseños que no cumplen son aquellos con adición de fibra al 3% que tuvo una resistencia de 266.62 kg/cm² y el de 4% que obtuvo 249.43 kg/cm².

Al realizar el análisis de resistencia a la flexión se estableció que gracias a que la fibra PET tiene buena adherencia con el concreto el MR aumenta a medida que la adición es mayor, siendo el concreto patrón de 35.07 kg/cm², 2% de PET 36.33 kg/cm², 3% de PET 38.67 kg/cm² y 4% de PET 44.53 kg/cm². Teniendo en cuenta la norma CE 010 todos los diseños

cumplen para diseños de pavimentos rígidos. Sin embargo, el único diseño con adición que cumple para el diseño de pavimentos rígidos es el de 2% teniendo en cuenta la $f'c$ requerido.

Objetivo 03: *Verificar la durabilidad bajo la influencia del PET para un concreto $f'c$ 280 kg/cm².*

El ensayo de resistencia a la abrasión determina que la fibra PET incorporada en porcentajes de 2%, 3% y 4% generan mayor desgaste por rozamiento, conllevando a que el pavimento rígido acorte su vida útil.

Al no generar exudación en el concreto patrón ni en los diseños con adición de fibra PET y al tener disminución del SLUMP cada vez que se añadía fibra en mayores cantidades, se determina que al ser usados en pavimentos rígidos no mostrarán deterioros en fisuraciones por retracción.

El ensayo de fisuración por contracción plástica, realizado conforme a la norma ASTM C1579, permitió determinar el tiempo de inicio y el ancho de fisura promedio en paneles de concreto reforzados con diferentes porcentajes de fibras PET, al ser añadidas a la mezcla de concreto hidráulico reducen las fisuras por contracción plástica en los pavimentos rígidos hasta en 48.54%.

En el concreto convencional, la primera fisura se presentó a las 6 horas con un ancho promedio final de 0.515 mm. En las mezclas con 2 %, 3 % y 4 % de fibras PET, la fisuración también se inició a las 6 horas, aunque con menores aperturas iniciales (0.30–0.26 mm) y finales de 0.450 mm, 0.370 mm y 0.265 mm, respectivamente. Estos resultados evidencian que el incremento del contenido de fibras PET reduce y retrasa la aparición de fisuras por contracción plástica, debido al efecto de puenteo que ejercen las fibras, las cuales limitan el movimiento libre de la pasta de cemento y controlan la propagación de microfisuras. En consecuencia, el uso de fibras PET mejora el desempeño y la durabilidad del pavimento rígido, al disminuir la susceptibilidad del concreto a la fisuración temprana.

Al realizar el método de ensayo de penetración y absorción de agua se observó que las fibras PET aportan aumento de hasta 17.72% en su permeabilidad y 62.62% de absorción, siendo un problema en los pavimentos rígidos debido que con el tiempo el deterioro por abrasión, fisuras y grietas es mayor.

Objetivo 04: *Evaluación de los resultados de resistencia flexión y durabilidad con respecto al concreto convencional.*

La obtención de los análisis de resistencia a flexión y los análisis por durabilidad se obtuvo que al agregar fibra PET hay aumento de su MR hasta en 26.97%; además los análisis realizados al concreto por durabilidad las fibra PET disminuyen las fisuraciones; y, aumentan su permeabilidad y absorción.

Objetivo 05: *Diseñar un pavimento rígido aprovechando tereftalato de polietileno bajo las normativas AASHTO (1993) y PCA.*

Al realizar el diseño de los pavimentos se logró obtener espesores menores por la metodología por AASHTO 93 haciendo uso de los diseños con fibra PET; y, por el método proporcionado por PCA el espesor del pavimento fue menor y constante para el diseño con y sin incorporación de fibra.

Objetivo 06: *Evaluar la rentabilidad económica del uso del PET en pavimentos rígidos*

En la evaluación económica se evidencia que el diseño por método AASHTO 93 genera ahorros al incorporar la fibra PET mientras que por el método Portland Cement Association (PCA) genera más gasto.

Recomendaciones

El uso de la adición de fibra PET en proporción de 2% respecto al peso del cemento, puede ser utilizado en pavimentos rígidos ya que cumple con lo mínimo requerido de $f'c$ 280 kg/cm². Además de tener un MR mayor a 34 kg/cm² y de generar menor fisuramiento por contracción plástica y por retracción.

Se recomienda caracterizar la fibra PET en distintas dimensiones y proporciones para ser utilizadas en mezclas de concreto hidráulico para ser utilizados en pavimentos rígidos.

Si se busca tener mayores resistencias a flexión, se recomienda la utilización de la fibra PET al 4% de adición respecto al peso del cemento debido a que ayuda a tener mejores resultados en su MR.

La fibra PET aporta reducción en de fisuras por contracción plástica y por retracción sin embargo no es recomendable debido a que genera menor resistencia por abrasión y aumento de absorción y penetración de agua.

Se sugiere emplear el AASHTO 93 debido a que en su diseño considera parámetros de serviciabilidad y de drenaje los cuales son importantes dentro de los pavimentos.

Con respecto a la rentabilidad económica se recomienda el diseño de pavimentos con la adición de fibra PET por el método AASHTO 93; ya que, se genera ahorros de hasta 0.93%.

Referencias

- [1] H. Gonzalez Fernandez , P. Ruiz Caballero y D. Guerrero Valverde, «PROPUESTA DE METOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS MEDIANTE EL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI),» *REDALYC*, vol. 1, n° 4, p. 16, 2019.
- [2] E. Rodríguez Velásquez, *CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. LUIS MONTERO, DISTRITO DE CASTILLA*, 2009.
- [3] G. Ruiz Fernández, *LA GESTIÓN AMBIENTAL EN LOS ONCE MUNICIPIOS DISTRITALES Y PROVINCIAL DE LAMBAYEQUE*, Cajamarca, 2015.
- [4] Y. J. Aquino Castro, *Estudio comparativo de la Influencia del plástico (PET) en la resistencia a la compresión y durabilidad del concreto reciclado y concreto convencional*, Trujillo, 2019.
- [5] H. D. Lima Moncayo y F. A. Lasnducci Pozo, *Elaboración de hormigones de resistencias de 210 y 350 kg/cm² con incorporación de tereftalato de polietileno (PET)*, Guayaquil, 2021.
- [6] O. Uchekukwu, G. Bamigboye, K. Tarverdi, A. Umoren, D. Bassey, U. Okorie y J. Adediran, «Evaluation of eco-friendly concrete having waste PET as fine aggregates,» *Cleaner Materials*, vol. 2, p. 12, 2021.
- [7] S. Salhotra, R. K. Khitoliya y S. Kumar, «Comparative study of uncoated and coated waste PET fiber for sustainable concrete.,» *Materials Today: Proceedings*, vol. 80, n° 3, p. 5, 20233.
- [8] N. J. Bartolomé Salinas y M. López Carranza, *Influencia de la adición de fibras pet en las propiedades mecánicas del concreto autocompactante. f'c 280 kg/cm², Huaraz - 2021*, Huaraz, 2021.
- [9] D. E. Caxi Paredes y A. G. C. Mamani Sulca, *Estudio de la influencia del tereftalato de polietileno (PET) y Polopropileno (PP) en concretos convencioneles para su aplicación en pavimentos rígidos*, Juliaca, 2021.
- [10] F. Surichaqui, H. Quispe, R. Taípe y H. Quispe, «Adición de polietileno tereftalato en pavimento rígido en la provincia de Angaraes – Huancavelica,» *Revista científica Ciencias Ingenieriles*, vol. 1, n° 1, pp. 2 - 12, 2021.
- [11] P. E. Valer Pacheco, *Mejoramiento en el diseño de un pavimento rígido incorporando fibras de plásticos PET reciclado*, 2020, Lima, 2020.

- [12] A. Montejo Fonseca, Ingeniería de pavimentos para carreteras, Bogotá: Stella Valbuena De Fierro, 2002.
- [13] MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, *MANUAL DE CARRETERAS: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN*, LIMA, 2013.
- [14] J. Antillón, «Uso de fibras en el concreto,» *Construcción y tecnología en concreto*, p. 2, 2016.
- [15] O. J. Silva, «Las fibras sintéticas para concreto,» 360 en concreto, [En línea]. Available: <https://360enconcreto.com/blog/detalle/las-fibras-sinteticas-para-concreto/#:~:text=Las%20fibras%20sint%C3%A9ticas%20para%20concreto,%2C%20polietileno%2C%20polipropileno%20o%20nylon..>
- [16] L. Alesmar, N. Rendó y M. Korody, «Diseños de mezcla de tereftalato de polietileno (PET) - cemento,» *Scielo*, vol. 23, n° 1, p. 11, 2008.
- [17] S. Kusumocahyo, S. Ambani, S. Kusunadewi, H. Sutanto, D. Widiputri y I. Kartawiria, «Utilization of used polyethylene terephthalate (PET) bottles for the,» *Environmental Chemical Engineering*, vol. 8, n° 6, pp. 1-11, 2020.
- [18] M. Z. Naser, R. A. Hawileh y A. Abdalla, «Fiber-reinforced polymer composites in strengthening reinforced concrete structures: A critical review,» *Engineering Structures*, vol. 198, pp. 1 - 20, 2019.
- [19] A. R D y A. C, «La resistividad eléctrica como parámetro de control del hormigón y de su durabilidad,» *ALCONPAT*, vol. 1, n° 2, pp. 93 - 101, 2011.
- [20] O. Giraldo Bolivar, *Guia práctica para el diseño de mezclas de hormigón*, Medellín, 1987.
- [21] MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, *MANUAL DE CARRETERAS - SUELOS GEOLOGÍA, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS SECCIÓN: SUELOS Y PAVIMENTOS*, Lima, 2014.
- [22] O. Giraldo Bolivar, *Guia práctica para el diseño de mezclas de hormigón*, Medellín, 1987.
- [23] E. Rivva López, *Diseño de mezclas*, Miraflores, 1992.
- [24] D. A. Rada Altahona, *Durabilidad de concretos de media y alta resistencia en ambientes marinos simulados*.

- [25] A. R D y A. C, «La resistividad eléctrica como parámetro de control del hormigón y de su durabilidad,» *ALCONPAT*, vol. 1, nº 2, pp. 93 - 101, 2011.
- [26] R. J. Miranda Rebolledo, *Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos*, Valdivia: Universidad Austral de Chile, 2010.
- [27] BECOSAN, *Certificación DIN 52617 - Absorción de agua*, Málaga, 2020.
- [28] MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, *MANUAL DE CARRETERAS - SUELOS GEOLOGÍA, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS SECCIÓN: SUELOS Y PAVIMENTOS*, Lima, 2014.
- [29] D. A. Rada Altahona, *Durabilidad de concretos de media y alta resistencia en ambientes marinos simulados*, Barranquilla, 2018.
- [30] Norma Técnica Peruana, AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto, Lima, 2014.
- [31] Reglamento Nacional de Edificaciones, CE. 010 Pavimentos Urbanos DS N° 010-2010, Lima, 2010.
- [32] L. A. Gutierrez Yupanqui, *INFLUENCIA DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PUCALOMA - MAUKALLAQTA, AYACUCHO - 2021*, Lima, 2021.
- [33] Norma Técnica Peruana, *Métodos de ensayo normalizados para exudación del concreto*, Lima, 2013.
- [34] Norma Técnica Peruana, *Masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos del agregado – NTP 400.017*, Lima, 2011.
- [35] Norma Técnica Peruana, *Densidad, densidad relativa ("Peso Específico") y absorción del agregado fino – NTP 400.022*, Lima, 2013.
- [36] Norma Técnica Peruana, *Método de ensayo normalizado para la densidad relativa ("Peso Específico") y absorción del agregado grueso – NTP 400.021*, Lima, 2013.
- [37] Norma Técnica Peruana, *Contenido de humedad total evaporable de agregados por secado – NTP 339.185*, Lima, 2021.
- [38] Norma Técnica Peruana, *Análisis granulométrico del agregado fino y grueso – NTP 400.012*, Lima, 2001.

- [39] Norma Técnica Peruana, *Elaboración y curado de especímenes de concreto – NTP 339.183*, Lima, 2013.
- [40] Norma Técnica Peruana, *Asentamiento del concreto – NTP 339.035*, Lima, 2009.
- [41] Norma Técnica Peruana, *Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas*, Lima, 2015.
- [42] Norma Técnica Peruana, *Resistencia A La Flexión Del Concreto en Vigas Simplemente Apoyadas Con Cargas en El Centro Del Tramo*, Lima, 2012.
- [43] American Society for Testing and Materials, *Método de ensayo normalizado para medir el ritmo de absorción de agua de los hormigones de cemento hidráulico - ASTM C 1585-04*, EEUU.
- [44] comité técnico CTN 83, *Profundidad de penetración de agua bajo - UNE-EN 12390-8*, España, 2020.
- [45] American Society for Testing and Materials, *Evaluación del agrietamiento por concentración plástica de concreto – ASTM C 1579*, EEUU.
- [46] American Society for Testing and Materials, *Método normalizado de ensayo para la resistencia a la abrasión del concreto o superficies de mortero mediante el método del rodillo giratorio – ASTM C 944*, EEUU.
- [47] Comité Técnico AEN/CTN, *Resistividad eléctrica del concreto – UNE 83988 - 2*, España, 2014.
- [48] American Society for Testing and Materials, *Método de prueba para determinar la resistencia del concreto a la penetración del ión cloruro - ASTM C 1202*, EEUU.

Anexos

Ficha Técnica Del PET

HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO FIBRA PET RECICLADA

FIBRA PET DE BOTELLAS RECICLADAS PARA REFUERZO DEL CONCRETO EN PAVIMENTOS

Responsable: Anderson Frankzoe Fernandez Rubio

Origen: Perú

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Fibra sintética obtenida mediante corte mecánico de botellas PET post-consumo de distintas marcas de bebidas. Las fibras tienen dimensiones aproximadas de 0.3 cm de ancho y 30 cm de largo. Diseñadas para incorporarse en mezclas de concreto, con el objetivo de ser usadas en pavimentos rígidos.



APLICACIONES

- Refuerzo de concreto en pavimentos
- Mejora de la resistencia a flexión y control de fisuración.

PROPIEDADES FÍSICAS

Propiedad	Valor Aproximado
Composición	PET reciclado
Color	Blanco translúcido (puede variar según marca)
Forma	Fibra plana, monofilamento
Longitud	30 cm
Ancho	0.3 cm
Densidad	1.35-1.38 g/cm ³
Absorción de agua	~0.1%

PROPIEDADES MECÁNICAS

Propiedad	Valor Aproximado
Resistencia a la tracción	50-75 MPa
Módulo de elasticidad	~2.5-3.0 GPa
Elongación a la rotura	~10%

DOSIFICACIÓN RECOMENDADA

- Dosificación usada en estudio: 2%, 3% y 4% respecto al peso del cemento.
- Recomendada: Se recomienda el uso de fibra al 2% respecto al peso del cemento.

BENEFICIOS

- **Sostenibilidad:** Utiliza material reciclado de botellas de distintas marcas, contribuyendo a la reducción de residuos plásticos.
- **Mejora de propiedades mecánicas:** Aumenta la resistencia a la flexión del concreto.
- **Control de fisuración:** Previene la formación de grietas por contracción plástica y retracción.

RECOMENDACIONES DE USO

- **Secado previo:** Recomendable secar las fibras antes de incorporarlas al concreto.
- **Mezcla:** Añadir durante el mezclado para asegurar distribución uniforme.
- **Almacenamiento:** Lugar seco, protegido de la luz solar directa.

NORMATIVAS Y CUMPLIMIENTOS

- **ASTM C1116:** Norma estándar para fibras sintéticas en concreto. Define tipos, requisitos y métodos de ensayo para fibras utilizadas en concreto y mortero.
- **ACI 544.1R-96:** Guía del American Concrete Institute sobre fibras en concreto, incluyendo diseño, propiedades mecánicas y dosificación recomendada.
- **ISO 14021:** Declaraciones medioambientales - uso de materiales reciclados en productos.
- **FDA 21 CFR 177.1630 / UE 10/2011 -** Respaldo de estabilidad química del PET original.

Ficha técnica del cemento



DESCRIPCIÓN

Cemento Portland Tipo M5(MH). Protege al concreto del salitre y al fierro de la corrosión. Además su diseño con moderado calor de hidratación, lo hace ideal para climas cálidos, disminuyendo el riesgo de formación de fisuras.

Usos

- Ideal para obras que requieren moderado calor de hidratación.
- Ideal para obras expuestas a la acción del sulfato.
- Ideal para obras cercanas a grandes fuentes de agua (mar, lagos, ríos, etc.)

ATRIBUTOS

Durabilidad

- Diseño premium con adiciones minerales y activas que garantiza un excelente desarrollo de resistencia a la compresión y una máxima protección contra los agentes agresivos del suelo.

Moderado calor de hidratación

- Favorable para ser utilizado en climas cálidos o despachos masivos de concreto pre mezclado. En condiciones adecuadas de curado reduce el riesgo de fisuras y grietas.

Baja permeabilidad en el concreto

- Debido al diseño, en el contenido de adiciones, contribuye a la disminución de la permeabilidad del concreto garantizando la protección de las estructuras de fierro en obra.

Menor impacto ambiental

- Contribuye con el medio ambiente ya que utiliza adiciones que reducen la emisión de los gases de efecto invernadero en el proceso productivo de este cemento.

VENTAJAS

Fecha de producción: para que utilices el cemento más fresco

Fecha recomendada de uso: para aprovechar de mejor manera sus propiedades

PRESENTACIONES

Bolsas de 42.5 kg:

- Regular
- EcoSaco



Otras presentaciones

- A granel
- Big Bag (1 tonelada)

Disponible en:
Trujillo, Cajamarca, Chimbote, Piura y Chiclayo

RECOMENDACIONES DEL ECOSACO

- AGREGA** la mitad de la proporción de agua (A) y luego introduce el EcoSaco (sin abrir) directo a un tiempo de al menos 340 litros.
- MEZCLA** hasta tener un resultado homogéneo y con la fluidez buscada.
- AJUSTA** la mezcla añadiendo el resto de la proporción de agua y asegure que toda la bolsa este incorporada en la mezcla para lograr una correcta integración y MEZCLA durante 2 minutos.
- MEZCLA** hasta tener un resultado homogéneo y con la fluidez buscada.

RECOMENDACIONES PARA USO Y ALMACENAMIENTO DEL CEMENTO

- Mantener el cemento en un lugar seco bajo techo, protegido de la humedad.
- Almacenar sobre plataforma de madera y en rumas que no excedan las 8 bolsas
- Utilizar agregados y materiales de buena calidad.
- A mayor sea la humedad de los agregados, se debe dosificar menor cantidad de agua.

Validación de ensayos de laboratorio



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIENTOS

INFORME N° LEM USAT 011-2024-I

FECHA: 17 de mayo 2024

VALIDACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ESTUDIANTE: Fernandez Rubio Anderson Frankzoe

TITULO DE LA TESIS: "Evaluación a la resistencia flexión y durabilidad de un pavimento rígido utilizando fibras PET Lambayeque 2022"

El que suscribe, responsable del laboratorio de Ingeniería Civil Ambiental, verifica y da conformidad que los siguientes ensayos de laboratorio realizados por el indicado estudiante se han efectuado en las instalaciones de la USAT, asimismo valida los ensayos realizados fuera de nuestras instalaciones siempre que no se puedan realizar en esta universidad:

Propiedades físicas del Agregado. Fino y Agregado grueso

- Módulo de fineza
- Tamaño máximo nominal
- Peso unitario suelto seco
- Peso unitario compactado seco
- Peso específico
- Contenido de humedad
- Contenido de absorción

Propiedades del concreto fresco

- Asentamiento (SLUMP)


Se alcanza al interesado para los fines pertinentes.

- Exudación

Propiedades del concreto seco

- Resistencia a la abrasión
- Fisuración por contracción plástica
- Penetración de agua bajo presión
- Absorción de agua
- Resistividad eléctrica
- Penetración de ion cloruro
- Resistencia a compresión
- Resistencia a la flexión


 Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT


 Henry Rivadeneyra Oblitas
 Responsable de Lab Ing. Civil Ambiental

Contenido de humedad Agregado Fino



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

INFORME DE ENSAYO N° 4052

(Pág. 01 de 01)

Expediente N° : 2045 - 2022 L.E.M. FERMATI S.A.C
 Tesista : FERNÁNDEZ RUBIO ANDERSON FRANKZOE
 Atención : UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 Proyecto : "EVALUACIÓN A LA RESISTENCIA FLEXIÓN Y DURABILIDAD DE UN PAVIMENTO RÍGIDO UTILIZANDO FIBRAS PET LAMBAYEQUE 2022"
 Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 14 de Septiembre del 2022

ENSAYO : Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado
 REFERENCIA : NORMA N.T.P. 339.185 - 2002

Muestra : Agregado Fino
 Cantera : La Victoria - Pátapo


Número de determinación		1
Código de tara		T-1
Peso muestra húmeda + peso de tara	g.	728.4
Peso muestra seca + peso de tara	g.	717.9
Peso de agua	g.	10.5
Peso de tara	g.	125.8
Peso neto muestra seca	g.	592.1
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	1.77

OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio.


 German Oscar Gastelo Chirinos
 Tec. Laboratorio




 Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta
 Ing. Civil - Reg. CIP. 123351


 Henry Roldeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT


 USAT
 Laboratorio de Ensayos de Materiales
 Universidad Católica
 Lambayeque
 Tec. Laboratorio

964423859 - 943011231

Ca. José Galvez N° 120

fermatisac@gmail.com

www.fermatisac.cf

Granulometría Agregado Fino



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

INFORME DE ENSAYO N° 4052

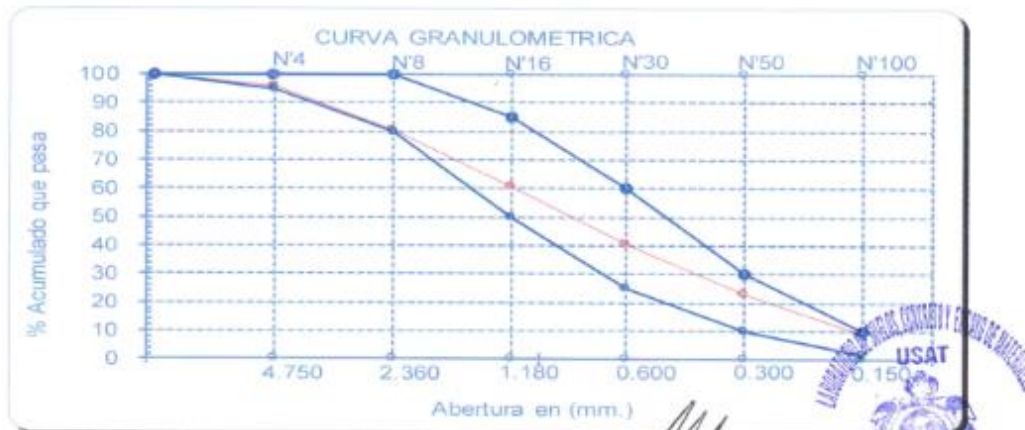
(Pag. 1 de 1)

Expediente N° : 2045 - 2022 L.E.M. FERMATI S.A.C
 Tesista : FERNÁNDEZ RUBIO ANDERSON FRANKZOE
 Atención : UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 Proyecto : "EVALUACIÓN A LA RESISTENCIA FLEXIÓN Y DURABILIDAD DE UN PAVIMENTO RÍGIDO UTILIZANDO FIBRAS PET LAMBAYEQUE 2022"
 Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 14 de Septiembre del 2022

Ensayo : Análisis granulométrico por tamizado del agregado fino
 Referencia : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

Muestra : Agregado Fino
 Cantera : La Victoria - Pátapo

Malla	(%)	(%) Acum.	(%) Acum.	Especificaciones:	
Pulg.	(mm.)	Ret.	Ret.	Que Pasa	
1/2"	12.700	0.0	0.0	100.0	100
3/8"	9.500	0.0	0.0	100.0	100
N° 04	4.750	4.2	4.2	95.8	95
N° 08	2.360	15.4	19.6	80.4	80
N° 16	1.180	19.7	39.3	60.7	50
N° 30	0.600	20.4	59.7	40.3	25
N° 50	0.300	17.3	77.0	23.0	10
N° 100	0.150	13.9	90.9	9.1	2
Fondo		9.1	100.0	0.0	10
Módulo de Fineza			2.908		
Abertura de malla de referencia			9.500		



OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.

German Oscar Gastelo Chirinos
 Tec. Laboratorio



Juan Carlos Firino Ojeda Ayesta
 Ing. Civil - Reg. CIP. 123351



964423859 - 943011231
 Ca. José Galvez N° 120

fermatisac@gmail.com
 www.fermatisac.cf

Peso Unitario Agregado Fino



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

INFORME DE ENSAYO N° 4052

(Pág. 01 de 01)

Expediente N° : 2045 - 2022 L.E.M. FERMATI S.A.C
 Tesista : FERNÁNDEZ RUBIO ANDERSON FRANKZOE
 Atención : UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 Proyecto : "EVALUACIÓN A LA RESISTENCIA FLEXIÓN Y DURABILIDAD DE UN PAVIMENTO RÍGIDO UTILIZANDO FIBRAS PET LAMBAYEQUE 2022"
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 14 de Septiembre del 2022

ENSAYO : AGREGADO. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado
 REFERENCIA : Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017

Muestra : Agregado Fino
 Cantera : La Victoria - Pátapo

PESO UNITARIO SUELTO

Molde de ensayo		
Número de determinación		A
Peso de molde de ensayo vacío + peso muestra contenida	g.	19122.5
Peso de molde de ensayo vacío	g.	10729
Peso neto muestra contenida	g.	8393.5
Volumen del molde de ensayo	m ³	0.00544
Peso unitario suelto húmedo	kg/m ³	1542
Peso unitario suelto seco	kg/m ³	1524

PESO UNITARIO COMPACTADO

Molde de ensayo		
Número de determinación		A
Peso de molde de ensayo vacío + peso muestra húmeda	g.	20143
Peso de molde de ensayo vacío	g.	10729
Peso neto muestra contenida	g.	9414
Volumen del molde de ensayo	m ³	0.00544
Peso unitario compactado húmedo	kg/m ³	1729
Peso unitario compactado seco	kg/m ³	1709


OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio.


 German Oscar Gastelo Chirinos
 Tec. Laboratorio




 Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta
 Ing. Civil - Reg. CIP. 123351


 Henry Rivas Obilias
 Tec. Laboratorio
 USAT

964423859 - 943011231

Ca. José Galvez N° 120

fermatisac@gmail.com

www.fermatisac.cf

Peso Específico y Absorción Agregado Fino



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

INFORME DE ENSAYO N° 4052

(Pág. 01 de 01)

Expediente N° : 2045 - 2022 L.E.M. FERMATI S.A.C
 Tesista : FERNÁNDEZ RUBIO ANDERSON FRANKZOE
 Atención : UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 Proyecto : "EVALUACIÓN A LA RESISTENCIA FLEXIÓN Y DURABILIDAD DE UN PAVIMENTO RÍGIDO UTILIZANDO FIBRAS PET LAMBAYEQUE 2022"
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 14 de Septiembre del 2022

ENSAYO AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino.
 REFERENCIA : NTP 400.022

Muestra : Agregado Fino
 Cantera : La Victoria - Pátapo

A.- Datos de la arena

1.- Peso de la Muest. Sat. Sup. Seca.	g	500.0
2.- Peso de la Muest. Sat. Sup. Seca + Peso frasco + Peso del agua.	g	989.2
3.- Peso de la Muest. Sat. Sup. Seca + Peso del frasco.	g	681.1
4.- Peso del Agua.	g	308.1
5.- Peso del Frasco	g	181.1
6.- Peso de la Muest. secada ahomo + Peso del frasco.	g	675.8
7.- Peso de la Muest. seca en el horno.	g	494.7
8.- Volumen del frasco.	cm ³	500.0

B.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE LA ARENA.	g/cm ³	2.578
B.- PESO ESPECIFICO DE LA MASA S.S.S.	g/cm ³	2.606
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	g/cm ³	2.651
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN.	%	1.07

OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio.


 German Oscar Gastelo Chirinos
 Tec. Laboratorio




 Henry Rivasdeneyra Obillas
 Tec. Laboratorio USAT


 Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta
 Ing. Civil - Reg. CIP. 123351

964423859 - 943011231

Ca. José Galvez N° 120

fermatisac@gmail.com

www.fermatisac.cf

Contenido De Humedad Agregado Grueso



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

INFORME DE ENSAYO N° 4052

(Pág. 01 de 01)

Expediente N° : 2045 - 2022 L.E.M. FERMATI S.A.C
 Tesista : FERNÁNDEZ RUBIO ANDERSON FRANKZOE
 Atención : UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 Proyecto : "EVALUACIÓN A LA RESISTENCIA FLEXIÓN Y DURABILIDAD DE UN PAVIMENTO RÍGIDO UTILIZANDO FIBRAS PET LAMBAYEQUE 2022"
 Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 14 de Septiembre del 2022

ENSAYO : Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado
 REFERENCIA : NORMA N.T.P. 339.185 - 2002

Muestra : Agregado Grueso
 Cantera : Tres Tomas - Ferreñafe

Número de determinación		1
Código de tara		T-1
Peso muestra húmeda + peso de tara	g.	1032.8
Peso muestra seca + peso de tara	g.	1029.8
Peso de agua	g.	3
Peso de tara	g.	124.8
Peso neto muestra seca	g.	905
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	0.33

OBSERVACIONES :

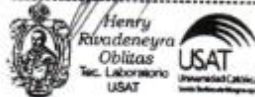
- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio.


 German Oscar Gastelo Chirinos
 Tec. Laboratorio




 Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta
 Ing. Civil - Reg. CIP. 123351


 Henry Ruedeneyra Obitas
 Tec. Laboratorio USAT



964423859 - 943011231

Ca. José Galvez N° 120

fermatisac@gmail.com

www.fermatisac.cf

Granulometría Agregado Grueso



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

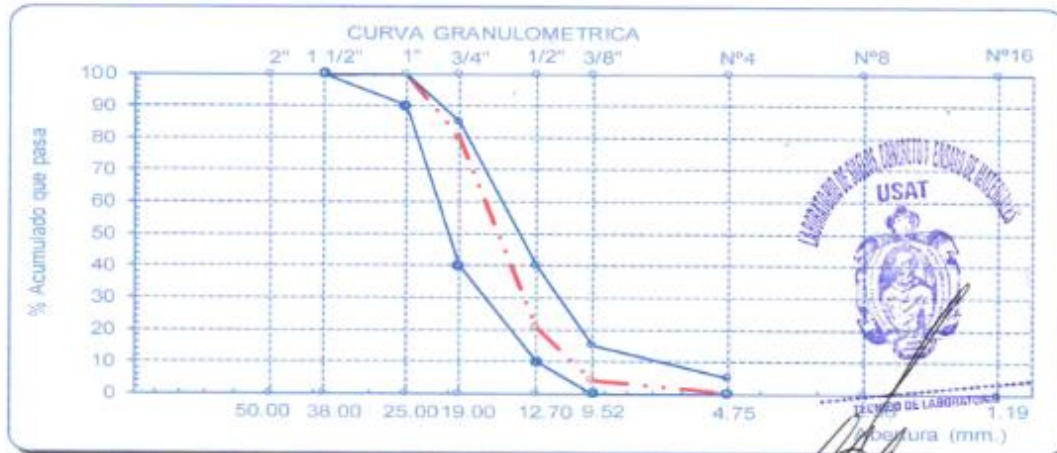
INFORME DE ENSAYO N° 4052

Expediente N° : 2045 - 2022 L.E.M. FERMATI S.A.C
 Tesista : FERNÁNDEZ RUBIO ANDERSON FRANKZOE
 Atención : UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 Proyecto : "EVALUACIÓN A LA RESISTENCIA FLEXIÓN Y DURABILIDAD DE UN PAVIMENTO RÍGIDO UTILIZANDO FIBRAS PET LAMBAYEQUE 2022"
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 14 de Septiembre del 2022

Ensayo : Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso
 Referencia : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

Muestra : Agregado Grueso
 Cantera : Tres Tomas - Ferreñafe
 Huso : 56

Malla		(%) Ret.	(%) Acum. Ret.	(%) Acum. Que Pasa	Especificaciones	
Pulg.	(mm.)					
2"	50.00	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"	25.00	0.0	0.0	100.0	90.0	100.0
3/4"	19.00	20.2	20.2	79.8	40.0	85.0
1/2"	12.70	59.2	79.4	20.6	10.0	40.0
3/8"	9.52	16.4	95.8	4.2	0.0	15.0
N° 04	4.75	4.0	99.8	0.2	0.0	5.0
N° 08	2.36	0.1	99.9	0.1		
N° 16	1.19	0.0	99.9	0.1		
Fondo		0.1	100.0	0.0		
Tamaño Maximo		1"	25.00			
Tamaño Maximo Nominal		3/4"	19.00			



OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.

*- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio

German Oscar Gastelo Chirinos
 Tec. Laboratorio



Juan Carlos Firmo Ojeda Ayesta
 Ing. Civil - Reg. CIP. 123351



Rivadeneira
 Oblitas
 Tec. LABORATORIO
 USAT



964423859 - 943011231

Ca. José Galvez N° 120

fermatissac@gmail.com

www.fermatissac.cf

Peso Unitario Agregado Grueso



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

INFORME DE ENSAYO N° 4052

(Pág. 01 de 01)

Expediente N° : 2045 - 2022 L.E.M. FERMATI S.A.C
 Tesista : FERNÁNDEZ RUBIO ANDERSON FRANKZOE
 Atención : UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 Proyecto : "EVALUACIÓN A LA RESISTENCIA FLEXIÓN Y DURABILIDAD DE UN PAVIMENTO RÍGIDO UTILIZANDO FIBRAS PET LAMBAYEQUE 2022"
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 14 de Septiembre del 2022

ENSAYO : AGREGADO. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado
 REFERENCIA : Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017

Muestra : Agregado Grueso
 Cantera : Tres Tomas - Ferreñafe

PESO UNITARIO SUELTO

Molde de ensayo		
Número de determinación		A
Peso de molde de ensayo vacío + peso muestra contenida	g.	18306.0
Peso de molde de ensayo vacío	g.	10729
Peso neto muestra contenida	g.	7577.0
Volumen del molde de ensayo	m ³	0.00544
Peso unitario suelto húmedo	kg/m ³	1392
Peso unitario suelto seco	kg/m ³	1387

PESO UNITARIO COMPACTADO


Molde de ensayo		
Número de determinación		A
Peso de molde de ensayo vacío + peso muestra húmeda	g.	19223.0
Peso de molde de ensayo vacío	g.	10729
Peso neto muestra contenida	g.	8494.0
Volumen del molde de ensayo	m ³	0.00544
Peso unitario compactado húmedo	kg/m ³	1560
Peso unitario compactado seco	kg/m ³	1555

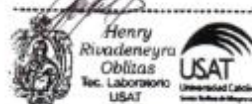
OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio.


 German Oscar Gastelo Chirinos
 Tec. Laboratorio




 Juan Carlos Firmo Ojeda Ayesta
 Ing. Civil - Reg. CIP. 123351



Peso Específico y Absorción Agregado Grueso



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

INFORME DE ENSAYO N° 4052

(Pág. 01 de 01)

Expediente N° : 2045 - 2022 L.E.M. FERMATI S.A.C
 Tesista : FERNÁNDEZ RUBIO ANDERSON FRANKZOE
 Atención : UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 Proyecto : "EVALUACIÓN A LA RESISTENCIA FLEXIÓN Y DURABILIDAD DE UN PAVIMENTO RÍGIDO UTILIZANDO FIBRAS PET LAMBAYEQUE 2022"
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 14 de Septiembre del 2022

ENSAYO : AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso.
 REFERENCIA : NTP 400.022

Muestra : Agregado Grueso
Cantera : Tres Tomas - Ferreñafe

A.- Datos de la Grava

1.- Peso de la muestra seca al homo	g	1514
2.- Peso de la muestra saturada superficialmente seca	g	1530
3.- peso de la muestra saturada dentro del agua + peso de la canastilla	g	1690
4.- Peso de la canastilla	g	733
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	g	957

B.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE LA GRAVA.	g/cm ³	2.642
B.- PESO ESPECIFICO DE LA MASA S.S.S.	g/cm ³	2.670
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	g/cm ³	2.718
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN.	%	1.06

OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio.


 German Oscar Gastelo Chirinos
 Tec. Laboratorio




 Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta
 Ing. Civil - Reg. CIP. 123351




 Henry Rivas Obitas
 Tec. Laboratorio
 USAT

964423859 - 943011231

Ca. José Galvez N° 120

fermatissac@gmail.com

www.fermatissac.cl

Resistencia A La Compresión



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

Tesista : Fernández Rubio Anderson Francisco
 Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
 Tesis : Evaluación de la resistencia flexión y ductilidad de un pavimento rígido utilizando fibras PET Lambayeque 2022
 Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 10 de Septiembre del 2022

Ensayo : Resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas
 Referencia : Norma N.T.P. 339.034

IDENTIFICACIÓN	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO	DÍAS	DIÁMETRO (d) (cm)	CARGA (P) (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _c Promedio	PORCENTAJE DE f _c DE DISEÑO (%)
CURADO HUMEDO								
CONCRETO PATRÓN 280 kg/cm ²	13/10/22	20/10/22	7	10	17700	225	232.79	83.14
CONCRETO PATRÓN 280 kg/cm ²	13/10/22	20/10/22	7	10	18000	229		
CONCRETO PATRÓN 280 kg/cm ²	13/10/22	20/10/22	7	10	19150	244		
CONCRETO PATRÓN 280 kg/cm ²	13/10/22	10/11/22	28	10	24405	311	310.37	110.85
CONCRETO PATRÓN 280 kg/cm ²	13/10/22	10/11/22	28	10	24330	310		
CONCRETO PATRÓN 280 kg/cm ²	13/10/22	10/11/22	28	10	24345	310		
CONCRETO PATRÓN + 2% PET	13/10/22	20/10/22	7	10	18160	231	239.56	85.56
CONCRETO PATRÓN + 2% PET	13/10/22	20/10/22	7	10	19470	248		
CONCRETO PATRÓN + 2% PET	13/10/22	20/10/22	7	10	18815	240		
CONCRETO PATRÓN + 2% PET	13/10/22	10/11/22	28	10	23380	295	282.28	100.81
CONCRETO PATRÓN + 2% PET	13/10/22	10/11/22	28	10	21160	269		
CONCRETO PATRÓN + 2% PET	13/10/22	10/11/22	28	10	22170	282		
CONCRETO PATRÓN + 3% PET	13/10/22	20/10/22	7	10	16360	207	208.11	74.33
CONCRETO PATRÓN + 3% PET	13/10/22	20/10/22	7	10	16430	209		
CONCRETO PATRÓN + 3% PET	13/10/22	20/10/22	7	10	16345	208		
CONCRETO PATRÓN + 3% PET	13/10/22	10/11/22	28	10	21110	269	366.62	95.22
CONCRETO PATRÓN + 3% PET	13/10/22	10/11/22	28	10	20770	264		
CONCRETO PATRÓN + 3% PET	13/10/22	10/11/22	28	10	20940	267		
CONCRETO PATRÓN + 4% PET	13/10/22	20/10/22	7	10	16310	208	202.51	72.32
CONCRETO PATRÓN + 4% PET	13/10/22	20/10/22	7	10	15500	197		
CONCRETO PATRÓN + 4% PET	13/10/22	20/10/22	7	10	15805	201		
CONCRETO PATRÓN + 4% PET	13/10/22	10/11/22	28	10	19250	243	349.43	89.08
CONCRETO PATRÓN + 4% PET	13/10/22	10/11/22	28	10	20130	258		
CONCRETO PATRÓN + 4% PET	13/10/22	10/11/22	28	10	19590	250		

German Oscar Gastelo Chirinos
 Tec. Laboratorio



Henry Rivas Encygra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT
 Universidad Católica del Perú, Lima

Juan Carlos Firme Ofeda Ayesta
 Ing. Civil - Reg. CIP. 123351

964423859 - 943011231

Cd. José Gabroz N° 120

fermalisac@gmail.com

www.fermalisac.com

Resistencia A La Flexión



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

Técnicos : Fernandez Rubo Anderson Francisco
 Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
 Proyecto : "Evaluación a la resistencia flexión y ductilidad de un pavimento rígido utilizando fibras PET Lambayeque 2022"
 Lugar : Dist. Chiclayo, Provi. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de presentación : Chiclayo, 14 de Noviembre del 2022
 Norma : (NTP 339.078)
 Título : Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo

Muestra N°	Denominación de Espécimen	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Carga (N)	Antigüedad del Espécimen	Módulo de Rotura (MPa)	Módulo de Rotura (Kg/cm ²)	Módulo de Rotura (Kg/cm ²) Promedio
1	CONCRETO PATRÓN	12/10/2022	9/11/2022	26183.622	28	3.5	35.60	35.07
2	CONCRETO PATRÓN	12/10/2022	9/11/2022	25399.094	28	3.4	34.53	
3	CONCRETO PATRÓN	12/10/2022	9/11/2022	25791.358	28	3.4	35.07	

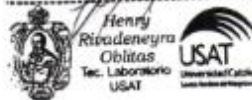

 German Oscar Gastelo Chirinos
 Tec. Laboratorio




 Juan Carlos Firme-Ofjeda Ayesta
 Ing. Civil - Reg. CIP. 123351




 Henry Rivadeneira Obitas
 Tec. Laboratorio USAT



964423859 - 943011231

Ca. José Galvez N° 120

fermatisac@gmail.com

www.fermatisac.cf

Tesis : Fernando Rubio Anderson Frantzoe
 Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
 Proyecto : "Evaluación a la resistencia flexión y ductilidad de un pavimento rígido yóltizado Rivas PET Lambayeque 2022"
 Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de presentación : Chiclayo, 14 de Noviembre del 2022
 Norma : (NTP 339.078)
 Título : Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo

Muestra N°	Denominación de Espécimen	Fecha de	Fecha de	Carga (N)	Artigüedad del Espécimen	Módulo de Rotura (MPa)	Módulo de Rotura (Kg/cm ²)	Módulo de Rotura (Kg/cm ²) Promedio
		Vaciado	Ensayo					
1	CONCRETO PATRÓN + 2% PET	12/10/2022	9/11/2022	26673.952	28	3.6	36.27	36.33
2	CONCRETO PATRÓN + 2% PET	12/10/2022	9/11/2022	26772.018	28	3.6	36.40	
3	CONCRETO PATRÓN + 2% PET	12/10/2022	9/11/2022	26722.985	28	3.6	36.33	



German Oscar Gastelo Chirinos
 Tec. Laboratorio




Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta
 Ing. Civil - Reg. CIP. 123351



Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT




Tesisista : Fernandez Rubo Anderson Frankzoe
 Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
 Proyecto : "Evaluación a la resistencia flexión y ductilidad de un pavimento rígido utilizando fibras PET Lambayeque 2022"
 Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de presentación : Chiclayo, 14 de Noviembre del 2022
 Norma : (NTP 339.076)
 Título : Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo

Muestra N°	Denominación de Espécimen	Fecha de	Fecha de	Carga (N)	Anchura del Espécimen	Módulo de Rotura (MPa)	Módulo de Rotura (Kg/cm ²)	Módulo de Rotura (Kg/cm ²) Promedio
		Vaciado	Ensayo					
1	CONCRETO PATRÓN + 3% PET	12/10/2022	9/11/2022	28537.206	28	3.8	38.80	38.67
2	CONCRETO PATRÓN + 3% PET	12/10/2022	9/11/2022	28341.074	28	3.8	38.53	
3	CONCRETO PATRÓN + 3% PET	12/10/2022	9/11/2022	28439.14	28	3.8	38.67	



German Oscar Gastelo Charinos
 Tec. Laboratorio




Juan Carlos Firmo Ojeda Ayesta
 Ing. Civil - Reg. CIP. 123351




Henry Rivas Obilias
 Tec. Laboratorio
 USAT

Tesis : Fernandez Rubio Anderson Frankzoe
 Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
 Proyecto : "Evaluación a la resistencia flexión y durabilidad de un pavimento rígido utilizando fibras PET Lambayeque 2022"
 Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de presentación : Chiclayo, 14 de Noviembre del 2022
 Norma : (NTP 339.078)
 Título : Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo

Muestra N°	Denominación de Espécimen	Fecha de	Fecha de	Carga	Antigüedad del	Modulo de	Modulo de	Modulo de Rotura
		Vaciado	Ensayo	(N)	Espécimen	Rotura (MPa)	Rotura (Kg/cm2)	(Kg/cm2)) Promedio
1	CONCRETO PATRÓN + 4% PET	12/10/2022	9/11/2022	32950.176	28	4.4	44.80	42.73
2	CONCRETO PATRÓN + 4% PET	12/10/2022	9/11/2022	29910.13	28	4.0	40.67	
3	CONCRETO PATRÓN + 4% PET	12/10/2022	9/11/2022	31430.153	28	4.2	42.73	



German Oscar Gastelo Chirinos
 Tec. Laboratorio




Juan Carlos Firme-Ñeja Ayesta
 Ing. Civil - Reg. CIP. 123351




Henry Ruadenebra Obitas
 Tec. Laboratorio USAT



Fisuración Por Contracción Plástica



Prueba de Fisuración No. 25
 Chiclayo - Lambayeque
 R.U.C. 2044791134
 Email: servicios@lemswac.com

Solicitud de ensayo : 0911A32/ LEMS W&C
 Solicitante : FERNANDEZ RUBIO ANDERSON FRANKZOE
 Proyecto / Obra : Tesis: Evaluación a la resistencia flexión y durabilidad en un pavimento rígido utilizando fibras PET Lambayeque 2022
 Ubicación : Dist. Pimental, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque
 Fecha de apertura : Miércoles, 09 de noviembre del 2022
 Inicio de ensayo : Jueves, 27 de abril del 2023.
 Fin de ensayo : Viernes, 28 de abril del 2023.

ENSAYO : Método de prueba estándar para Evaluación del agrietamiento por contracción plástica de concreto reforzado con fibra restringida (usando un inserto de encofrado de acero)
NORMA : ASTM C1579 - 06
Mezcla de concreto : Convencional, $f_c = 290 \text{ kg/cm}^2$ - Cemento PACASMAYO TIPO II (MS)/MH
R a/c diseño : 0.50
Dosificación : $f: 1.31 : 1.70 : 21.36 \text{ bbs/a}$
Cantidad por m3 : 528.79 kg; 701.73 kg; 832.72 kg; 264.39 #/m3 de concreto
Asentamiento : 3.0 pulg (76.2mm)
Adición : No
Muestras : Panel de Concreto en moldes profundidad de $100 \pm 5 \text{ mm}$ y dimensiones rectangulares de $355 \pm 10 \text{ mm}$ por $560 \pm 15 \text{ mm}$
Instrumentos : Anemómetro, Termómetro Digital, Sensor de Humedad
 Cámara Ambiental de simulación, Ventilador, Fisurómetro
 Varilla Normalizada de punta semiesférica, Martillo de goma, Badajo
Temperatura : $23 \pm 2^\circ\text{C}$
Velocidad de viento : 4.7 m/s
Humedad Relativa : 85%
Tasa de evaporación : $1.0 \text{ kg / m}^2 \cdot \text{H}$
Hora de Inicio : 14:00:00 pm

PANEL DE CONTROL N° 01										
Tiempo transcurrido				Dimensiones del Panel			Área de evaporación (m ²)	Código de Grieta	Ancho de Fisura (mm)	Ancho de Fisura Promedio (mm)
Fecha	Hora de Registro	Tiempo (horas)	Tiempo (minutos)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Profundidad (mm)				
27/04/2023	14:00	0:00	0	560	350	100	0.196	-	-	-
27/04/2023	20:00	6:00	360	560	350	100	0.196	A-A	0.35	0.37
27/04/2023	20:00	6:00	360	560	350	100	0.196	B-B	0.38	
27/04/2023	20:00	6:00	360	560	350	100	0.196	C-C	0.37	
28/04/2023	12:00	22:00	1320	560	350	100	0.196	A-A	0.45	0.47
28/04/2023	12:00	22:00	1320	560	350	100	0.196	B-B	0.49	
28/04/2023	12:00	22:00	1320	560	350	100	0.196	C-C	0.48	
28/04/2023	14:00	24:00	1440	560	350	100	0.196	A-A	0.50	0.52
28/04/2023	14:00	24:00	1440	560	350	100	0.196	B-B	0.54	
28/04/2023	14:00	24:00	1440	560	350	100	0.196	C-C	0.53	
Ancho de fisura Promedio en el Panel (mm)										0.52

PANEL DE CONTROL N° 02										
Tiempo transcurrido				Dimensiones del Panel			Área de evaporación (m ²)	Código de Grieta	Ancho de Fisura (mm)	Ancho de Fisura Promedio (mm)
Fecha	Hora de Registro	Tiempo (horas)	Tiempo (minutos)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Profundidad (mm)				
27/04/2023	14:00	0:00	0	560	350	100	0.196	-	-	-
27/04/2023	20:00	6:00	360	560	350	100	0.196	A-A	0.34	0.35
27/04/2023	20:00	6:00	360	560	350	100	0.196	B-B	0.36	
27/04/2023	20:00	6:00	360	560	350	100	0.196	C-C	0.36	
28/04/2023	12:00	22:00	1320	560	350	100	0.196	A-A	0.44	0.46
28/04/2023	12:00	22:00	1320	560	350	100	0.196	B-B	0.46	
28/04/2023	12:00	22:00	1320	560	350	100	0.196	C-C	0.47	
28/04/2023	14:00	24:00	1440	560	350	100	0.196	A-A	0.49	0.51
28/04/2023	14:00	24:00	1440	560	350	100	0.196	B-B	0.51	
28/04/2023	14:00	24:00	1440	560	350	100	0.196	C-C	0.52	
Ancho de fisura Promedio en el Panel (mm)										0.51

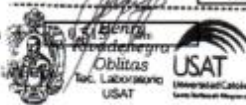
Promedio de ancho de fisuras en dos Paneles

OBSERVACIONES:

- Muestra, identificación y ensayo realizado por el Ing. Wilson Arturo Olaya Aguilar



WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR
 TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS



MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES
 INGENIERO CIVIL
 C.I.P. 244964





Protección Holagres Km. 1.5
Chilayo - Lambayeque
R.U.C. 2048701134
Email: servicios@lemswac.com

Solicitud de ensayo	:	0011A22/ LEMS W&C
Solicitante	:	FERNANDEZ RUBIO ANDERSON FRANKZOE
Proyecto / Obra	:	Tesis: Evaluación a la resistencia flexión y durabilidad en un pavimento rígido utilizando fibras PET Lambayeque 2022
Ubicación	:	Dist. Pimental, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque
Fecha de apertura	:	Miércoles, 09 de noviembre del 2022
Inicio de ensayo	:	Viernes, 28 de abril del 2023.
Fin de ensayo	:	Sábado, 29 de abril del 2023.
ENSAYO	:	Método de prueba estándar para Evaluación del agrietamiento por contracción plástica de concreto reforzado con fibra restringida (usando un inserto de encofrado de acero)
NORMA	:	ASTM C1579 - 06
Mezcla de concreto	:	Experimental 2% PET, f'c = 280kg/cm2- Cemento PACASMAYO TIPO II (MS)MH
R al c diseño	:	0.50
Dosificación	:	1: 1.31 : 1.70 : 21.30/bbs
Cantidad por m3	:	528.79 kg; 701.73 kg; 832.72 kg; 264.39 l/m3 de concreto + 10.58kg PET
Asentamiento	:	2.7 pulg (68.58mm)
Adición	:	Tartrato de Polietileno PET: 2% Fibras de longitud de 3cm y ancho de 3cm
Muestras	:	Panel de Concreto en moldes profundidad de 100 ± 5 mm y dimensiones rectangulares de 355 ± 10 mm por 560 ± 15 mm
Instrumentos	:	Anemómetro, Termómetro Digital, Sensor de Humedad Cámara Ambiental de simulación, Ventilador, Fisurómetro Varilla Normalizada de punta semiesférica, Martillo de goma, Badetejo
Temperatura	:	23 ± 2°C
Velocidad de viento	:	4.7 m/s
Humedad Relativa	:	65%
Tasa de evaporación	:	1.0 kg / m2· h
Hora de Inicio	:	14:00:00 pm

PANEL DE MUESTRA EXPERIMENTAL PET 2% N° 01										
Tiempo transcurrido				Dimensiones del Panel			Área de evaporación (m ²)	Código de Grieta	Ancho de Fisura (mm)	Ancho de Fisura Promedio (mm)
Fecha	Hora de Registro	Tiempo (horas)	Tiempo (minutos)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Profundidad (mm)				
28/04/2023	14:00	0:00	0	560	350	100	0.196	-	-	-
28/04/2023	20:00	6:00	360	560	350	100	0.196	A-A	0.32	0.30
28/04/2023	20:00	6:00	360	560	350	100	0.196	B-B	0.29	
28/04/2023	20:00	6:00	360	560	350	100	0.196	C-C	0.30	
29/04/2023	12:00	22:00	1320	560	350	100	0.196	A-A	0.41	0.39
29/04/2023	12:00	22:00	1320	560	350	100	0.196	B-B	0.37	
29/04/2023	12:00	22:00	1320	560	350	100	0.196	C-C	0.39	
29/04/2023	14:00	24:00	1440	560	350	100	0.196	A-A	0.46	0.43
29/04/2023	14:00	24:00	1440	560	350	100	0.196	B-B	0.41	
29/04/2023	14:00	24:00	1440	560	350	100	0.196	C-C	0.43	
Ancho de fisura Promedio en el Panel (mm)										0.43

PANEL DE MUESTRA EXPERIMENTAL PET 2% N° 02										
Tiempo transcurrido				Dimensiones del Panel			Área de evaporación (m ²)	Código de Grieta	Ancho de Fisura (mm)	Ancho de Fisura Promedio (mm)
Fecha	Hora de Registro	Tiempo (horas)	Tiempo (minutos)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Profundidad (mm)				
28/04/2023	14:00	0:00	0	560	350	100	0.196	-	-	-
28/04/2023	20:00	6:00	360	560	350	100	0.196	A-A	0.32	0.33
28/04/2023	20:00	6:00	360	560	350	100	0.196	B-B	0.34	
28/04/2023	20:00	6:00	360	560	350	100	0.196	C-C	0.34	
29/04/2023	12:00	22:00	1320	560	350	100	0.196	A-A	0.41	0.43
29/04/2023	12:00	22:00	1320	560	350	100	0.196	B-B	0.43	
29/04/2023	12:00	22:00	1320	560	350	100	0.196	C-C	0.44	
29/04/2023	14:00	24:00	1440	560	350	100	0.196	A-A	0.45	0.47
29/04/2023	14:00	24:00	1440	560	350	100	0.196	B-B	0.48	
29/04/2023	14:00	24:00	1440	560	350	100	0.196	C-C	0.46	
Ancho de fisura Promedio en el Panel (mm)										0.47

Promedio de ancho de fisuras en dos Paneles

0.450

OBSERVACIONES:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante

LEMS W&C EIRL
WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR
TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

Henry Rubiobeneza Obilias
Tec. Laboratorio USAT

USAT
Universidad César Vallejo

LEMS W&C EIRL
MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES
INGENIERO CIVIL
CIP: 244564



Solicitud de ensayo : 0911A22/ LEMS W&C
 Solicitante : FERNANDEZ RUBIO ANDERSON FRANKZOE
 Proyecto / Obra : Tests: Evaluación a la resistencia flexión y durabilidad en un pavimento rígido utilizando fibras PET Lambayeque 2022
 Ubicación : Dist. Pimental, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque
 Fecha de apertura : Miércoles, 08 de noviembre del 2022
 Inicio de ensayo : Lunes, 01 de mayo del 2023.
 Fin de ensayo : Martes, 02 de mayo del 2023.

ENSAYO : Método de prueba estándar para Evaluación del agrietamiento por contracción plástica de concreto reforzado con fibra restringida (usando un inserto de encofrado de acero)
NORMA : ASTM C 1579 - 06
Mezcla de concreto : Experimental 3% PET, F'c = 280kg/cm²- Cemento PACASMAYO TIPO II (MS)MH
R a/c diseño : 0.50
Dosificación : f: 1.31 : 1.70 : 21.30/bis
Cantidad por m3 : 528.79 kg, 701.73 kg, 832.72 kg; 264.39 l/m³ de concreto + 15.85kg PET
Asentamiento : 2.1 pulg (53.34mm)
Adeición : Tereftalato de Polietileno PET: 3%
 Fibras de longitud de 3cm y ancho de 3cm
Muestras : Panel de Concreto en moldes profundidad de 100 ± 5 mm y dimensiones rectangulares de 355 ± 10 mm por 560 ± 15 mm
Instrumentos : Anemómetro, Termómetro Digital, Sensor de Humedad
 Cámara Ambiental de simulación, Ventilador, Fisurómetro
 Vanlia Normalizada de punta semiesférica, Martillo de goma, Badiejo
Temperatura : 23 ± 2°C
Velocidad de viento : 4.7 m/s
Humedad Relativa : 65%
Tasa de evaporación : 1.0 kg / m² · H
Hora de inicio : 14:00:00 pm

PANEL DE MUESTRA EXPERIMENTAL PET 3% Nº 01										
Tiempo transcurrido				Dimensiones del Panel			Área de evaporación (m ²)	Código de Grieta	Ancho de Fisura (mm)	Ancho de Fisura Promedio (mm)
Fecha	Hora de Registro	Tiempo (horas)	Tiempo (minutos)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Profundidad (mm)				
01/05/2023	14:00	0:00	0	560	350	100	0.196	-	-	-
01/05/2023	20:00	6:00	360	560	350	100	0.196	A-A	0.25	0.25
01/05/2023	20:00	6:00	360	560	350	100	0.196	B-B	0.26	
01/05/2023	20:00	6:00	360	560	350	100	0.196	C-C	0.23	
02/05/2023	12:00	22:00	1320	560	350	100	0.196	A-A	0.32	0.32
02/05/2023	12:00	22:00	1320	560	350	100	0.196	B-B	0.33	
02/05/2023	12:00	22:00	1320	560	350	100	0.196	C-C	0.30	
02/05/2023	14:00	24:00	1440	560	350	100	0.196	A-A	0.35	0.35
02/05/2023	14:00	24:00	1440	560	350	100	0.196	B-B	0.37	
02/05/2023	14:00	24:00	1440	560	350	100	0.196	C-C	0.33	
Ancho de fisura Promedio en el Panel (mm)										0.35

PANEL DE MUESTRA EXPERIMENTAL PET 3% Nº 02										
Tiempo transcurrido				Dimensiones del Panel			Área de evaporación (m ²)	Código de Grieta	Ancho de Fisura (mm)	Ancho de Fisura Promedio (mm)
Fecha	Hora de Registro	Tiempo (horas)	Tiempo (minutos)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Profundidad (mm)				
01/05/2023	14:00	0:00	0	560	350	100	0.196	-	-	-
01/05/2023	20:00	6:00	360	560	350	100	0.196	A-A	0.28	0.29
01/05/2023	20:00	6:00	360	560	350	100	0.196	B-B	0.27	
01/05/2023	20:00	6:00	360	560	350	100	0.196	C-C	0.27	
02/05/2023	12:00	22:00	1320	560	350	100	0.196	A-A	0.36	0.35
02/05/2023	12:00	22:00	1320	560	350	100	0.196	B-B	0.34	
02/05/2023	12:00	22:00	1320	560	350	100	0.196	C-C	0.35	
02/05/2023	14:00	24:00	1440	560	350	100	0.196	A-A	0.40	0.39
02/05/2023	14:00	24:00	1440	560	350	100	0.196	B-B	0.38	
02/05/2023	14:00	24:00	1440	560	350	100	0.196	C-C	0.39	
Ancho de fisura Promedio en el Panel (mm)										0.39

Promedio de ancho de fisuras en dos Paneles : 0.370

OBSERVACIONES:

- Muestra, identificación y ensayo realizado por el señor

WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR
 TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES
 INGENIERO CIVIL
 C.I.F. 244964





Prologación Delgadoi Km. 3.5
Chileno - Lambayeque
R.U.C. 2048761334
Email: servicios@lemsgwac.com

Solicitud de ensayo : 0911A22/ LEMS W&C
Solicitante : FERNANDEZ RUBIO ANDERSON FRANKZOE
Proyecto / Obra : Tesis: Evaluación a la resistencia flexión y durabilidad en un pavimento rígido utilizando fibras PET Lambayeque 2022

Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque
Fecha de apertura : Miércoles, 09 de noviembre del 2022
Inicio de ensayo : Martes, 02 de mayo del 2023.
Fin de ensayo : Miércoles, 03 de mayo del 2023.

ENSAYO : Método de prueba estándar para Evaluación del agrietamiento por contracción plástica de concreto reforzado con fibra restringida (usando un inserto de encofrado de acero)

NORMA : ASTM C1579 - 06

Mezcla de concreto : Experimental 4% PET, F'c = 280kg/cm2- Cemento PACASMAYO TIPO II (MS)MH
R a/c diseño : 0.50
Dosificación : 1 : 1.31 : 1.70 : 21.30kg/m³
Cantidad por m3 : 528.79 kg; 701.73 kg; 632.72 kg; 264.39 N /m3 de concreto + 21.15kg PET
Asentamiento : 1.5 pulg (38.10mm)
Adición : Tereftalato de Polietileno PET 4%
Fibras de longitud de 30m y ancho de 3cm
Muestras : Panel de Concreto en moldes profundidad de 100 ± 5 mm y dimensiones rectangulares de 355 ± 10 mm por 560 ± 15 mm
Instrumentos : Anemómetro, Termómetro Digital, Sensor de Humedad
Cámara Ambiental de simulación, Ventilador, Fluorómetro
Varilla Normalizada de punta semiesférica, Martillo de goma, Badiejo

Temperatura : 23 ± 2°C
Velocidad de viento : 4.7 m/s
Humedad Relativa : 65%
Tasa de evaporación : 1.0 kg / m²· H
Hora de Inicio : 14:00:00 pm

PANEL DE MUESTRA EXPERIMENTAL PET 4% N° 01										
Fecha	Tiempo transcurrido			Dimensiones del Panel			Área de evaporación (m²)	Código de Grieta	Ancho de Fisura (mm)	Ancho de Fisura Promedio (mm)
	Hora de Registro	Tiempo (horas)	Tiempo (minutos)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Profundidad (mm)				
02/05/2023	14:00	0:00	0	560	350	100	0.196	-	-	-
02/05/2023	20:00	6:00	360	560	350	100	0.196	A-A	0.21	0.20
02/05/2023	20:00	6:00	360	560	350	100	0.196	B-B	0.19	
02/05/2023	20:00	6:00	360	560	350	100	0.196	C-C	0.20	
03/05/2023	12:00	22:00	1320	560	350	100	0.196	A-A	0.27	0.26
03/05/2023	12:00	22:00	1320	560	350	100	0.196	B-B	0.24	
03/05/2023	12:00	22:00	1320	560	350	100	0.196	C-C	0.26	
03/05/2023	14:00	24:00	1440	560	350	100	0.196	A-A	0.30	0.29
03/05/2023	14:00	24:00	1440	560	350	100	0.196	B-B	0.27	
03/05/2023	14:00	24:00	1440	560	350	100	0.196	C-C	0.29	
Ancho de fisura Promedio en el Panel (mm)										0.29

PANEL DE MUESTRA EXPERIMENTAL PET 4% N° 02										
Fecha	Tiempo transcurrido			Dimensiones del Panel			Área de evaporación (m²)	Código de Grieta	Ancho de Fisura (mm)	Ancho de Fisura Promedio (mm)
	Hora de Registro	Tiempo (horas)	Tiempo (minutos)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Profundidad (mm)				
02/05/2023	14:00	0:00	0	560	350	100	0.196	-	-	-
02/05/2023	20:00	6:00	360	560	350	100	0.196	A-A	0.13	0.17
02/05/2023	20:00	6:00	360	560	350	100	0.196	B-B	0.17	
02/05/2023	20:00	6:00	360	560	350	100	0.196	C-C	0.21	
03/05/2023	12:00	22:00	1320	560	350	100	0.196	A-A	0.16	0.22
03/05/2023	12:00	22:00	1320	560	350	100	0.196	B-B	0.22	
03/05/2023	12:00	22:00	1320	560	350	100	0.196	C-C	0.24	
03/05/2023	14:00	24:00	1440	560	350	100	0.196	A-A	0.18	0.24
03/05/2023	14:00	24:00	1440	560	350	100	0.196	B-B	0.24	
03/05/2023	14:00	24:00	1440	560	350	100	0.196	C-C	0.26	
Ancho de fisura Promedio en el Panel (mm)										0.24

Promedio de ancho de fisuras en dos Paneles

0.265

OBSERVACIONES

- Muestras, identificación y ensayo realizado por el solicitante

LEMS W&C EIRL
WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR
TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

Academia Obitras
Tec. Laboratorio USAT

USAT
LEMS W&C EIRL
MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES
INGENIERO CIVIL
CIP: 246984

Abrasión Del Concreto



Certificado INDECOPR N°00137704 RNP Servicios S0606509

Protección Biológica Km. 3.5

Chilayo - Lambayeque

R.U.C. 20482781334

Email: servicios@lemswacel.com

Solicitud de ensayo : 0911A22/ LEMS W&C
Solicitante : Anderson Frankzoe Fernández Rubio
Proyecto / Obra : TESIS: Evaluación a la resistencia flexión y durabilidad de un pavimento rígido utilizando fibras PET Lambayeque 2022

Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque.
Fecha de Apertura : Miércoles, 09 de noviembre del 2022
Inicio de Ensayo : Sábado, 12 de noviembre del 2022
Fin de ensayo : Sábado, 12 de noviembre del 2022

ENSAYO : Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method (Método normalizado para la resistencia a la abrasión del concreto o superficies de mortero mediante el ensayo del rodillo giratorio).

NORMA : ASTM C944 / C944M - 12

Muestra	Descripción o nombre de la muestra	Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	Edad (días)	Tiempo Abrasión (Minutos)	ciclo	Carga (N)	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Desgaste (g)	Desgaste (%)
PATRON	fc= 280 kg/cm ²	12-Oct	12-Nov	31	2	3	98	822	821	0.63	0.08
PATRON		12-Oct	12-Nov	31	2	3	98	849	849	0.59	0.07
2% PET		12-Oct	12-Nov	31	2	3	98	977	975	1.63	0.17
2%PET		12-Oct	12-Nov	31	2	3	98	969	967	1.45	0.15
3%PET		12-Oct	12-Nov	31	2	3	98	976	975	1.02	0.10
3%PET		12-Oct	12-Nov	31	2	3	98	959	958	0.87	0.09
4%PET		12-Oct	12-Nov	31	2	3	98	892	889	2.79	0.31
4%PET		12-Oct	12-Nov	31	2	3	98	882	880	1.40	0.16

NOTA 1 : Según norma se deberá ensayar como mínimo tres especímenes.

OBSERVACIONES :

- Muestreo, identificación y ensayos realizados por el solicitante.

LEMS W&C EIRL.

WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR
 TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

LEMS W&C EIRL.

MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES
 INGENIERO CIVIL
 CIP: 246944

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT

TECNICO DE LABORATORIO

USAT
 Universidad Católica del Perú

Absorción De Agua



Protección Biológica km. 3.5
Chiclayo - Lambayeque
R.U.C. 20483781334
Email: lemswac@gnail.com

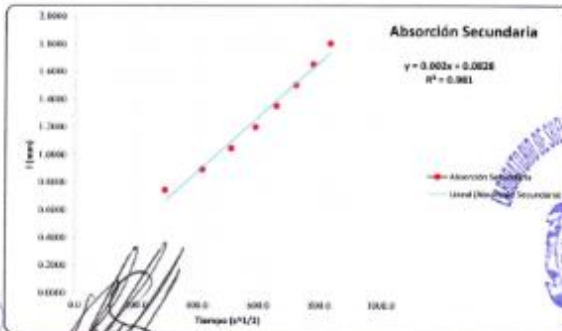
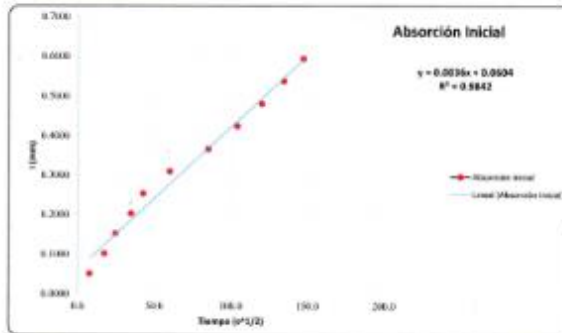
Solicitud de ensayo : 0011A22J LEMS W&C
Solicitante : Anderson Frankzeo Fernández Rubio
Proyecto / Obra : TESIS: Evaluación a la resistencia flexión y durabilidad de un pavimento rígido utilizando fibras PET Lambayeque 2022
Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque
Ensayo : MÉTODO DE PRUEBA PARA DETERMINAR LA VELOCIDAD DE ABSORCIÓN DE LOS CONCRETOS DE CEMENTO HIDRAULICO
Referencia : ASTM C-1585
Fecha de inicio ensayo : 14 de noviembre del 2022
Fecha de término ensayo : 22 de noviembre del 2022
Materia de concreto : Convencional, $f_c = 280\text{kg/cm}^2$
Edad : 30 días
Temperatura : $23 \pm 2^\circ\text{C}$
Muestras : Probetas estandarizadas $D=4"$
Tipo de Sellador : Silicona líquida en las caras laterales y cara no expuesta
Tipo de curado : Curado normalizado en pozas de agua del laboratorio

1.- DATOS DE LA MUESTRA

Prueba_OP 210	Masa	Diámetro Promedio	Espesor Promedio	Área	Densidad
	(g)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(g/cm ³)
M - 1	1012.47	100.36	58.63	7914.97	2.53
M - 2	998.71	100.30	51.35	7901.57	2.46
M - 3	1019.83	100.54	51.20	7039.43	2.51

2.- RESULTADOS DEL ENSAYO

Tiempo de Absorción	TIEMPO		ABSORCIÓN	
	t ^{1/2}	(mm)	I	
Absorción Inicial (SI)	0.0	0.0000	0.0000	
	7.7	0.0505	0.0505	
	17.3	0.0505	0.1010	
	24.5	0.0505	0.1515	
	34.6	0.0505	0.2021	
	42.4	0.0505	0.2526	
	60.0	0.0508	0.3034	
	84.9	0.0508	0.3982	
	103.9	0.0508	0.4231	
	120.0	0.0508	0.4799	
Absorción Secundaria (SI)	124.2	0.0508	0.5307	
	147.0	0.0508	0.5935	
	283.9	0.1515	0.7451	
	415.7	0.1515	0.8966	
	509.1	0.1515	1.0482	
	587.0	0.1515	1.1997	
	667.3	0.1515	1.3512	
	720.0	0.1515	1.5028	
	777.4	0.1515	1.6543	
	831.4	0.1515	1.8059	



LEMS W&C EIRL
WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR
TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

Henry Riuandeyra Obilias
Tec. Laboratorio USAT

LEMS W&C EIRL
MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES
INGENIERO CIVIL
CIP: 244984

TECNICO DE LABORATORIO

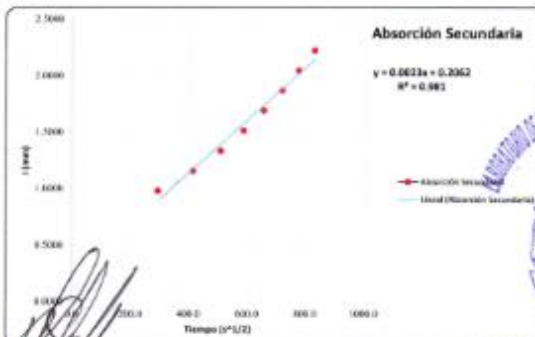
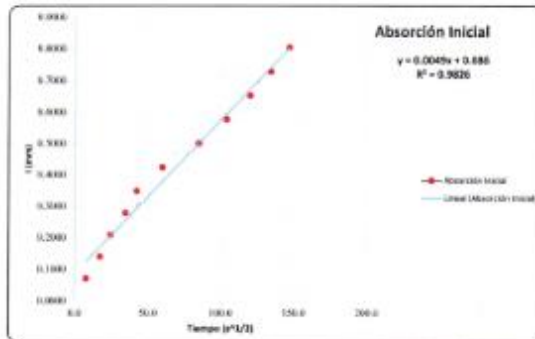
Solicitud de ensayo: **6911A22/ LEMS W&C**
 Solicitante: Anderson Francisco Fernández Rubio
 Proyecto / Obra: TESIS: Evaluación a la resistencia flexión y durabilidad de un pavimento rígido utilizando fibras PET Lambayeque 2022
 Ubicación: Dst. Piñamal, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque
 Ensayo: METODO DE PRUEBA PARA DETERMINAR LA VELOCIDAD DE ABSORCIÓN DE LOS CONCRETOS DE CEMENTO HIDRAULICO
 Referencia: ASTM C-1585
 Fecha de inicio ensayo: 22 de noviembre del 2022
 Fecha de término ensayo: 30 de noviembre del 2022
 Mezcla de concreto: Convencional, $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2 + 2\% \text{ PET}$
 Edad: 36 días
 Temperatura: $23 \pm 2^\circ\text{C}$
 Muestras: Probetas estandarizadas $150 \times 150 \times 150$
 Tipo de Sellador: Silicona líquida en las caras laterales y cara no expuesta
 Tipo de curado: Curado normalizado en pozos de agua del laboratorio

1 - DATOS DE LA MUESTRA

Prueba_DP 280	Mass	Díámetro Promedio	Espesor Promedio	Área	Densidad
	(g)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(g/cm ³)
M-1	977.46	100.16	50.23	7879.53	2.47
M-2	983.67	100.38	50.36	7914.18	2.47
M-3	1001.36	100.58	50.28	7844.96	2.51

2 - RESULTADOS DEL ENSAYO

Número de Absorción	TIEMPO		ABSORCIÓN	
	t ^{1/2}	(mm)	I	I
Absorción Inicial (SI)	0.0	0.0000	0.0000	
	7.7	0.0695	0.0695	
	17.3	0.0695	0.1390	
	24.5	0.0695	0.2085	
	34.6	0.0695	0.2780	
	42.4	0.0695	0.3475	
	66.0	0.0758	0.4234	
	84.9	0.0758	0.4992	
	103.9	0.0758	0.5750	
	120.0	0.0758	0.6508	
	134.2	0.0758	0.7267	
	147.0	0.0758	0.8025	
Absorción Secundaria (SI)	283.9	0.1769	0.8794	
	415.7	0.1769	1.1564	
	509.1	0.1769	1.3333	
	587.9	0.1769	1.5102	
	657.3	0.1769	1.6871	
	720.0	0.1769	1.8641	
	777.4	0.1769	2.0410	
	831.4	0.1769	2.2179	



LEMS W&C EIRL
 WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR
 TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. LABORATORIO USAT



LEMS W&C EIRL
 MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES
 INGENIERO CIVIL
 C.I.P. 244984

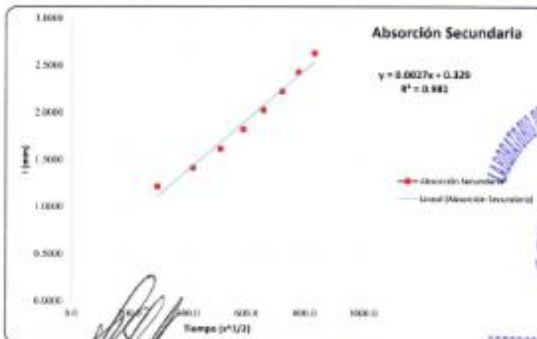
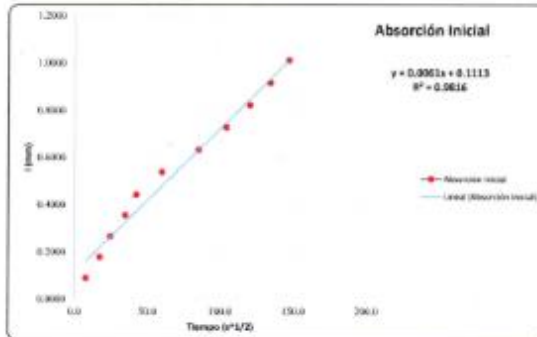
Solicitud de ensayo : **0911A32/ LEMS W&C**
 Solicitante : Anderson Francisco Fernández Rubio
 Proyecto / Obra : **TESTES: Evaluación a la resistencia flexión y durabilidad de un pavimento rígido utilizando fibras PET Lambayeque 2022**
 Ubicación : **Dst. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque**
 Ensayo : **METODO DE PRUEBA PARA DETERMINAR LA VELOCIDAD DE ABSORCIÓN DE LOS CONCRETOS DE CEMENTO HIDRAULICO**
 Referencia : **ASTM C-1585**
 Fecha de inicio ensayo : **01 de diciembre del 2022**
 Fecha de término ensayo : **09 de diciembre del 2022**
 Mezcla de concreto : **Convencional, f'c = 280kg/cm2 + 3% PET**
 Edad : **30 días**
 Temperatura : **23 ± 2°C**
 Muestras : **Pruebas estandarizadas D=4"**
 Tipo de Sellador : **Silicona líquida en las caras laterales y cara no expuesta**
 Tipo de curado : **Curado normalizado en pozas de agua del laboratorio**

1.- DATOS DE LA MUESTRA

Prueba_DP 230	Mass	Dámetro Promedio	Espesor Promedio	Área	Densidad
	(g)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(g/cm ³)
M - 1	979.37	100.54	50.45	7607.48	2.45
M - 2	961.97	100.46	50.39	7625.62	2.41
M - 3	969.40	100.57	50.46	7844.17	2.42

2.- RESULTADOS DEL ENSAYO

Número de Absorción	TIEMPO		ABSORCIÓN	
	t ^{1/2} (s)	(mm)	I	
Absorción Inicial (SI)	0.0	0.0300	0.6000	
	7.7	0.0883	0.8883	
	17.3	0.0883	0.1760	
	24.5	0.0883	0.2450	
	34.6	0.0883	0.3532	
	42.4	0.0883	0.4416	
	60.0	0.0946	0.5382	
	84.9	0.0946	0.6389	
	103.9	0.0946	0.7295	
	120.0	0.0946	0.8291	
Absorción Secundaria (SI)	134.2	0.0946	0.9147	
	147.0	0.0946	1.0094	
	293.9	0.2019	1.2112	
	415.7	0.2019	1.4101	
	509.1	0.2019	1.6150	
	587.9	0.2019	1.8189	
	657.3	0.2019	2.0187	
	720.0	0.2019	2.2266	
	777.4	0.2019	2.4225	
	851.4	0.2019	2.6244	



LEMS W&C EIRL
 WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR
 TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

Henry Ripadeneira Obilias
 Tec. Laboratorio
 USAT

LEMS W&C EIRL
 MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES
 INGENIERO CIVIL
 C.I.P. 244984

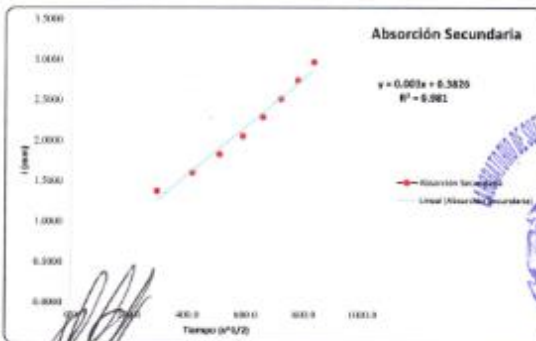
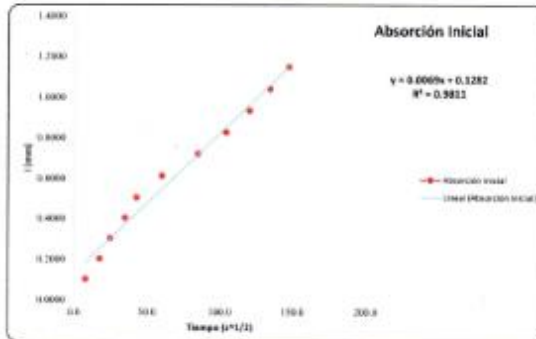
Solicitud de ensayo : **0911A221 LEMS W&C**
 Solicitante : Anderson Francisco Fernández Rubio
 Proyecto / Obra : TESIS: Evaluación a la resistencia flexión y durabilidad de un pavimento rígido utilizando fibras PET Lambayeque 2022
 Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depto. Lambayeque
 Ensayo : METODO DE PRUEBA PARA DETERMINAR LA VELOCIDAD DE ABSORCIÓN DE LOS CONCRETOS DE CEMENTO HIDRAULICO
 Referencia : ASTM C-1585
 Fecha de inicio ensayo : 09 de diciembre del 2022
 Fecha de término ensayo : 17 de diciembre del 2022
 Muestra de concreto : Convencional, Fc = 280kg/cm2 + 4% PET
 Edad : 30 días
 Temperatura : 23 ± 2°C
 Muestras : Probetas estandarizadas D=4"
 Tipo de Soltador : Sílicona líquida en las caras laterales y cara no expuesta
 Tipo de curado : Curado normalizado en pozas de agua del laboratorio

1.- DATOS DE LA MUESTRA

Probeta_DP 200	Masa	Díámetro Promedio	Espeor Promedio	Área	Densidad
	(g)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(g/cm ³)
M - 1	955.53	100.46	50.16	7926.01	2.40
M - 2	946.85	100.44	50.46	7923.64	2.37
M - 3	967.49	100.53	50.71	7937.06	2.40

2.- RESULTADOS DEL ENSAYO

Número de Absorción	TIEMPO	ABSORCIÓN	
	t (h)	(mm)	I
Absorción Inicial (SI)	0.0	0.0000	0.0000
	7.7	0.1009	0.1009
	17.3	0.1009	0.2018
	24.5	0.1009	0.3027
	34.6	0.1009	0.4036
	42.4	0.1009	0.5045
	60.0	0.1072	0.6117
	84.9	0.1072	0.7189
	103.9	0.1072	0.8261
	120.0	0.1072	0.9333
Absorción Secundaria (SI)	134.2	0.1072	1.0485
	147.0	0.1072	1.1477
	293.9	0.2270	1.3747
	415.7	0.2270	1.6017
	599.1	0.2270	1.8288
	587.9	0.2270	2.0558
	657.3	0.2270	2.2829
	720.0	0.2270	2.5099
	777.4	0.2270	2.7369
	851.4	0.2270	2.9639



LEMS W&C EIRL
 WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR
 TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

Henry Rivaldeyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

USAT
 Laboratorio de Ensayos de Materiales

LEMS W&C EIRL
 MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES
 INGENIERO CIVIL
 CIP: 246964



Penetración De Agua



Prolongación Biologos Km. 3.5
Chiclayo - Lambayeque
R.U.C. 2048761334
Email: servicios@lemswac.com

Solicitud de ensayo : 0911A231 LEMS W&C
Solicitante : Anderson Fajardo Fernández Rubio
Proyecto / Obra : TESIS: Evaluación a la resistencia flexión y durabilidad de un pavimento rígido utilizando fibras PET Lambayeque 2022

Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dept. Lambayeque
Fecha de Apertura : Miércoles, 09 de noviembre del 2022
Inicio de Ensayo : Miércoles, 09 de noviembre del 2022
Fin de ensayo : Sábado, 12 de noviembre del 2022

Ensayo : ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO: - Parte II: Profundidad de penetración de agua bajo presión

Norma : UNE-EN12360-8
Mezcla de concreto : F_c = 280 kg/cm²
R aló diseño : 0.50
Edad : 28 días

Muestra Nº	Descripción de la Muestra (kg/cm ²)	Fecha		Hora		Tiempo (72 ± 2 Horas)	Circ	Penetración Máxima (mm)			
		Edad (Días)	Inicio	Final	Inicio			Final	Unidad	Promedio	Clase de exposición
M-40	CONCRETO F _c =280kg/cm ² - PATRON	28	09/11/2022	12/11/2022	9:00 a. m.	9:00 a. m.	72	A	47.80	47.95	C1-MPEL para elementos en masa e estructuras
								B	48.17		
M-40	CONCRETO F _c =280kg/cm ² - PATRON	28	09/11/2022	12/11/2022	9:00 a. m.	9:00 a. m.	72	A	45.21	45.33	C1-MPEL para elementos en masa e estructuras
								B	45.44		

NOTA:
- PRESIÓN APLICADA: 500 kPa aplicada desde la base de la probeta.
OBSERVACIONES:
- Muestras, identificación y ensayo realizado por el solicitante.

LEMS W&C EIRL.
WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR
TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

LEMS W&C EIRL.
MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES
INGENIERO CIVIL
CIP: 246964

Henry Rivadeneira Obillas
Tec. Laboratorio
USAT

USAT
LABORATORIO DE PUENTES, OBRAS DE OBRAS DE ARQUITECTURA
TECNICO DE LABORATORIO



Prologación Bvingsuri Km. 3.5
Chiclayo - Lambayeque
R.L.C. 20480781334
Email: servicios@lemsgwac.com

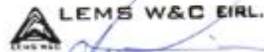
Solicitud de ensayo : 0811A23/ LEMS W&C
Solicitante : Anderson Francisco Fernández Rubio
Proyecto / Obra : TESES: Evaluación a la resistencia flexión y durabilidad de un pavimento rígido utilizando fibras PET Lambayeque 2022

Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dept. Lambayeque
Fecha de Apertura : Miércoles, 09 de noviembre del 2022
Inicio de Ensayo : Lunes, 14 de noviembre del 2022
Fin de ensayo : Jueves, 17 de noviembre del 2022

Ensayo : ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO: - Parte B: Profundidad de penetración de agua bajo presión.
Norma : UNE-EN12360-8
Mezcla de concreto : f'c= 280 kg/cm2
R al c diseño : 0.50
Edad : 28 días

Muestra N°	Descripción de la Muestra (kg/cm2)	Edad		Fecha		Hora		Tiempo (72 ± 2 Horas)	Cero	Penetración Mínima (mm)		
		(Días)	(Inicio)	(Final)	(Inicio)	(Final)	Unidad			Procedo	Clase de capacidad	
M40	CONCRETO f'c=280kg/cm2 -2% PET	28	14/11/2022	17/11/2022	9:00 a. m.	9:00 a. m.	72	A	49.35	49.58	1.3 MPa, 8 para clases de capacidad acuerdo	
									49.64			
M40	CONCRETO f'c=280kg/cm2 -2% PET	28	14/11/2022	17/11/2022	9:00 a. m.	9:00 a. m.	72	A	47.58	47.65	1.3 MPa, 8 para clases de capacidad acuerdo	
									47.71			

NOTA:
- PRESIÓN APLICADA: 500 kPa aplicada desde la base de la probeta.
OBSERVACIONES:
- Muestra, identificación y ensayo realizado por el solicitante.



WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR
TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS



MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES
INGENIERO CIVIL
CIP: 244964





Prolongación Bolognesi Km. 3.5
Chiclayo - Lambayeque
R.U.C. 2048781334
Email: servicios@lemswacir.com

Solicitud de ensayo : 8911A22/ LEMS W&C
Solicitante : Anderson Francisco Fernandez Rubio
Proyecto / Obra : TESIS: Evaluación a la resistencia flexión y durabilidad de un pavimento rígido utilizando fibras PET Lambayeque 2022

Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dept. Lambayeque
Fecha de Apertura : Miércoles, 09 de noviembre del 2022
Inicio de Ensayo : Viernes, 18 de noviembre del 2022
Fin de ensayo : Lunes, 21 de noviembre del 2022

Ensayo : ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO - Parte B: Profundidad de penetración de agua bajo presión.
Norma : UNE-EN12390-8
Mezcla de concreto : f'c= 280 kg/m2
R a/c diseño : 0.50
Edad : 28 días

Muestra N°	Descripción de la Muestra (kg/m2)	Edad (Días)	Fecha		Hora		Tiempo (72 ± 2 Horas)	Cara	Penetración Máxima (mm)		
			Inicio	Final	Inicio	Final			Unidad	Promedio	Clase de exposición
M-01	CONCRETO f'c=280kg/m2 -1% PET	28	18/11/2022	21/11/2022	9:00 a. m.	9:00 a. m.	72	A	51.35	51.18	NO CUMPLE para clasificar en zona A o B
								B	50.94		
M-02	CONCRETO f'c=280kg/m2 -1% PET	28	18/11/2022	21/11/2022	9:00 a. m.	9:00 a. m.	72	A	49.81	49.89	CUMPLE para clasificar en zona A o B
								B	49.96		

NOTA:
- PRESIÓN APLICADA: 100 kPa aplicada desde la base de la probeta.
OBSERVACIONES:
- Muestras, identificación y ensayo realizados por el solicitante.

LEMS W&C EIRL.
WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR
TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

LEMS W&C EIRL.
MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES
INGENIERO CIVIL
CIP: 246984

Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT





Protección Biológica Km. 3.5
Chilayo - Lambayeque
R.U.C. 20486781334
Email: servicios@lemswac.com

Solicitud de ensayo : 0911A22/ LEMS W&C
Solicitante : Anderson Francisco Fernández Rubio
Proyecto / Obra : TES.S. Evaluación a la resistencia flexión y durabilidad de un pavimento rígido utilizando fibras PET Lambayeque 2022

Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chilayo, Depart. Lambayeque.
Fecha de Apertura : Miércoles, 09 de noviembre del 2022
Inicio de Ensayo : Lunes, 21 de noviembre del 2022
Fin de ensayo : Jueves, 24 de noviembre del 2022

Ensayo : ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO - Parte 6: Profundidad de penetración de agua bajo presión.
Norma : UNE-EN12390-6
Mezcla de concreto : f'c = 280 kg/m²
R' ac diseño : 0.50
Edad : 28 días

Muestra Nº	Descripción de la Muestra (kg/cm ²)	Edad (Días)	Fecha		Hora		Tiempo (T1 + 2 Horas)	Cara	Penetración Máxima (mm)		
			Inicio	Final	Inicio	Final			Unidad	Promedio	Clase de espesor
M40	CONCRETO f _c =280kg/cm ² -4% PET	28	21/11/2022	24/11/2022	9:00 a. m.	9:00 a. m.	72	A	54.25	54.55	NO CUMPLE para espesores en masa o aceros
								B	54.79		
M40	CONCRETO f _c =280kg/cm ² -4% PET	28	21/11/2022	24/11/2022	9:00 a. m.	9:00 a. m.	72	A	55.21	55.32	NO CUMPLE para espesores en masa o aceros
								B	55.42		

NOTA:
- PRESIÓN APLICADA: 500 kPa aplicada desde la base de la probeta.
OBSERVACIONES:
- Muestras sometidas a ensayo realizado por el solicitante.

LEMS W&C EIRL.

WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR
TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

LEMS W&C EIRL.

MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES
INGENIERO CIVIL
CIP: 246984

Henry Rapadeneiro Obilias
Tec. Laboratorio USAT

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL TROPICADOR
USAT

RECIBIDO EN LABORATORIO

Resistividad Eléctrica



Certificado INDECOPRI N°00137704 RNP Servicio 80608569

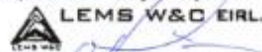
Prolongación Bolognesi Km. 3.5
Pimentel – Lambayeque
R.U.C. 20480781334
Email: lemswceir@gmail.com

Solicitud de ensayo : **0911A22/ LEMS W&C**
Solicitante : Anderson Frankzoe Fernández Rubio
Proyecto / Obra : TESIS: Evaluación a la resistencia flexión y durabilidad de un pavimento rígido utilizando fibras PET Lambayeque 2022
Ubicación : Dist. Pimentel, Prov' Chiclayo, Depart Lambayeque
Fecha de Apertura : Miércoles, 09 de noviembre del 2022
Inicio de Ensayo : Miércoles, 09 de noviembre del 2022
Fin de ensayo : Miércoles, 09 de noviembre del 2022
Ensayo : Durabilidad del hormigón – Determinación de la resistividad del hormigón.
Parte 1 (Método directo) y Parte 2 (Método de Wenner)
Método : Método de las cuatro puntas o Wenner.
Referencia : UNE 83988-2:2014

Muestra N°	IDENTIFICACIÓN	Diseño F'c (kg/cm ²)	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Edad (días)	Temperatura °c	Resistividad Eléctrica (kΩ.cm)
1	AF Patrón	280	12/10/2022	09/11/2022	28	19.5	6.4
2	AF Patrón	280	12/10/2022	09/11/2022	28	19.5	6.5
3	AF 2%	280	12/10/2022	09/11/2022	28	19.5	6.8
4	AF 2%	280	12/10/2022	09/11/2022	28	19.5	5.0
5	AF 3%	280	12/10/2022	09/11/2022	28	19.5	7.3
6	AF 3%	280	12/10/2022	09/11/2022	28	19.5	6.7
7	AF 4%	280	12/10/2022	09/11/2022	28	19.5	6.9
8	AF 4%	280	12/10/2022	09/11/2022	28	19.5	6.4

OBSERVACIONES:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.



WILSON ARTURO DLAYA AGUILAR
TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS



Henry Rivas de la Cruz Oblitas
Tec. LABORATORIO USAT



MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES
INGENIERO CIVIL
CIP: 246394



Penetración De Ion Cloruro



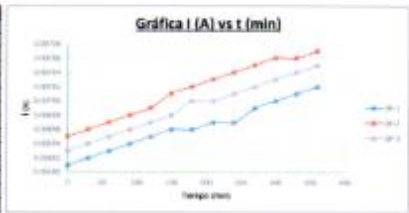
CENTRO INGENIERIL DE INVESTIGACIONES Y DESARROLLO 2002008

Polimayón Espectro Km. 3,3
Chileno - Lambayeque
R.D.C. 3448781314
Email: lemsw@upei.edu.pe

Solicitud de ensayo	0911A221 LEMS W&C
Solicitante	Andrés Francisco Fernández Rubio
Proyecto / Obra	TESE: Evaluación a la resistencia flexión y durabilidad de un pavimento rígido utilizando fibras PET Lambayeque 2022
Ubicación	Dist. Píscar, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque
Fecha de vaciado	Miércoles, 12 de octubre del 2022
Ensayo	MÉTODO DE PRUEBA PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA PENETRACIÓN DEL IÓN CLORURO
Referencia	ASTM C-1202-17
Matriz de concreto	Convencional, Fc = 288kg/cm²; Cemento PACASMAYO
Edad	30 días
Temperatura	23 ± 2°C
Muestras	Probetas estandarizadas (14")
Tipo de Sello:	Silicona líquida en las caras laterales
Tipo de curado	Curado normalizado en peces de agua del laboratorio

DATOS DE LAS PROETAS PARA EL ENSAYO DE PENETRACION DE ION CLORURO								
PROBETA_DP (mm)	ESPALEZADO				SIFONOS			
Muestra	B (mm)	D (mm)	D (mm)	D (mm)	z1 (mm)	z2 (mm)	z3 (mm)	z4 (mm)
DP-1	100.09	100.37	100.71	100.52	51.25	51.80	51.98	51.68
DP-2	100.21	100.36	100.47	100.42	51.90	51.96	51.64	51.84
DP-3	100.87	101.41	100.34	100.70	51.89	51.75	51.18	51.33

Ingeniería de Datos				
Data N°	t (Segundos)	Qn (A)	Qn (A)	Qn (A)
1	0	0.00001	0.00002	0.00003
2	30	0.00002	0.00006	0.00010
3	60	0.00005	0.00007	0.00005
4	90	0.00010	0.00008	0.00010
5	120	0.00016	0.00009	0.00017
6	150	0.00016	0.00010	0.00016
7	180	0.00016	0.00012	0.00019
8	210	0.00017	0.00013	0.00019
9	240	0.00017	0.00014	0.00019
10	270	0.00019	0.00015	0.00019
11	300	0.00019	0.00016	0.00019
12	330	0.00019	0.00016	0.00019
13	360	0.00019	0.00017	0.00019



DETERMINACIÓN DE CARGA QUE PASA:

Muestra	Q (pasados)
DP-1	150.417
DP-2	151.524
DP-3	151.802
Operando el promedio	150.981

$$Q = 800Q_0 + 2Q_{30} + 2Q_{60} + 2Q_{90} + 2Q_{120} + 2Q_{150} + 2Q_{180} + 2Q_{210} + 2Q_{240} + 2Q_{270} + 2Q_{300} + 2Q_{330} + 2Q_{360}$$

Donde: Q = Carga pasada (pasados)
 t = Cierres (segundos), inmediatamente después de aplicar la tensión
 t = Cierres (segundos), 5 minutos después de aplicar la tensión

ANÁLISIS DEL VALOR DE LA CARGA:

Muestra	Qn (pasados)
DP-1	134.342
DP-2	135.609
DP-3	134.151
Operando el promedio	134.701

$$Q_n = Q_0 \left(\frac{t_n}{t_{pasado}} \right)^2$$

Donde: Qn = Carga pasada (pasados) a partir de una muestra de t1 minutos de duración.
 Q = Carga pasada (pasados) a partir de una muestra de t minutos de duración.

COMPARACIÓN:

PENETRABILIDAD DEL IÓN CLORURO BASADA EN LA CARGA PASADA	
CARGA PASADA (CUMPLIMIENTOS)	PENETRABILIDAD DEL IÓN CLORURO
> 400	ALTA
300 - 400	MODERADA
200 - 300	BAJA
100 - 200	MUY BAJA
< 100	INDICIBLE

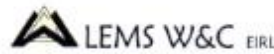
MUESTRAS	PENETRABILIDAD DEL IÓN CLORURO
DP-1	MUY BAJA
DP-2	MUY BAJA
DP-3	MUY BAJA
Operando el promedio	MUY BAJA

Henry Rivas Obilias
 USAT
 Universidad Católica de Lambayeque



LEMS W&C EIRL
 WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR
 TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

LEMS W&C EIRL
 MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES
 INGENIERO CIVIL
 CIP: 246984



Carhuac 6000, CP 11000704, Imp. Avenida 28800000

Politecnico Bolognesi Km. 3.5
Chiclayo - Lambayeque
R.L.C. 2046761344
Email: lemsw@lemsw.com

Solicitud de ensayo: 0911A22/ LEMS W&C
Solicitante: Anderson Francisco Fernández Rubio

Proyecto / Obra: TESIS: Evaluación a la resistencia flexión y durabilidad de un pavimento rígido utilizando fibras PET Lambayeque 2022

Ubicación: Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Dept. Lambayeque.

Fecha de pedido: Miércoles, 12 de octubre del 2022

Ensayo: METODO DE PRUEBA PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA PENETRACION DEL ION CLORURO

Referencia: ASTM C-1202-17

Muestra de concreto: Convencional, Fc = 288kg/cm² + 2% PET - Cemento PACAMAYO

Edad: 30 días

Temperatura: 25 ± 2°C

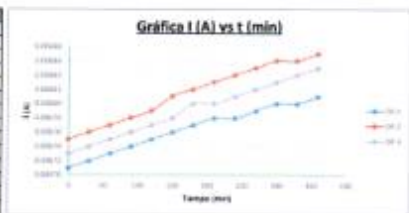
Muestras: Probetas estandarizadas 100"

Tipo de Sello: Sílice líquida en las caras laterales

Tipo de curado: Curado normalizado en paños de agua del laboratorio

DATOS DE LAS PROBETAS PARA EL ENSAYO DE PENETRACION DE ION CLORURO								
PROBETA_DP	DIAMETRO			ESPESOR				
	D (mm)	D (mm)	D (mm)	2x-10mm	2x-15mm	2x-20mm	2x-25mm	2x-30mm
DP-1	100.19	100.11	100.11	100.13	50.11	50.06	50.24	50.12
DP-2	100.11	100.48	100.47	100.35	50.21	50.36	50.34	50.17
DP-3	100.11	100.11	100.14	100.56	50.19	50.13	50.48	50.30

Registro de Datos				
Data N°	t (Días)	DP-1	DP-2	DP-3
		Q (Coulombs)	Q (Coulombs)	Q (Coulombs)
1	8	0.00671	0.00675	0.00673
2	16	0.00672	0.00676	0.00674
3	24	0.00673	0.00677	0.00675
4	32	0.00674	0.00678	0.00676
5	40	0.00676	0.00679	0.00677
6	48	0.00676	0.00681	0.00678
7	56	0.00677	0.00682	0.00679
8	64	0.00678	0.00683	0.00680
9	72	0.00678	0.00684	0.00681
10	80	0.00679	0.00685	0.00682
11	88	0.00680	0.00686	0.00683
12	96	0.00680	0.00686	0.00683
13	96	0.00681	0.00687	0.00684



DETERMINACIÓN DE CARGA QUE PASA:

Muestra	Q (coulombs)
DP-1	146.124
DP-2	147.204
DP-3	146.682
Operando (Coulombs)	146.67

$$Q = 3000i_0 + 2i_{10} + 2i_{20} + 2i_{30} + 2i_{40} + 2i_{50} + \dots + 2i_{100} + i_{100}$$

Donde: Q = Carga pasada (coulombs)
 i_0 = Corriente (amperios), inmediatamente después de aplicar la tensión.
 i_n = Corriente (amperios), n minutos después de aplicar la tensión.

AJUSTES DEL VALOR DE LA CARGA:

Muestra	Qn (coulombs)
DP-1	131.543
DP-2	131.918
DP-3	130.919
Operando (Coulombs)	131.460

$$Q_n = Q_0 \left(\frac{t_n}{t_{operando}} \right)^2$$

Donde: Qn = Carga pasada (coulombs) a nivel de una muestra de t_n minutos de duración.
 Q = Carga pasada (coulombs) a nivel de una muestra de t_{operando} minutos de duración.

COMPARACION:

PENETRABILIDAD DEL ION CLORURO BASADA EN LA CARGA PASADA	
CARGA PASADA (COULOMBS)	PENETRABILIDAD DEL ION CLORURO
>400	ALTA
300 - 400	MODERADA
100 - 300	BAJA
100 - 100	MUY BAJA
<100	NEGLIGENTE

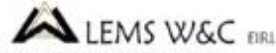
MUESTRAS	PENETRABILIDAD DEL ION CLORURO
DP-1	MUY BAJA
DP-2	MUY BAJA
DP-3	MUY BAJA
EVALUACION PROMEDIO	MUY BAJA



LEMS W&C EIRL
 WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR
 TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

Henry Rivasdeneyra Obllitas
 Tec. Laboratorio USAT

LEMS W&C EIRL
 MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES
 INGENIERO CIVIL
 CIP: 246884



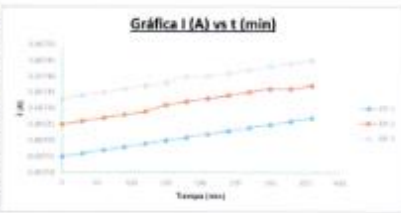
Calle Los RIOS 1017, 101701, Iquitos, Perú

Proteccion Biologica Km. 3.3
Chileno - Lambayeque
R.D.C. 2048761339
Email: lemsw@lemsw.com

Solicitud de ensayo	0911A22/LEMS W&C
Solicitante	Anderson Francisco Fernandez Rúa
Proyecto / Obra	TESIS: Evaluación a la resistencia flexión y durabilidad de un pavimento rígido utilizando fibras PET Lambayeque 2022
Ubicación	Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque.
Fecha de vencido	Miércoles, 12 de octubre del 2022
Ensayo	MÉTODO DE PRUEBA PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA PENETRACIÓN DEL IÓN CLORURO
Referencia	ASTM C-1202-17
Mezcla de concreto	Convencional, f'c = 280kg/cm ² + 3% PET - Cemento FACASMAYO
Edad	30 días
Temperatura	23 ± 2°C
Muestras	Pruebas estandarizadas D=4"
Tipo de Solador	Sistema ligada en las caras laterales
Tipo de curado	Curado normalizado en pozos de agua del laboratorio

DATOS DE LAS PRUEBAS PARA EL ENSAYO DE PENETRACION DE ION CLORURO									
PRUEBA / OP 101	DIAMETRO				ESPESES				
	Muestra	D 1 (mm)	D 2 (mm)	D 3 (mm)	Espesor (mm)	e 1 (mm)	e 2 (mm)	e 3 (mm)	Espesor (mm)
DP-1	08-21	188.77	188.77	188.21	100.13	51.28	50.66	50.66	50.41
DP-2	08-22	188.68	188.68	188.27	100.38	50.21	50.56	50.19	50.37
DP-3	08-23	181.41	181.41	180.59	100.53	50.89	50.43	50.79	50.43

Espeque de Base	DP-1	DP-2	DP-3
Base 5"	1 (mm)	2 (mm)	3 (mm)
1	0	0.00715	0.00725
2	30	0.00718	0.00726
3	60	0.00717	0.00727
4	90	0.00718	0.00728
5	120	0.00719	0.00729
6	150	0.00721	0.00731
7	180	0.00721	0.00731
8	210	0.00722	0.00732
9	240	0.00723	0.00733
10	270	0.00724	0.00734
11	300	0.00725	0.00735
12	330	0.00726	0.00736
13	360	0.00727	0.00737



DETERMINACIÓN DE CARGA QUE PASA:

Muestra	Q (toneladas)
DP-1	155.736
DP-2	158.864
DP-3	159.642
Espeque de Base 5"	157.764

$Q = 500P_1 + 2P_2 + 2P_3 + 2P_4 + 2P_5 + 2P_6 + 2P_7 + 2P_8 + 2P_9 + 2P_{10} + 2P_{11} + 2P_{12} + 2P_{13}$

Donde: Q = Carga pasada (toneladas)
 P₁ = Carga pasada (toneladas), inmediatamente después de aplicar la prueba.
 P₂ = Carga pasada (toneladas), 1 minuto después de aplicar la prueba.

MUESTRO DEL VALOR DE LA CARGA:

Muestra	Q ₁₀ (toneladas)
DP-1	139.629
DP-2	141.512
DP-3	142.571
Espeque de Base 5"	141.137

$Q_{10} = Q_0 \left(\frac{10}{P_{pasada}} \right)^2$

Donde: Q₁₀ = Carga pasada (toneladas) a través de una muestra de 10 mm de diámetro.
 Q = Carga pasada (toneladas) a través de una muestra de 40 mm de diámetro.

COMPARACIÓN:

PENETRABILIDAD DEL ION CLORURO BASADA EN LA CARGA PASADA	
CARGA PASADA (COILONES)	PENETRABILIDAD DEL ION CLORURO
< 800	ALTA
1000 - 4000	MODERADA
1000 - 3000	BAJA
100 - 1000	MUY BAJA
< 100	INDEFINIDA

MUESTRAS	PENETRABILIDAD DEL ION CLORURO
DP-1	MUY BAJA
DP-2	MUY BAJA
DP-3	MUY BAJA
EVALUACION PROMEDIO	MUY BAJA



LEMS W&C EIRL.
WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR
TÉC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

Henry Ruedenebra Oblitas
Téc. Laboratorio USAT

USAT Universidad Católica del Perú
LEMS W&C EIRL.
MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES
INGENIERO CIVIL
CIP: 245964



Lambayeque: 05105113002704 - 890 Servicio al Cliente

Protección: Riego No. 15
Callejón - Lambayeque
S.I.C. 204674104
Email: lemsw@lemsw.com

Solicitud de ensayo: 8911A22/ LEMS W&C
Solicitante: Anderson Francisco Fernandez Rubio

Proyecto / Obra: TESIS: Evaluación a la resistencia flexión y durabilidad de un pavimento rígido utilizando fibras PET Lambayeque 2022

Ubicación: Dist. Perené, Prov. Chiclayo, Dept. Lambayeque

Fecha de vencido: Miércoles, 12 de octubre del 2022

Ensayo: METODO DE PRUEBA PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA PENETRACIÓN DEL IÓN CLORURO

Referencia: ASTM C-1202-17

Mezcla de concreto: Convencional, Fc = 280kg/cm² + 4% PET - Cemento PACASMAYO

Edad: 28 días

Temperatura: 23 ± 2°C

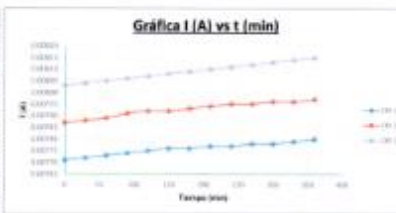
Muestras: Probetas estandarizadas D=4"

Tipo de Selector: Sílicona líquida en las caras laterales

Tipo de curado: Curado normalizado en pozos de agua del laboratorio

DATOS DE LAS PRUBETAS PARA EL ENSAYO DE PENETRACIÓN DE IÓN CLORURO								
PRUBETA_DP (mm)	DIÁMETRO				ESPESOR			
	Muestra	D (mm)	D (mm)	D (mm)	D (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)
DP-1	186.69	186.37	186.24	186.45	28.22	59.80	59.80	59.80
DP-2	186.13	186.46	186.55	186.37	28.93	59.16	59.16	59.47
DP-3	186.12	181.81	186.17	186.47	31.89	48.41	54.79	59.77

Dato N°	Regimen de Carga t (Eneles)	DP-1			DP-2			DP-3		
		W (kN)	W (kN)	W (kN)	W (kN)	W (kN)	W (kN)	W (kN)	W (kN)	W (kN)
1	8	0.00771	0.00787	0.00803	0.00771	0.00787	0.00803	0.00771	0.00787	0.00803
2	30	0.00773	0.00788	0.00804	0.00773	0.00788	0.00804	0.00773	0.00788	0.00804
3	60	0.00773	0.00789	0.00805	0.00773	0.00789	0.00805	0.00773	0.00789	0.00805
4	90	0.00774	0.00791	0.00806	0.00774	0.00791	0.00806	0.00774	0.00791	0.00806
5	120	0.00775	0.00792	0.00807	0.00775	0.00792	0.00807	0.00775	0.00792	0.00807
6	150	0.00776	0.00792	0.00808	0.00776	0.00792	0.00808	0.00776	0.00792	0.00808
7	180	0.00776	0.00793	0.00809	0.00776	0.00793	0.00809	0.00776	0.00793	0.00809
8	210	0.00777	0.00794	0.00810	0.00777	0.00794	0.00810	0.00777	0.00794	0.00810
9	240	0.00777	0.00795	0.00811	0.00777	0.00795	0.00811	0.00777	0.00795	0.00811
10	270	0.00778	0.00795	0.00812	0.00778	0.00795	0.00812	0.00778	0.00795	0.00812
11	300	0.00778	0.00795	0.00813	0.00778	0.00795	0.00813	0.00778	0.00795	0.00813
12	330	0.00779	0.00796	0.00814	0.00779	0.00796	0.00814	0.00779	0.00796	0.00814
13	360	0.00789	0.00797	0.00815	0.00789	0.00797	0.00815	0.00789	0.00797	0.00815



DETERMINACIÓN DE CARGA QUE PASA:

Muestra	Q (toneladas)
DP-1	167.589
DP-2	171.234
DP-3	174.744
Operando (Cálculo)	171.189

$$Q = 300Q_0 + 2Q_{10} + 2Q_{20} + 2Q_{30} + 2Q_{40} + \dots + 2Q_{100} + Q_{100}$$

Donde:

- Q = Carga pasada (toneladas)
- Q₀ = Carga (toneladas), inmediatamente después de aplicar la resina
- Q_n = Carga (toneladas), n minutos después de aplicar la resina

AJUSTES DEL VALOR DE LA CARGA:

Muestra	Q ₀ (toneladas)
DP-1	149.788
DP-2	153.412
DP-3	156.245
Operando (Cálculo)	153.148

$$Q_0 = Q \times \left(\frac{t_0}{t_{pasada}} \right)^2$$

Donde:

- Q₀ = Carga pasada (toneladas) a través de una muestra de 45 mm de diámetro
- Q = Carga pasada (toneladas) a través de una muestra de 100 mm de diámetro

COMPARACIÓN:

PENETRABILIDAD DEL IÓN CLORURO BASADA EN LA CARGA PASADA	
CARGA PASADA (CUEL DASH)	PENETRABILIDAD DEL IÓN CLORURO
>400	ALTO
200 - 400	MODERADA
100 - 200	BAJA
50 - 100	MUY BAJA
<50	INSUFICIENTE

MUESTRAS	PENETRABILIDAD DEL IÓN CLORURO
DP-1	MUY BAJA
DP-2	MUY BAJA
DP-3	MUY BAJA
EVALUACION PROMEDIO	MUY BAJA



LEMS W&C EIRL.
WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR
TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

Henry Rivadeneira Obilgas
Tec. Laboratorio USAT

LEMS W&C EIRL.
MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES
INGENIERO CIVIL
CIP: 246894

Panel Fotográfico

Caracterización De La Fibra PET



Preparación De Probetas





Asentamiento Del Concreto



Abrasión Del Concreto



Fisuración Por Contracción Plástica



Exudación Del Concreto



Penetración De Agua



Absorción de Agua



Resistividad Eléctrica



Penetración De Ion Cloruro

