

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**Evaluación de la porosidad en la carpeta asfáltica y su influencia sobre la
patología piel de cocodrilo en pavimentos urbanos**

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

AUTOR

Max Brayan Aniceto Gallego

ASESOR

Wilson Martin Garcia Vera

<https://orcid.org/0000-0001-6108-0946>

Chiclayo, 2026

**Evaluación de la porosidad en la carpeta asfáltica y su influencia
sobre la patología piel de cocodrilo en pavimentos urbanos**

PRESENTADA POR
Max Brayan Aniceto Gallego

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

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR

Aníbal Teodoro Díaz Orrego
PRESIDENTE

Manuel Alejandro Borja Suárez
SECRETARIO

Wilson Martin Garcia Vera
VOCAL

Dedicatoria

A dios, por brindarme fortaleza y salud para permitirme culminar mi meta profesional.

A mis padres, Maximiliano Aniceto Correa y Santos Gallego Abad, por su apoyo incondicional y motivación que me brindaron a lo largo del desarrollo de mi carrera, siendo guía clave para cumplir mis objetivos trazados con perseverancia y dedicación.

A mis hermanos, por su constante motivación y apoyo en el transcurso de cada etapa de estudio.

Y a mis docentes, por su orientación y conocimientos compartidos, que fueron fundamentales para impulsar mi desempeño en cada etapa de mi formación académica y profesional.

Agradecimientos

Primero, a mis padres, Maximiliano Aniceto Correa y Santos Gallego Abad, por ser mi apoyo constante, por inculcarme el valor de la responsabilidad y por brindarme grandes oportunidades de estudio a lo largo de mi vida. Nada sería posible sin su esfuerzo y sacrificio constante.

A la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, por brindarme los recursos para la culminación de esta etapa académica con éxito. Asimismo, agradecer al personal de laboratorio por esa disposición brindada para el desarrollo de mi proyecto.

A mi asesor, por proporcionar los conocimientos necesarios para llevar a cabo la correcta ejecución de mi proyecto.

Evaluación de la porosidad en la carpeta asfáltica y su influencia sobre la patología piel de cocodrilo en pavimentos urbanos

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

3%

2

tesis.usat.edu.pe

Fuente de Internet

3%

3

www.repositorio.usac.edu.gt

Fuente de Internet

1%

4

dspace.unila.edu.br

Fuente de Internet

<1%

5

nanopdf.com

Fuente de Internet

<1%

6

www.cedex.es

Fuente de Internet

<1%

7

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

8

repositorio.uss.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

Índice

Resumen	15
Abstract	16
Introducción	17
Revisión de literatura	20
Materiales y métodos	34
Resultados y discusión	56
Conclusiones	83
Recomendaciones.....	85
Referencias	86
Anexos.....	90

Lista de ilustraciones

Ilustración 1 Capas que conforman un pavimento flexible [5].	25
Ilustración 2 Porosidad en el pavimento [34].	30
Ilustración 3 Máquina Extractora de Núcleos [36].	31
Ilustración 4 Sección de la estructura del pavimento [37].	31
Ilustración 5 Tecnología GPR [39].	31
Ilustración 6 Termografía infrarroja [40].	32
Ilustración 7 Permeabilidad in situ en pavimentos flexibles [41], [42].	32
Ilustración 8 Zonas en la ciudad de Chiclayo.	38
Ilustración 9 Visita a la calle 7 de Enero Sur.	43
Ilustración 10 Visita a la calle Colón.	43
Ilustración 11 Visita a campo de la avenida Arteaga.	44
Ilustración 12 Medición de ancho de grietas.	44
Ilustración 13 Colocación del aro en área de estudio.	45
Ilustración 14 Bordeado de aro con plastilina.	45
Ilustración 15 Llenado de agua en el aro.	46
Ilustración 16 Toma de medidas de la altura.	46
Ilustración 17 Extracción de muestras en la calle Santa Rosa.	47
Ilustración 18 Extracción de muestras en la calle Abtao.	48
Ilustración 19 Extracción de muestra en zona agrietada de la calle Almirante Guisse.	48
Ilustración 20 Extracción de muestras en la calle Callao.	49

Ilustración 21 Extracción de muestra en zona agrietada de la calle Los Sauces.....	49
Ilustración 22 Extracción de muestras en la calle La Florida.	49
Ilustración 23 Extracción de muestras en la calle Margaritas.....	50
Ilustración 24 Extracción de muestras en la avenida Manuel Arteaga.	50
Ilustración 25 Extracción de muestra en zona no agrietada de la calle 7 de Enero Sur.....	50
Ilustración 26 Obtención final de muestra de la calle Cristóbal Colón.....	51
Ilustración 27 Muestras en laboratorio.....	51
Ilustración 28 Pesado de muestras asfálticas.....	52
Ilustración 29 Pesos de muestras en el agua.	53
Ilustración 30 Pesos de las muestras saturadas.	54
Ilustración 31 Procedimiento de ensayo de permeabilidad - 167 días.....	55
Ilustración 32 Análisis del nivel de severidad de las grietas.....	71

Lista de tablas

TABLA I	
CAPAS DE UN PAVIMENTO	24
TABLA II	
ÁREA AFECTADA Y TIPO DE INTERVENCIÓN.....	28
TABLA III	
VARIABLE INDEPENDIENTE	36
TABLA IV	
VARIABLE DEPENDIENTE.....	36
TABLA V	
VARIABLE INTERVINIENTE	37
TABLA VI	
REPORTE DE CALLES CON PIEL DE COCODRILO	37
TABLA VII	
NÚMERO DE CALLES PARA LA MUESTRA	39
TABLA VIII	
NÚMERO DE MUESTRA TOTALES ESTADÍSTICAMENTE	40
TABLA IX	
NIVEL DE CONFIANZA	40
TABLA X	
DESCRIPCIÓN DEL GRADO DE SEVERIDAD EN LA PIEL DE COCODRILO	41
TABLA XI	
TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	42
TABLA XII	
IDENTIFICACIÓN DE GRADO DE SEVERIDAD EN LAS CALLES Y AVENIDAS	56

TABLA XIII	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE ALMIRANTE	
GUISSE - A5.....	60
TABLA XIV	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE ALMIRANTE	
GUISSE – NA6	61
TABLA XV	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE CALLAO – A7	
.....	61
TABLA XVI	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE CALLAO –	
NA8.....	62
TABLA XVII	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE LOS SAUCES	
- A9.....	62
TABLA XVIII	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE LOS SAUCES	
- NA10.....	63
TABLA XIX	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE FLORIDA -	
A11	63
TABLA XX	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE FLORIDA -	
NA12.....	64
TABLA XXI	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE	
MARGARITAS - A13.....	64

TABLA XXII	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE	
MARGARITAS - NA14	65
TABLA XXIII	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE 7 DE ENERO	
SUR - A17	65
TABLA XXIV	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE 7 DE ENERO	
SUR - NA18	66
TABLA XXV	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE CRISTÓBAL	
COLÓN - A19	66
TABLA XXVI	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE CRISTÓBAL	
COLÓN - NA20	67
TABLA XXVII	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PORCENTAJE DE VACIOS DE LAS 20	
MUESTRAS	68
TABLA XXVIII	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PORCENTAJE DE VACIOS DE LAS 20	
MUESTRAS (CONTINUACIÓN 6-10)	69
TABLA XXIX	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PORCENTAJE DE VACIOS DE LAS 20	
MUESTRAS (CONTINUACIÓN 11-15)	69
TABLA XXX	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PORCENTAJE DE VACIOS DE LAS 20	
MUESTRAS (CONTINUACIÓN 16-20)	70

TABLA XXXI	
IDENTIFICACIÓN DE GRADO DE SEVERIDAD (167 DÍAS).....	71
TABLA XXXII	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE ALMIRANTE- A5 (167 DÍAS).....	72
TABLA XXXIII	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE CALLAO – A7 (167 DÍAS).....	72
TABLA XXXIV	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE LOS SAUCES - A9 (167 DÍAS)	73
TABLA XXXV	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE MARGARITAS - A13 (167 DÍAS).....	73
TABLA XXXVI	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE 7 DE ENERO – A17 (167 DÍAS).....	74
TABLA XXXVII	
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE CRISTÓBAL- A19 (167 DÍAS).....	74
TABLA XXXVIII	
CUADRO RESUMEN SOBRE LA INFLUENCIA DE LA POROSIDAD Y PATOLOGÍA PIEL DE COCODRILO	79
TABLA XXXIX	
CUADRO DE DIFERENCIAS DEL PORCENTAJE DE VACÍOS Y PERMEABILIDAD	81
TABLA XL	
CORRELACIÓN CON EL PROGRAMA IBM SPSS	82

TABLA XLI

PESOS ESPECÍFICOS SECOS DE LAS MUESTRAS..... 90

TABLA XLII

PESOS DE LAS MUESTRAS EN EL AGUA..... 91

TABLA XLIII

PESOS DE LAS MUESTRAS SATURADAS 92

Lista de gráficas

Gráfica 1 Comparativa de los resultados del ensayo de Permeabilidad en zonas agrietadas...	76
Gráfica 2 Comparativa de los resultados del ensayo de Permeabilidad en zonas no agrietadas.	76
Gráfica 3 Comparativa de los resultados del ensayo de Permeabilidad en zonas agrietadas pasado a los 167 días.	78
Gráfica 4 Porcentaje de vacíos en calles para áreas agrietadas y no agrietadas.....	80
Gráfica 5 Permeabilidad presente en las calles en ubicaciones con sección de agrietamiento y no agrietamiento.	80
Gráfica 6 Datos de diferencias % de vacíos y permeabilidad en calles evaluadas.	81
Gráfica 7 Grado de correlación del coeficiente r de Pearson[46].	82

Lista de ecuaciones

Ecuación 1 Cálculo de muestra.	39
Ecuación 2 Cálculo del coeficiente de permeabilidad.	47
Ecuación 3 Cálculo de porcentaje de vacíos.	54

Resumen

La presente tesis tiene como objetivo principal evaluar la influencia del nivel de porosidad en la carpeta asfáltica a la patología piel de cocodrilo, con el fin de evitar su aparición en los pavimentos urbanos. Se empleó un enfoque no experimental, mixto y correlacional, realizando en la primera etapa el ensayo de permeabilidad y ensayo de diamantina, de la cual se obtuvieron 20 muestras de zonas agrietadas y no agrietadas, extraídas de las calles principales de la ciudad de Chiclayo. Los resultados del ensayo de severidad revelaron un patrón uniforme de agrietamiento de severidad media, con anchos de grieta entre 3.0 mm y 4.5 mm, siendo las calles las áreas más afectadas respecto a las avenidas.

En la segunda fase, se derivaron las muestras al laboratorio con sumo cuidado para llevar a cabo el estudio de porcentaje de vacíos, siguiendo normas ASTM D3203. Donde se pudo evidenciar que existen mayores contenidos de aire en las áreas agrietadas, superando el 15% en varios casos, confirmando así una relación directa entre la porosidad y la severidad de la patología. Estos resultados también demostraron que los niveles elevados de porosidad favorecen la filtración de agua, incrementando la susceptibilidad de la carpeta asfáltica al daño por fatiga, favoreciendo la formación de grietas tipo piel de cocodrilo. Es por ello la importancia de evaluar la reducción del porcentaje de vacíos y una adecuada impermeabilidad ya que son estrategias críticas para mejorar la durabilidad de los pavimentos urbanos, y optimizar el desempeño estructural a largo plazo.

Palabras clave: Porosidad, Piel de cocodrilo, Carpeta asfáltica, Permeabilidad y Pavimentos urbanos.

Abstract

The main objective of this thesis is to evaluate the influence of asphalt porosity levels on crocodile skin disease, in order to prevent its occurrence in urban pavements. A mixed and correlational experimental approach was used, performing the first stage: permeability and diamond tests, from which 20 samples of cracked and uncracked areas were obtained, extracted from the main streets of the city of Chiclayo. The results of the severity test revealed a uniform pattern of medium-severity cracking, with crack widths between 3.0 mm and 4.5 mm, with streets being the most affected areas compared to avenues.

In the second phase, the samples were carefully transported to the laboratory for void percentage testing, following ASTM D3203 standards. This study revealed higher air contents in the cracked areas, exceeding 15% in several cases, confirming a direct relationship between porosity and the severity of the condition. These results also demonstrated that high levels of porosity promote water infiltration, increasing the asphalt pavement's susceptibility to fatigue damage and promoting the formation of crocodile-skin cracks. Therefore, evaluating void percentage reduction and adequate impermeability are critical strategies for improving the durability of urban pavements and optimizing long-term structural performance.

Keywords: Porosity, Crocodile skin, Asphalt carpet, Permeability and Urban pavements.

Introducción

En el panorama mundial de la ingeniería civil, el proceso de diseño de una carpeta asfáltica ha sido fundamental para prevenir posibles fallos estructurales. Se estima que más del 40% de las redes viales urbanas en países como Estados Unidos y China presentan algún grado de agrietamiento superficial, siendo la patología denominada "piel de cocodrilo" una de las más prevalentes [1]. Para ello, la determinación de la porosidad de la carpeta asfáltica y su gestión adecuada se convierten en estrategias fundamentales para garantizar la durabilidad y resistencia del pavimento.

En la actualidad, aproximadamente el 35% de los pavimentos asfálticos en zonas urbanas se encuentran expuestos a diversas cargas de tráfico y condiciones ambientales adversas, lo que ha logrado ocasionar su deterioro prematuro. Una de las patologías más comunes y perjudiciales que afecta a estos pavimentos es la denominada piel de cocodrilo, caracterizada por un patrón de grietas interconectadas que se asemejan a la piel del reptil. De acuerdo con Cantero, esta patología compromete significativamente la integridad estructural del pavimento y la comodidad de los usuarios, representando un problema generalizado en la infraestructura vial urbana de distintos países [2].

Uno de los orígenes principales de la aparición de la piel de cocodrilo en vías urbanas tiene que ver con el factor de porosidad. Según García nos indica que esto ocurre cuando los poros son bloqueados por el polvo y materiales finos afectando directamente la permeabilidad y la tasa de infiltración del pavimento [3]. Cabe mencionar que la porosidad del pavimento influye de manera directa en la durabilidad de la mezcla. Por lo que, la presencia de un alto contenido de huecos generalmente resulta ser una menor esperanza de vida útil para este tipo de pavimento [3].

Entorno al escenario nacional, se han observado en los últimos años diferentes fenómenos climáticos puntualmente el fenómeno del niño en la zona norte, lo cual ha causado grandes daños a las vías urbanas, esto a su vez generando el rápido deterioro que se observa últimamente en las carpetas asfálticas reduciendo su resistencia en cuanto a sus propiedades físico-mecánicas [4]. La problemática se agrava aún más debido a la limitada actualización de la normativa vigente, si bien el "Manual de Carreteras - Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos" del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) establece lineamientos generales para el diseño y construcción de pavimentos, esta no detalla criterios específicos para el control de porosidad ni directrices actualizadas sobre la evaluación de deterioros por la piel de cocodrilo

[5]. Esta carencia genera brechas técnicas, limitando la disponibilidad de parámetros estadísticos nacionales y delimitando estrategias de prevención efectivas.

Sin embargo, el análisis de niveles de porosidad da campo abierto a una correcta efectividad entre todos los tipos de mejoramientos existentes, ya que no solo mejoran las propiedades de la carpeta asfáltica, sino que también mejora el contenido de huecos de aire en la mezcla del pavimento disminuyendo la aparición de agrietamiento ante diversos agentes desfavorables [6].

Estos puntos permitirán que la investigación adquiriera un enfoque integral en el ámbito social, económico y ambiental, orientado a optimizar el diseño y construcción de pavimentos urbanos. En el aspecto social, tiene el propósito de mejorar la seguridad vial y la calidad de vida de los ciudadanos. Sin embargo, no solo la parte estructural será un factor positivo dentro del desarrollo de esta investigación, desde lo económico se viene fomentando la informalidad constructiva de pavimentos con acabados en mal estado, aplicaciones de diseños no adecuados o materiales de baja calidad, buscando restablecer la relación costo-beneficio mediante el ahorro de mano de obra, materiales, equipos profesionales, entre otros.

Desde lo ambiental, con el fin de disminuir los impactos negativos en nuestra naturaleza y acabar con la porosidad en la carpeta asfáltica, se han venido implementando el uso de técnicas de compactación más eficientes con una selección de materiales asfálticos menos permeables e implementaciones de prácticas de mantenimiento preventivo poco contaminantes y tóxicos en cuanto a su ejecución.

Por lo tanto, este estudio toma como ejemplo a la ciudad de Chiclayo, que presenta una gran variedad de vías urbanas con agrietamientos, también llamado piel de cocodrilo, estos caracterizados por una alta presencia de huecos de aire, aumentando el daño de su estructura en algunas zonas específicas de la ciudad. Estas zonas se encuentran situadas en puntos estratégicos y céntricos de la ciudad destinadas a la movilización de la población y acceso de transporte de vehículos con mercadería de alimentos básicos. Por ejemplo, algunas de estas vías son Arizola, intercepciones La Plata y La Florida, intercepciones Cristóbal Colón y Francisco Bolognesi, etc. Por lo contrario, según la base de datos de la Gerencia De Desarrollo Vial y Transportes, podemos determinar que la zona de estudio seleccionada se encontrará en las calles y avenidas de Chiclayo que presentan la patología piel de cocodrilo, resultando este estudio aplicable dentro del análisis de porosidad.

Frente a esta realidad problemática y posteriormente haber realizado una revisión sistemática de las posibles consecuencias que determinan el nivel de poros, me planteo la siguiente

pregunta: ¿Cómo influye el nivel de porosidad a través de su porcentaje de vacíos y permeabilidad en la carpeta asfáltica a la patología piel de cocodrilo?

A través de esta investigación se planea demostrar que al reducir el nivel de porosidad se evitará la aparición de la patología piel de cocodrilo. Por tanto, el objetivo general de esta investigación se centró en evaluar la influencia del nivel de porosidad en la carpeta asfáltica a la patología piel de cocodrilo. Para lograrlo, se han establecido objetivos específicos que incluyen: Identificar la severidad y extensión de la patología de agrietamiento en pavimentos urbanos, determinar la permeabilidad de la carpeta asfáltica frente a la aparición de la piel de cocodrilo, determinar el porcentaje de vacíos de la carpeta asfáltica frente a la aparición de la piel de cocodrilo, determinar el nivel de porosidad de la carpeta en una asfáltica no dañada, aledaña a una sección agrietada, y finalmente, analizar y comparar los porcentajes de contenido de vacíos y permeabilidad en la carpeta asfáltica en pavimentos urbanos agrietados y no agrietados.

Estos pasos facilitaran una comprensión completa y detallada de la correcta evaluación de porosidad con relación a la patología piel de cocodrilo. A través de este estudio, se podrá comprender la influencia del nivel de porosidad en la aparición y evolución de la patología piel de cocodrilo en pavimentos urbanos, aportando fundamentos técnicos que permitan mejorar la durabilidad de las estructuras viales.

Revisión de literatura

Antecedentes

Liu et al. [7] “Materiales de capa de unión de aislamiento térmico del pavimento asfáltico: optimización de la composición y aplicación de ingeniería”

La problemática expuesta refleja que actualmente las altas temperaturas extremas, provocadas por el cambio climático, generan fisuras y deformaciones prematuras. Frente a esta problemática, el objetivo principal de esta investigación fue optimizar la composición de materiales de la capa de adherencia del pavimento, incluyéndole propiedades de aislamiento térmico. Para lograrlo, se implementaron procedimientos con muestras de materiales de baja conductividad térmica como perlas de vidrio huevas, perlas flotantes y perlas expandidas, en los que se evaluaron las propiedades de curado y resistencia mecánica, mediante ensayos de tracción directa corte e inspección microscópica. Los resultados indican que se logró reducir la temperatura máxima de la estructura del pavimento en 2,2 °C a 3,6 °C, así mismo también presentaron un porcentaje disminuido de 9.87% en las diferencias térmicas anuales y diarias, lo cual indica que lograron mejorar la estabilidad térmica del pavimento con el propósito de prolongar su vida útil y presentar una reducción de costos de mantenimiento.

Xin Sui et al. [8] “Evaluación de la obstrucción del pavimento de asfalto poroso utilizando un radar de penetración en el suelo”

En su investigación afirma que la efectividad del correcto análisis de los diámetros de poros en los pavimentos otorga una buena permeabilidad, fuerte resistencia al deslizamiento y bajo ruido de los neumáticos durante el uso de la vía. Sin embargo, estos puntos a favor se pueden ver dañados por la carga vehicular, la infiltración de humedad y las partículas que pueden llenar los canales porosos interconectados, lo que provocaría la obstrucción. Asimismo, nos indican que para este estudio se tomó como muestras diez tipos de losas de pavimento asfáltico con grados de obstrucción de (15%-25%) empleando el uso de un radar de penetración terrestre (GPR) el cual examinará las efectividades de dos indicadores de obstrucción, tales como, la constante dieléctrica masiva utilizando el método de tiempo de vuelo y el espectrograma STFT utilizando análisis de tiempo-frecuencia. Los resultados de este proyecto dan eficacia al método propuesto, por lo que se deduce la importancia de evaluar correctamente la función de la porosidad antes y después de su aplicación logrando un producto eficiente para las construcciones civiles.

Slebi-Acevedo et al. [9] “Desarrollo de mezclas de asfalto poroso mejoradas con altos niveles de porosidad”

El estudio indica que la gran mayoría de vías existentes son construidas con pavimento flexible de mezclas bituminosas, las cuales en los últimos años vienen enfrentados desafíos de durabilidad debido al tráfico y las condiciones climáticas, por lo que se destaca la necesidad de mejorar la eficiencia y longevidad de estas estructuras. Con base en lo dicho anteriormente se expone el uso de mezcla asfáltica porosa como capa de rodadura, siendo esto aplicado en varias muestras de mezclas experimentales con distintas curvas de gradación y con diferentes fibras, polímeros, aglutinantes modificados y rellenos alternativos. Las diferentes pruebas complementarias a este estudio fueron el análisis de componentes principales (PCA) y el agrupamiento jerárquico aglomerativo (AHC) como técnicas empíricas. Cuyos resultados tuvieron un desempeño mecánico adecuado, pero que debe seguir en investigación incorporando otros aditivos y pruebas experimentales.

Yu et al. [10] “Investigación de la resistencia al agrietamiento de la mezcla de asfalto frío diseñada para una capa de asfalto ultrafina”

En el propósito de esta investigación es estudiar el desempeño de la mezcla asfáltica ultrafina en frío (GT-10 C) para el mantenimiento de pavimentos asfálticos en vías urbanas, recalando su estrategia utilizada ante la problemática de mejorar la resistencia ante el agrietamiento y el elevado consumo energético, que limita su aplicación efectiva. Logrando evaluar dos muestras, que llevan como nombre capa asfáltica ultrafina de mezcla en caliente convencional (Hot-UA) y una capa de asfalto ultrafina convencional mezclada en frío (UA Fría) con contenido de fibra de basalto y asfalto emulsionado modificado de alta viscosidad respectivamente. Para poder lograrlo se realizaron por medios de prueba de flexión a baja temperatura, prueba de tenacidad al impacto y prueba de flexión semicircular. Los resultados indican que la mezcla GT-10 C demostró superior resistencia a la fisuración, mayor vida útil frente a cargas repetidas y una reducción del 31,5 % en el consumo energético y del 36,9% en emisiones de gases de efecto invernadero respecto a mezclas tradicionales.

Xu et al. [11] “Análisis multiescala de las características de amortiguación de las mezclas de asfalto poroso de goma mezclado seco para la reducción del ruido del pavimento de neumáticos”

Esta investigación nos indica que la combinación de partículas de caucho de desecho (1%, 2% y 3%) y una muestra de estructura porosa (18%) por medio del análisis de múltiples escalas, representan una mejora significativa en la amortiguación del pavimento asfáltico lo cual es conseguido en la prueba de amortiguación de vibraciones libres obteniendo valores dentro del parámetro de 3,6 y 8,6 decibelios (dB). Cabe destacar además que, para asegurar la resistencia de la mezcla, esta debe cumplir con los requisitos de las especificaciones, asegurándose de que el contenido de partículas de caucho esté dentro del 3%, dando, así como respuesta la importancia de saber que a medida que aumenta el contenido de partículas, la rigidez de la mezcla asfáltica porosa cauchada disminuye, el factor de pérdida aumenta y las propiedades de amortiguación mejoran.

F. Giuliani et al. [12] “Avance en la medición de la conductividad hidráulica de pavimentos de asfalto poroso”

El estudio consideró como objetivo principal la permeabilidad in situ de pavimentos asfálticos porosos, debido a su eficiente desarrollo en función a un drenaje de agua y una correcta adherencia en condiciones húmedas. Para darle veracidad a todo lo expuesto se ocuparon los siguientes métodos: La norma europea EN 12697-40:2005(E), los parámetros de cabeza descendente del Centro Nacional de Tecnología de Asfalto (NCAT) y la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM). A modo de conclusión, podemos decir que la obtención de resultados en los distintos métodos aplicados presentan una variedad de porcentaje debido a una mala comprensión de las definiciones y al uso de terminología no estándar entre diferentes autores, pues aunque ambos métodos pueden usarse efectivamente con todo tipo de pavimento, es recomendable evaluar los valores y datos dados a trabajar ya que veces estos pueden ser superiores o diferentes entre sí, cambiando todo el proceso de un ensayo.

Liu et al. [13] “Clasificación de la severidad de grietas por fatiga en pavimentos asfálticos mediante termografía infrarroja y aprendizaje profundo”

La siguiente investigación plantea una problemática que refleja la carencia de métodos no destructivos para detectar de manera oportuna daños internos que comprometen la integridad estructural de pavimentos, por lo que se tuvo como objetivo aplicar y validar la termografía infrarroja como herramienta eficaz para identificar zonas deterioradas en capas de concreto asfáltico. Para ello, se realizaron procedimientos experimentales que incluyeron la generación de defectos artificiales (extracción de muestras de 5 cm de diámetro y 1,5 cm de profundidad) y la aplicación de cargas dinámicas de hasta 5 kN sobre probetas de ensayo, utilizando una cámara termográfica de alta resolución (FLIR T650sc). Los resultados mostraron que el 92 % de los defectos fueron detectados correctamente bajo condiciones de calentamiento activo, mientras que en mediciones pasivas la tasa de detección fue del 76 %. Finalmente, se concluye que la termografía infrarroja, combinada con estrategias de calentamiento externo, representa una técnica no invasiva altamente eficiente para la detección temprana de agrietamientos en pavimentos.

Hu et al. [14] “Simulación tridimensional de elementos discretos sobre la degradación de los huecos de aire en un pavimento asfáltico poroso de doble capa bajo carga de tráfico”

La problemática detectada en el estudio radica en la alta incidencia de la patología conocida como piel de cocodrilo en pavimentos urbanos, la cual, según los resultados de las inspecciones realizadas, afecta aproximadamente al 48 % de las vías analizadas. Ante ello, el objetivo principal fue evaluar la influencia de la porosidad superficial de la carpeta asfáltica en la generación de dicho deterioro. Para cumplir con este propósito, se llevaron a cabo procedimientos de inspección visual de campo, extracción de núcleos y análisis de laboratorio utilizando el método de peso sumergido y en seco, de acuerdo con estándares ASTM. Asimismo, se aplicó un análisis estadístico de regresión para correlacionar el contenido de vacíos con la severidad de las fisuras observadas. Como resultado, se encontró que las zonas con una porosidad superior al 8 % presentaron un incremento del 65 % en la severidad de fisuración en comparación con aquellas con porosidades menores al 5 %. Se concluye que un mayor contenido de vacíos facilita el ingreso de agua y aire, acelerando el envejecimiento del ligante y promoviendo la formación de grietas, por lo que se recomienda implementar un control riguroso de la compactación en obra para garantizar contenidos de vacíos dentro de rangos aceptables que aseguren una mayor durabilidad del pavimento.

Bases técnicas

Norma Técnica CE. 0.10 Pavimentos Urbanos

El propósito de esta normativa es fijar los requisitos mínimos para el cumplimiento adecuado de diseño, construcción, mantenimiento y reparación de pavimentos urbanos, basados en la mecánica de suelos (EMS) y conocimientos base de la ingeniería. Estos puntos tratados permiten garantizar la durabilidad y el uso racional de los pavimentos urbanos tales como los recursos empleados durante su ejecución. Siendo de suma importancia emplear correctamente cada parámetro incluido en la norma que nos permitirá la estabilidad de la estructura y su largo periodo de vida útil [15].

Bases teóricas

Pavimento

El pavimento es una estructura compuesta por múltiples capas, ubicada sobre la subrasante de la vía, el cual tiene como objetivo primordial soportar y distribuir las cargas por los vehículos, mejorando la seguridad y comodidad de la relación tránsito – peatón.

Generalmente, constituido por las siguientes capas:

TABLA I
CAPAS DE UN PAVIMENTO

Capa de Rodadura	Base	Subbase
Parte superior del pavimento lo cual puede ser flexible o rígida o adoquines, cumple la función de soportar el tráfico vehicular [16].	Capa situada inmediatamente debajo de la capa de rodadura, material granular drenante ($CBR \geq 80\%$) o tratada, su función es sostener, distribuir y transmitir las cargas generadas por el tránsito [16], [17].	Capa de material especificado situado debajo de la base, material granular ($CBR \geq 40\%$) o tratada, actúa como capa drenante y controla la capilaridad del agua [16], [17].

Pavimento Flexible

El pavimento flexible es un conjunto de capas compuesto por carpetas asfálticas, que se encuentran apoyadas en la capa de la base y subbase las cuales están compuestas por materiales tipo granulares, es decir, estos materiales serán un gran aporte para la creación de este tipo de afirmado, debido a que evitarán que se generen grandes fallas en la estructura. Además, este tipo de pavimento suele ser un beneficio positivo en cuanto al ruido y su fácil aplicación de mantenimiento [5], [17].

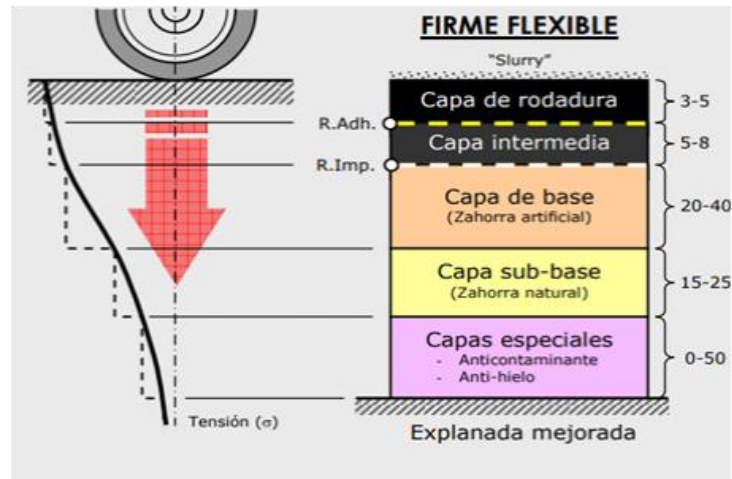


Ilustración 1 Capas que conforman un pavimento flexible [5].

Carpeta Asfáltica

La carpeta asfáltica es la cubierta de un pavimento flexible ubicada en la parte superior de su estructura, la cual está compuesta por materiales pétreos y productos asfálticos respectivamente. Pues estos materiales se ven dañados debido a que se encuentran directamente expuestos a las cargas vehiculares y efectos ambientales que deterioran sus propiedades originando un fallo por agrietamiento o fisura. Sin embargo cabe resaltar que, pese a las consecuencias procedentes en su etapa de funcionamiento, esta cobertura brinda una superficie confortable y segura para los ciudadanos que transitan en la vía [16], [18].

Características

La carpeta asfáltica, una de las capas más importantes del pavimento, se caracteriza por tener un adecuado uso de materiales granulométricos, pues es de mucha importancia la granulometría como tal ya que nos ayuda a cumplir correctamente con las especificaciones de diseño establecidos por la norma, también se destaca la impermeabilidad ya que impide o restringe el paso del agua hacia el interior de la estructura. Por último y no menos importante se contempla su gran resistencia a la tensión de la capacidad estructural [18].

Mezcla asfáltica

Según el MTC (2013), las mezclas asfálticas son materiales primordiales en la construcción de pavimentos, pues estas permiten conformar superficies capaces de soportar el paso constante de vehículos y las variaciones del clima. Su diseño busca alcanzar una combinación óptima entre resistencia, durabilidad y flexibilidad, factores clave para evitar deformaciones, agrietamientos u otras fallas prematuras.

Nos dicen en [19] que esta se encuentra compuesta principalmente por agregados pétreos y un ligante conocido como asfalto. Los agregados, que representan entre el 90 % y 95 % en peso de la mezcla, se clasifican en agregados gruesos, agregados finos y filler cada uno con funciones específicas en la estructura interna de la mezcla.

Compuestos de las mezclas asfálticas

Cemento asfáltico

Es un ligante denso de origen petrolero, utilizado en la fabricación de mezclas asfálticas para pavimentos. Se presenta como un material de consistencia viscosa a temperatura ambiente y adquiere propiedades termoplásticas al ser calentado, lo que permite facilidad al momento de su aplicación en obra.

Su clasificación se realiza en base a su grado de penetración o mediante el sistema de superpave, que utiliza parámetros como el grado de desempeño (PG). Si bien nos dicen los parámetros de la norma brindada por el MTC, este material debe cumplir requisitos de viscosidad, ductilidad, punto de ablandamiento y estabilidad térmica para garantizar un buen comportamiento frente a cargas repetidas, variaciones de temperatura y envejecimiento a largo plazo [20].

Agregados pétreos

Estos materiales granulares constituyen el mayor porcentaje de volumen de la mezcla asfáltica, representado en un 90% y 95%. Se dividen tanto en agregado grueso, los cuales son retenidos por el tamiz N^o4, como agregado fino obtenido durante la retención del material en el tamiz N^o200 [20].

Según el libro [21] , los autores nos indican que la capa de rodadura, cumple un rol muy importante en la estructuración del pavimento en cuanto al soporte de cargas producidas por los diversos tipos de vehículos. Además, los daños superficiales a lo largo de la vida útil del pavimento pueden dar problemas irreparables como la patología piel de cocodrilo, que

comúnmente al formarse va deformando la estructura y en el peor de los casos dejándola como una vía obsoleta.

Filler

Si bien la normativa técnica peruana en [5], nos indican que este material es aquel que pasa en gran totalidad por el tamiz N°200 con un diámetro de 0.075mm, cumpliendo la función y estándares de propiedades volumétricas y mecánicas de las mezclas asfálticas.

Métodos de diseño para la mezcla asfáltica

Método AASHTO 93

El método AASHTO 93 en el diseño de estructuras de pavimento flexible, consiste en determinar el número estructural (SN), el cual puede aguantar el nivel de carga requerido. El procedimiento de diseño se valida en una ecuación que relaciona los coeficientes, los cuales se calculan mediante un software, el cual requiere datos adicionales, como por ejemplo: el número de ejes equivalentes (ESAL), el rango de serviciabilidad, de confiabilidad y el módulo resiliente de la capa a trabajar [18],[22].

Método de Asfalto

Este método fue propuesto por el instituto norteamericano del asfalto (INA) determina el espesor de la estructura del pavimento flexible de acuerdo a las variables de diseño tales como el tránsito, la temperatura, las propiedades de la subrasante, subbase y base, y también las características de la mezcla asfáltica, logrando así un diseño resistente y óptimo [18],[23].

Método de Shell

El método de Shell con su clasificación de tipo racional brinda la descripción de la estructura del pavimento, la cual se forma como un sistema multicapas linealmente elástica, donde se encuentran bajo la acción de las cargas de tránsito. Sus materiales empleados son destacados por su módulo de elasticidad de Young (E) y su relación de Poisson (μ), siendo estos homogéneos [18].

Patología piel de cocodrilo

La piel de cocodrilo o también llamado agrietamiento hace referencia a un conjunto de grietas interconectadas originadas por acción de la fatiga de la superficie de pavimento asfáltico sometida a repeticiones de cargas de tráfico. Este agrietamiento ocurre en la capa de concreto

asfáltico o subrasante estabilizada, donde el valor de la tensión de tracción y la deformación unitaria bajo la carga de la rueda son más altos respectivamente. Seguidamente, se expande hacia la superficie en forma de pequeños polígonos o bloques de forma irregular, que se observan como una textura que se asemeja a la piel de cocodrilo [18],[19].

Evaluación del área dañada

Se evalúa el porcentaje del área dañada en relación con el área total del pavimento en tramos de metros de longitud. Este análisis permite cuantificar el grado de deterioro en cada segmento, facilitando la identificación de zonas críticas y priorizando las intervenciones necesarias. Además, este enfoque proporciona una base para estimar el impacto del daño en la funcionalidad de la vía y proyectar los recursos requeridos para su rehabilitación. Complementariamente, puede asociarse con parámetros como la intensidad del tráfico, la calidad del drenaje y la composición estructural del pavimento para obtener un diagnóstico más completo [24].

TABLA II
ÁREA AFECTADA Y TIPO DE INTERVENCIÓN

Ligero	Medio	Fuerte
Lig < 10 %	10 % < Med < 50 %	50 % < Fue
Lechada superficial en cada área afectada.	Lechada superficial en todo el terreno.	Recuperación de la carpeta y parte de la base para estabilización como refuerzo. Nueva capa de rodadura.

Fuente : Deterioros de pavimentos flexibles [24]

Consideraciones que influyen en la patología piel de cocodrilo

Índice de huecos

Esto determina el diseño erróneo debido a la deficiencia en la compactación de la mezcla bituminosa, originando la aparición de huecos o también llamados vacíos [25].

Tránsito

El tránsito urbano, especialmente en zonas de alto tráfico, como intersecciones y paraderos de vehículos, somete al pavimento a ciclos de carga intensos. Debido a ello, en estas áreas la

patología piel de cocodrilo aparece más temprano debido a la acumulación localizada de esfuerzos [26].

- **Zonas de mayor carga:** Las fisuras aparecen primero en las ruedas de los vehículos, donde las cargas se concentran más.
- **Propagación progresiva:** Con el tiempo, las fisuras aisladas se extienden y conectan, formando un patrón característico de bloques pequeños.

Temperatura

Esto puede darse por expansión y contracción térmica, la oxidación y cambios en la viscosidad del asfalto, así como también las variaciones extremas de temperatura. Estos factores combinados pueden debilitar la estructura del pavimento, aumentando la probabilidad de que aparezcan grietas por fatiga [27].

Índice de condición del pavimento (PCI)

Niveles de severidad

Este apartado describe la magnitud y extensión del deterioro del pavimento. Su severidad se clasifica generalmente en tres niveles según la normativa **ASTM D6433** [28], [29], [30], [31]:

Severidad baja (L)

- **Apariencia:** Grietas finas y discontinuas que afectan únicamente la capa superficial.
- **Características:** No existe desprendimiento de material ni deformación significativa. Se encuentran con una dimensión menores a 1.5 mm de ancho de grieta.

Severidad media (M)

- **Apariencia:** Los agrietamientos se vuelven más profundos, aunque no se aprecia pérdida significativa de material.
- **Características:** las grietas se encuentran interconectadas por lo que el agua comienza a filtrarse. Son hallados debido a que se encuentran entre 1.5 mm y 5 mm de ancho.

Severidad alta (H)

- **Apariencia:** Es más amplia y profunda con segmentos de material desprendido.
- **Características:** Se presenta pérdida de agregado, y la infiltración de agua compromete la estructura. En algunos casos se observa deformaciones o hundimientos. Son grietas mayores a 5 mm de ancho.

Porosidad

La porosidad del pavimento contribuye en mejorar el confort y la seguridad vial en los tramos de zonas lluviosas, es decir, evita que el agua penetre en la capa asfáltica y escurra hacia los lados, formando agujeros de agua en el afirmado. Es por ello que una capa porosa tiene un nivel de poros o vacíos suficientemente alto para permitir que el agua de lluvia se infiltre rápidamente y drene en arcones, cunetas u otros elementos de la carretera sin permanecer en la superficie de la capa superficial incluso durante lluvias intensas en el rango de 16% y 25% [32], [33].



Ilustración 2 Porosidad en el pavimento [34].

Métodos para la evaluación de porosidad en vías urbanas

Para poder determinar correctamente el factor en la falla del pavimento haremos uso de mecanismos fundamentales que pueden requerir de la extracción de una muestra física o solo visual [35].

Métodos destructivos

- **Muestreo y análisis de núcleos de Pavimento**

También llamado ensayo de diamantina, en este tipo de método se extraen núcleos de pavimentos de la vía urbana, para ser analizados en laboratorios confiables que brindaran como resultado la aparición de porosidad en el material.



Ilustración 3 Máquina Extractora de Núcleos [36].

- **Cortes transversales y análisis de secciones**

Este método representa uno de los procedimientos más seguros para analizar las secciones de corte para determinar la porosidad del pavimento en su estructura interna.



Ilustración 4 Sección de la estructura del pavimento [37].

Métodos no destructivos

- **GPR (Ground Penetrating Radar)**

Se emplean Ondas electromagnéticas para detectar cambios en la composición del pavimento. En comparación con otras tecnologías de detección, GPR puede lograr una detección rápida, eficiencia y precisa de detección. Actualmente, esta es la tecnología de detección no destructiva más ventajosa para detectar daños ocultos en aceras asfálticas.[38].



Ilustración 5 Tecnología GPR [39].

- **Termografía infrarroja**

Este método determina las variaciones en la temperatura de la superficie del pavimento, indicando así la presencia de poros o humedad en el subsuelo.

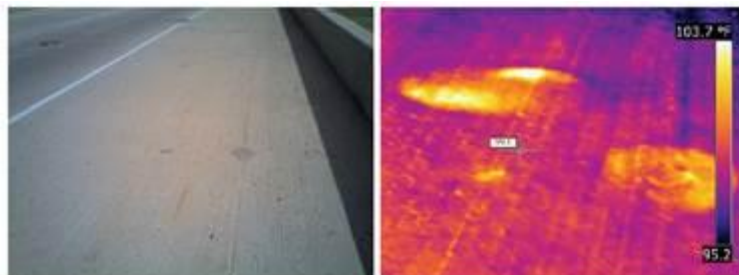


Ilustración 6 Termografía infrarroja [40].

- **Métodos de permeabilidad in situ**

Se basa en el uso de dispositivos para medir la velocidad de infiltración de agua en la superficie del pavimento, lo que ayuda a proporcionar indicios sobre la porosidad.



Ilustración 7 Permeabilidad in situ en pavimentos flexibles [41], [42].

Relación entre porosidad y piel de cocodrilo

Fatiga del tráfico

La fatiga es uno de los tipos de falla más comunes en pavimentos flexibles. Se caracteriza por la conexión de fisuras provocadas por los esfuerzos de tracción generados en el fondo de la carpeta asfáltica debido al tráfico de tipo pesado e intenso [43].

Calidad del material asfáltico

El material asfáltico es uno de los puntos más importantes en la formación de grietas en las vías urbanas. Pues este concepto analiza el envejecimiento y oxidación de dicha estructura en cuanto a la baja calidad del material o el proceso de este. Para minimizar la formación de grietas, es esencial utilizar asfaltos de alta calidad, diseñados y procesados adecuadamente, siguiendo las prácticas y normas recomendadas de construcción y compactación.

Efecto del agua

La mayoría de los casos de agrietamiento por no decir todos son causados por la presencia del agua filtrada en la mezcla de pavimentos flexibles, que se conoce como la pérdida de la capa del asfalto, en la superficie de los agregados. Debido a que estas generan la pérdida de las propiedades más importantes como la adhesión en la interface del agregado del cemento asfáltico[44].

Materiales y métodos

Tipo y nivel de investigación

Tipo de investigación

La clasificación del tipo de investigación varía según tres factores: el fin, los datos a analizar y la metodología para determinar la hipótesis [45], [46].

- **De acuerdo con el fin**

Aplicada: Esta investigación tiene sus fundamentos y bases en teorías existentes, las cuales buscan soluciones puedan aplicarse directamente en el diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos asfálticos urbanos, con el fin de prevenir o mitigar la formación de la piel de cocodrilo.

- **En base a los datos analizados**

Mixta: Debido a que esta investigación involucra la recolección y análisis de datos tanto cuantitativos como cualitativos, permitirá obtener una perspectiva más completa y enriquecida sobre la relación entre la porosidad de la carpeta asfáltica y la patología piel de cocodrilo en pavimentos urbanos. Estos datos cuantitativos permitirán realizar análisis estadísticos, establecer correlaciones numéricas y desarrollar ensayos en el laboratorio. Por otro lado, se recopilarán y analizarán datos cualitativos, como observaciones visuales detalladas, registros fotográficos y videográficos, descripciones de patrones de agrietamiento, información sobre procesos constructivos y datos climáticos.

- **Según la metodología para demostrar la hipótesis**

No experimental: Esta investigación busca establecer relaciones causales más directas entre la porosidad y la piel de cocodrilo, sin realizar ninguna manipulación de los diámetros de poros y observando sus efectos y cambios a través de cierto tiempo en el contexto natural.

Nivel de investigación

En este aspecto, el proyecto se puntualiza como descriptivo y correlacional, ya que permitirá obtener una comprensión profunda del objeto de estudio, describiendo detalladamente las variables involucradas y estableciendo la relación existente entre la porosidad de la carpeta asfáltica y la patología piel de cocodrilo.

Diseño de investigación

Variables e Hipótesis

- **Variable Independiente**

Nivel de porosidad en la carpeta asfáltica.

- **Variable Dependiente**

Aparición de la patología piel de cocodrilo.

- **Planteamiento de Hipótesis**

Reduciendo el nivel de porosidad se evitará la aparición de la patología piel de cocodrilo.

- **Enfoque no experimental**

Determinar la porosidad en la carpeta asfáltica ante la aparición de la patología de la piel de cocodrilo.

- **Diseño no experimental**

G x O

Donde:

Muestra de grupo (G): Esto correspondería a los ejemplares de carpetas asfálticas obtenidos mediante el ensayo de diamantina de los pavimentos situados en la ciudad de Chiclayo.

Variable (X): Tomamos nuestra Hipótesis tipo descriptiva “Evaluación de la porosidad”

Observación (O): Este estudio se concentra en la desaparición de la patología piel de cocodrilo en los pavimentos en las zonas que conforman la ciudad de Chiclayo. Mediante el desarrollo de ejemplares de carpetas asfálticas, por lo que se medirá la permeabilidad y el porcentaje vacíos.

Operacionalización de variables

TABLA III
VARIABLE INDEPENDIENTE

Variable Independiente	Indicadores	Unidades	Métodos de Medición
Nivel de Porosidad en la carpeta asfáltica	Porcentaje de Vacíos	%	Norma ASTM D3203-22 "Método de prueba estándar para el porcentaje de huecos de aire en mezclas de asfalto compactadas"
	Permeabilidad	mm/min	Ensayo de permeabilidad (Permeámetro; Cronómetro; Recipiente graduado)

TABLA IV
VARIABLE DEPENDIENTE

Variable Dependiente	Dimensiones	Indicadores	Unidades	Métodos de Medición
Aparición de la patología piel de cocodrilo	Aparición de la patología	Presencia de agrietamiento	Sí	Observación visual directa
			No	Registro fotográfico
		Patrón de agrietamientos	Descriptivo	Análisis de imágenes digitales
	Severidad de la patología	Ancho de grietas	mm	Wincha, Fisurómetro
Área afectada		m ²		

TABLA V
VARIABLE INTERVINIENTE

Variable Interviniente	Unidades	Valor	Métodos de Medición
Espesor de la carpeta asfáltica	cm	5 - 10	Wincha
Antigüedad del pavimento	años	Nueva < 5	Registro de construcción y mantenimiento
		Seminueva 5-10	
Tráfico	veh/día	Bajo	Formato vehicular MTC

Población y muestra

Población

Para la presente investigación se considerará como población las calles y avenidas con características patológicas de piel de cocodrilo a evaluar en diferentes zonas de la ciudad de Chiclayo.

TABLA VI
REPORTE DE CALLES CON PIEL DE COCODRILO

REPORTE DE CALLES		
ITEM	DESCRIPCIÓN	INFLUENCIA
1	Calle Santa Rosa	Intersección de la avenida colectora
2	Calle Abtao	Cuadra 1
3	Calle Almirante Guisse	Cuadra 2
4	Calle Callao	Cuadra 1
5	Calle Los Sauces	Cuadra 4, 5 y 6
6	Calle La Florida	Cuadra 8
7	Calle Margaritas	Cuadra 3
8	Av. Manuel Arteaga	Cuadra 3, 4 y 5
9	Calle 7 de enero sur	Cuadra 1 y 2
10	Calle Cristóbal Colón	Cuadra 1

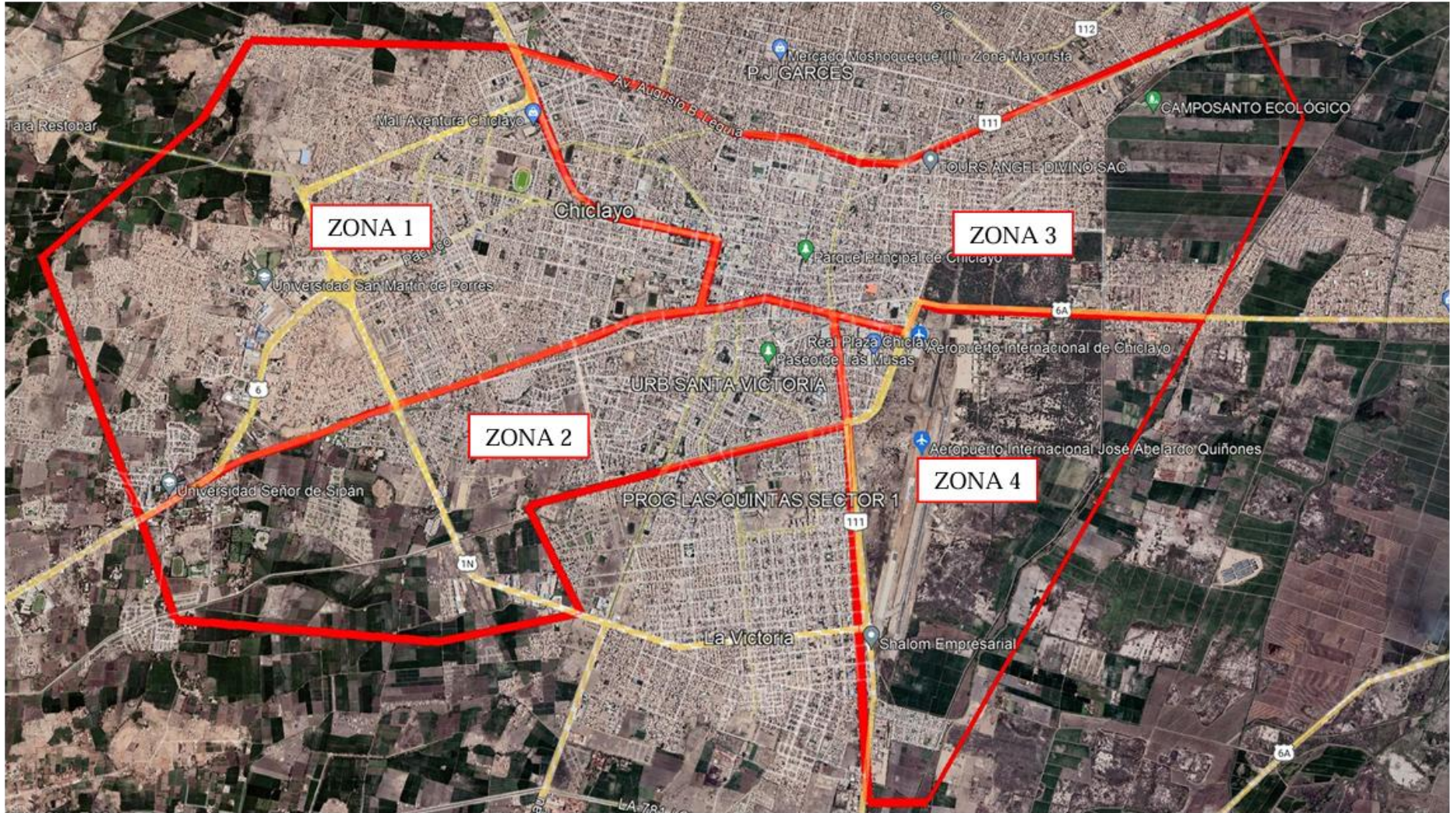


Ilustración 8 Zonas en la ciudad de Chiclayo.

Muestra

Respecto a las muestras seleccionadas, cabe señalar que solo tomaremos un número determinado de muestras en el sector identificado con una severidad media, teniendo un límite de corazones de carpeta asfáltica por lugar de estudio, lo que significa que al final del proceso de recolección de muestras tendríamos un total de 20 ejemplares situados en la zona de Chiclayo.

TABLA VII
NÚMERO DE CALLES PARA LA MUESTRA

Zona	# AGRIETADA	#NO AGRIETADA
1	1	1
2	7	7
3	2	2
4	0	0

Cálculo de Muestra Estadísticamente:

Para calcular el tamaño de la muestra, es necesario conocer ciertos parámetros además de los estudios previos descritos en el libro *“Metodología de la investigación para ingenieros”*, le permite comenzar con criterios específicos sin requerir ninguna investigación preliminar subyacente. A continuación, se presentan algunas consideraciones a tener en cuenta.

$$n = \frac{Z^2 \cdot p \cdot q \cdot N}{e^2(N - 1) + Z^2 \cdot p \cdot q}$$

Ecuación 1 Cálculo de muestra.

- ✓ *N*: Tamaño de la población o universo.
- ✓ *p*: Proporción poblacional que presenta cierta característica. ***Pavimento con patología piel de cocodrilo***
- ✓ *q*: Proporción poblacional que no presenta cierta característica. ***Pavimento en estado inicial sin patología piel de cocodrilo***
- ✓ *e* : Máximo error de estimación de *p*. En búsquedas de un mínimo error, sin tendencias a una cantidad de muestras no calculables, se considera *e*=1%
- ✓ *Z*: Valor relacionado al nivel de confianza. Calculado en base a la distribución normal estándar (*z*=2.58).

En primer lugar, se calculará el número de muestras necesarios para esta investigación, parte por tener los valores de p y q , los cuales al no tener antecedentes de estudios previos parten de la premisa de ser ambos iguales a 0.5, esto quiere decir que p y $q = 0.5$ [45].

A través del uso de la fórmula para poblaciones finitas es que podremos obtener que el número total de muestras “ n ” es igual a 10 muestras [45].

TABLA VIII
NÚMERO DE MUESTRA TOTALES ESTADÍSTICAMENTE

$N=$	10
$p=$	0.5
$q=$	0.5
$z=$	2.58
$z^2=$	6.6564
$e=$	1%
$e^2=$	0.0001

TABLA IX
NIVEL DE CONFIANZA

Total	100%
Nivel de confianza	99%
	0.99

Criterios de Selección


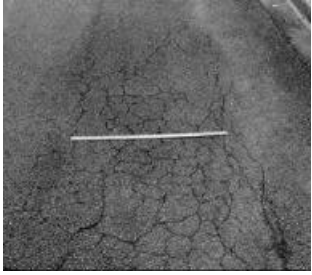

Teniendo en cuenta el número total de muestreo obtenido de manera probabilista, se procederá a la selección de muestras en base a parámetros técnicos y metodológicos. Para ello, se considerarán aspectos como características estructurales del pavimento y nivel de severidad tanto en las áreas críticas donde se presentan fallas como en la que no presentan ningún tipo de patología.

- **Nivel de severidad**

Este apartado describe la magnitud y extensión del deterioro del pavimento[29].

TABLA X

DESCRIPCIÓN DEL GRADO DE SEVERIDAD EN LA PIEL DE COCODRILO

GRADO DE SEVERIDAD	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA
Baja (L)	Grietas no descascaradas	
Mediana (M)	Patrón de grietas finas, ligeramente descascaradas	
Alta (H)	Patrón de piel de cocodrilo bien definido y descascarado	

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

TABLA XI

TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Técnicas	Descripción	Instrumentos
Muestreo y Observación Directa	Selección y observación de tramos de pavimento afectados	Cámara, Bitácora de Campo, GPS
Ensayos de laboratorio	Extracción y análisis de muestras de la carpeta asfáltica	Equipo de medición de porosidad, Perforadora de núcleos
Análisis	Evaluación estadística	Ficha de Excel
Entrevistas y Cuestionarios	Recolección de información cualitativa de expertos y personal técnico	Guías de entrevista, Cuestionarios en papel o digitales
Revisión Documental	Análisis de informes técnicos y registros de mantenimiento	Acceso a bases de datos

Procedimiento

Visita a campo

Para iniciar este proyecto de investigación, en primer lugar, se inspeccionaron diversas calles y avenidas de Chiclayo con la finalidad de determinar áreas afectadas por agrietamiento tipo piel de cocodrilo. Estas grietas, características de la fatiga estructural del pavimento, fueron observadas en diferentes niveles de severidad, lo que permitió delimitar zonas críticas. Asimismo, se marcaron puntos estratégicos para la realización de ensayos técnicos como lo es la permeabilidad y porcentaje de vacíos.

Entre las zonas destacadas se encuentran:

✓ Calle 7 de Enero Sur



Ilustración 9 Visita a la calle 7 de Enero Sur.

✓ Calle Cristóbal Colón y Avenida Francisco Bolognesi



Ilustración 10 Visita a la calle Colón.

✓ Avenida Manuel Arteaga



Ilustración 11 Visita a campo de la avenida Arteaga.

Medición de grietas

Este método nos permitirá cuantificar el grado de deterioro superficial del pavimento y evaluar directamente su integridad estructural. Mediante este análisis será posible determinar la extensión, severidad y densidad de las grietas, lo que facilitará la clasificación del estado del pavimento según criterios establecidos por metodologías como el Pavement Condition Index (PCI).

Equipos utilizados

- Fisurómetros

Procedimiento

- En este ensayo in situ se utilizó el fisurómetro para poder calcular el ancho de las grietas reflejadas en las zonas dañadas.
- Se sitúa el instrumento en una parte estable para así poder obtener medidas precisas y sin error.

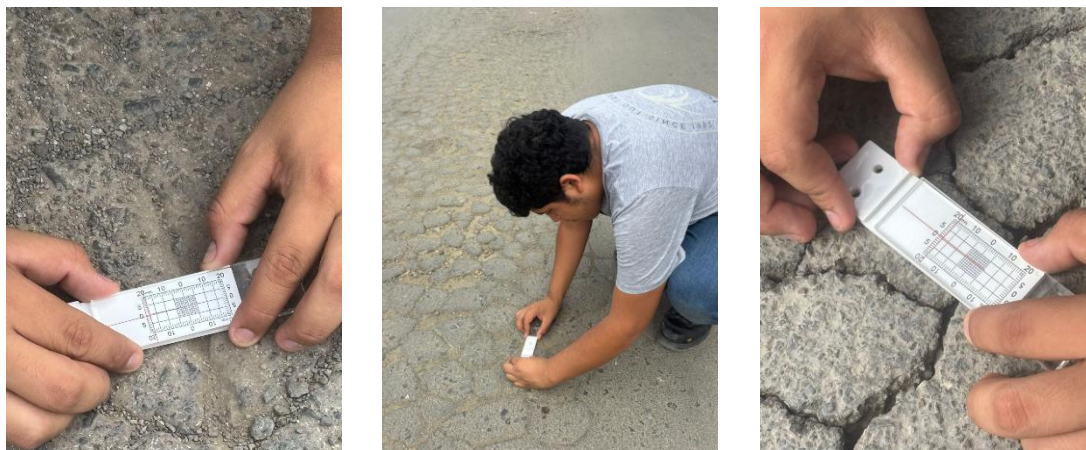


Ilustración 12 Medición de ancho de grietas

Ensayo de permeabilidad in situ

Para dar inicio con el desarrollo de esta investigación, se hizo la preparación de la zona para realizar el ensayo de permeabilidad el cual consiste en colocar un aro de aluminio con dimensiones de 66 mm de altura y 102 mm de diámetro, para luego sellar los bordes exteriores con la ayuda de plastilina; procediendo a rellenar el aro con agua hasta la cima.



Ilustración 13 Colocación del aro en área de estudio.



Ilustración 14 Bordeado de aro con plastilina.



Ilustración 15 Llenado de agua en el aro.

Durante el intervalo de 10,15 y 20 minutos de espera, se toma nota de la altura del agua que permanece intacta durante el tiempo transcurrido en las áreas de trabajo tanto de un pavimento agrietado, como el no agrietado.



Ilustración 16 Toma de medidas de la altura.

Finalmente, se calcula con una fórmula empírica para evaluar la permeabilidad que transcurre el agua en tiempo determinado.

$$K = \frac{H}{T}$$

Ecuación 2 Cálculo del coeficiente de permeabilidad.

Donde:

K = Coeficiente de permeabilidad (mm/min).

H= Altura que ha descendido del borde del aro en milímetros.

T= Tiempo transcurrido en minutos.

Ensayo de diamantina

Se procede a realizar la extracción de muestras respectivas de carpeta asfáltica con la ayuda de una broca diamantada tipo copa de diámetro 75 mm y una amoladora inalámbrica. Después procedemos de manera cuidadosa almacenarlos en un táper de plástico para el traslado a laboratorio.



Ilustración 17 Extracción de muestras en la calle Santa Rosa.



Ilustración 18 Extracción de muestras en la calle Abtao.



Ilustración 19 Extracción de muestra en zona agrietada de la calle Almirante Guisse.



Ilustración 20 Extracción de muestras en la calle Callao.



Ilustración 21 Extracción de muestra en zona agrietada de la calle Los Sauces.



Ilustración 22 Extracción de muestras en la calle La Florida.



Ilustración 23 Extracción de muestras en la calle Margaritas.



Ilustración 24 Extracción de muestras en la avenida Manuel Arteaga.



Ilustración 25 Extracción de muestra en zona no agrietada de la calle 7 de Enero Sur.

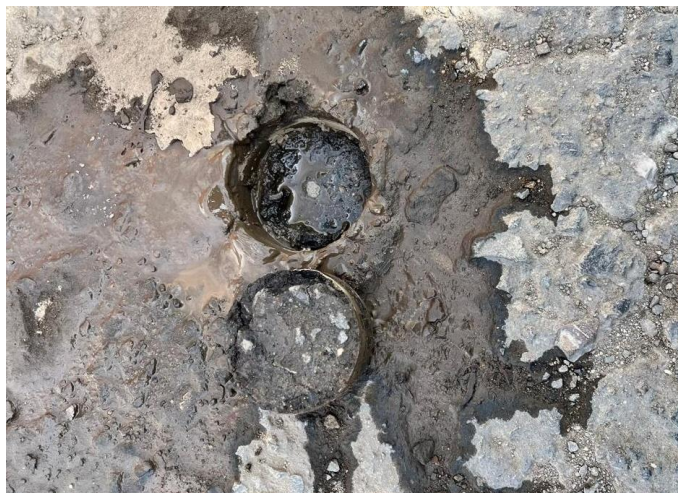


Ilustración 26 Obtención final de muestra de la calle Cristóbal Colón.

Ensayo de porcentaje de vacíos

Posteriormente, de haber trasladado las 20 muestras al laboratorio, se agrupan cada una de ellas con relación a la zona de la cual fueron extraídas verificando que estas no hayan sufrido ruptura alguna que impida el error durante el desarrollo del ensayo de porcentaje de vacíos.

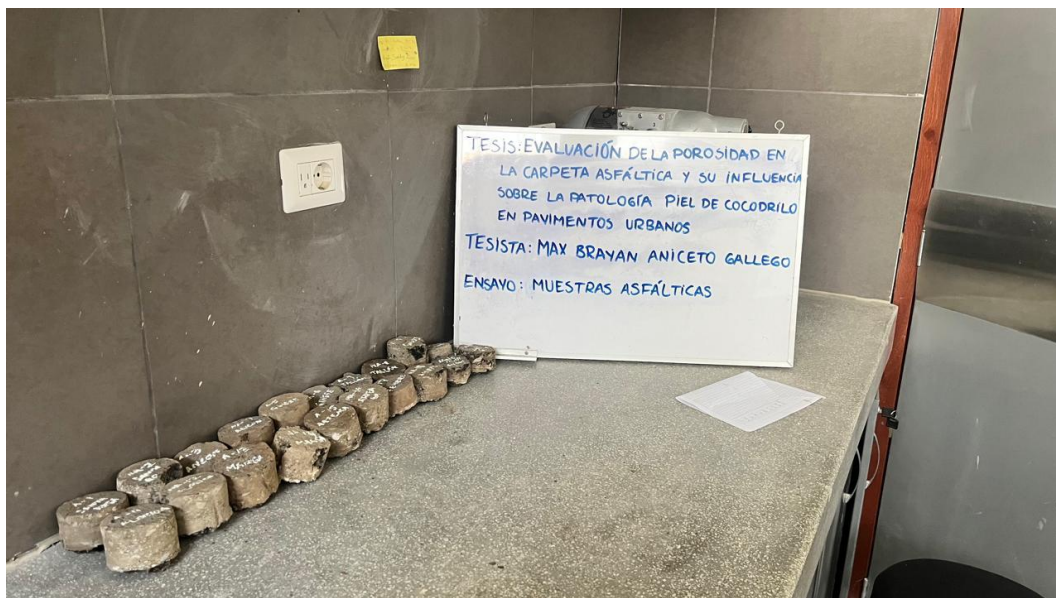


Ilustración 27 Muestras en laboratorio.

Procedimiento del ensayo

Se realiza el pesado en el aire de cada una de las muestras con debido cuidado, verificando que se situó en el centro de la balanza y que esta tenga un valor de 0 inicialmente. Luego de evaluar cada una de ellas se deberá ingresar al pozo de agua por un tiempo de 24 horas.

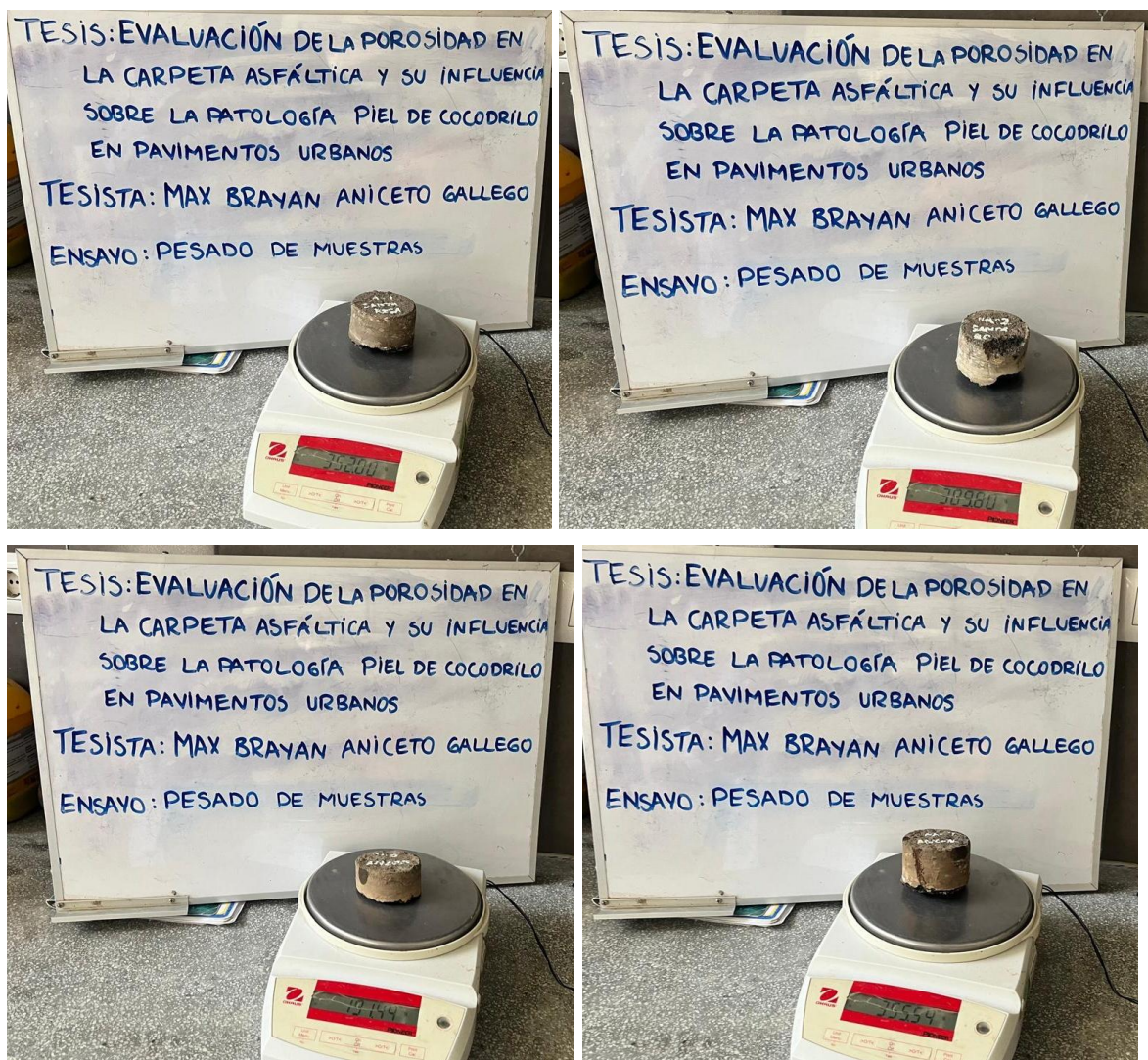


Ilustración 28 Pesado de muestras asfálticas.

Luego se procede a realizar el pesado de las muestras en el agua verificando que la calibración de la balanza se encuentre en el centro del ojo de pollo, pudiendo así tomar nuestros datos con mayor precisión.



Ilustración 29 Pesos de muestras en el agua.

Luego, se realiza el retiro respectivo de las muestras asfálticas para el pesado de la muestra saturada obteniendo, así como resultado que el mayor índice de porosidad se encuentra en la calle Abtao con área agrietada de la zona 2 de la ciudad de Chiclayo.





Ilustración 30 Pesos de las muestras saturadas.

Finalmente, se aplica la fórmula para calcular el porcentaje de vacíos según indicado en la norma ASTM D 3203, AASHTO T 269.

$$\% \text{ vacíos} = \left[\frac{\text{Peso específico teórico máximo} - \text{Peso unitario de la briqueta}}{\text{Peso específico teórico máximo}} \right] \times 100$$

Ecuación 3 Cálculo de porcentaje de vacíos.

Ensayo de permeabilidad

El objetivo es de analizar y recopilar nuevamente datos de las zonas afectadas con la patología después de los 167 días de haber ensayado dichas muestras, que se harán mediante la colocación de un aro de aluminio en una parte del área dañada, y así poder evaluar el comportamiento de la carpeta en relación con su valor de permeabilidad actual.

Equipos utilizados

- Aro de aluminio (diámetro 102 mm)
- Plastilina seca
- Galones de agua
- Regla de metal

Procedimiento de ensayo

- Elegir parte del área afectada por la patología asegurándonos que se cumplan con las especificaciones previas al ensayar, es decir contar con un área limpia y eliminar el excedente de tierra si en caso lo hubiera.
- Condicionar correctamente el aro y asegurarlo con la plastilina para que no haya ninguna fuga por los lados y evitar el margen de error.
- Verter el agua hasta la altura total del aro ya posicionado para luego empezar la toma de tiempo en minutos.
- Luego de observar el comportamiento de la carpeta asfáltica con el agua se procede hacer la toma y registro de datos.



Ilustración 31 Procedimiento de ensayo de permeabilidad - 167 días

Resultados y discusión

Resultados

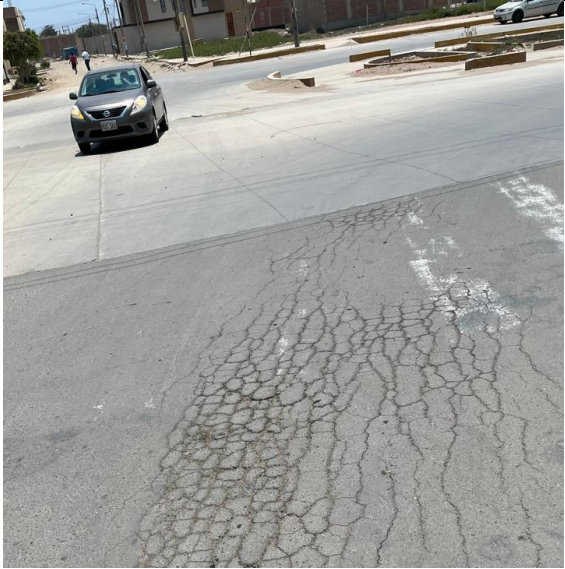
Los resultados obtenidos en el laboratorio serán mostrados en este apartado de manera clara y precisa, con la finalidad de que se cumpla los parámetros estipulados como la severidad media (1mm-5 mm).




Cabe mencionar que los ensayos realizados son los requeridos por la norma del ASTM D 2726, MTC E 514, ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508, ASTM D 3203 y MTC E 505 debido a que establecen los requisitos mínimos para cada muestra de pavimento, los ensayos se han realizado de acuerdo con los procedimientos indicados en el manual de ensayo de materiales del MTC-2016.




Nivel de severidad y extensión de la patología piel de cocodrilo



En la tabla XII se muestran los resultados de una observación directa que se pudo obtener mediante la toma de fotografías, para así clasificarlos según el tipo de zona, grado de severidad y extensión de la patología.

TABLA XII
IDENTIFICACIÓN DE GRADO DE SEVERIDAD EN LAS CALLES Y AVENIDAS

Calles o Avenidas	Grado de severidad	Imagen
Calle Santa Rosa	Media: 4.8 mm	

Calle Abtao	Alta: 5.2 mm	
Calle Almirante Guisse	Media: 4.4 mm	
Calle Callao	Alta: 5.0 mm	

Calle Los Sauces	Media: 4.5 mm	
Calle La Florida	Media: 3.5 mm	
Calle Margaritas	Media: 4.0 mm	

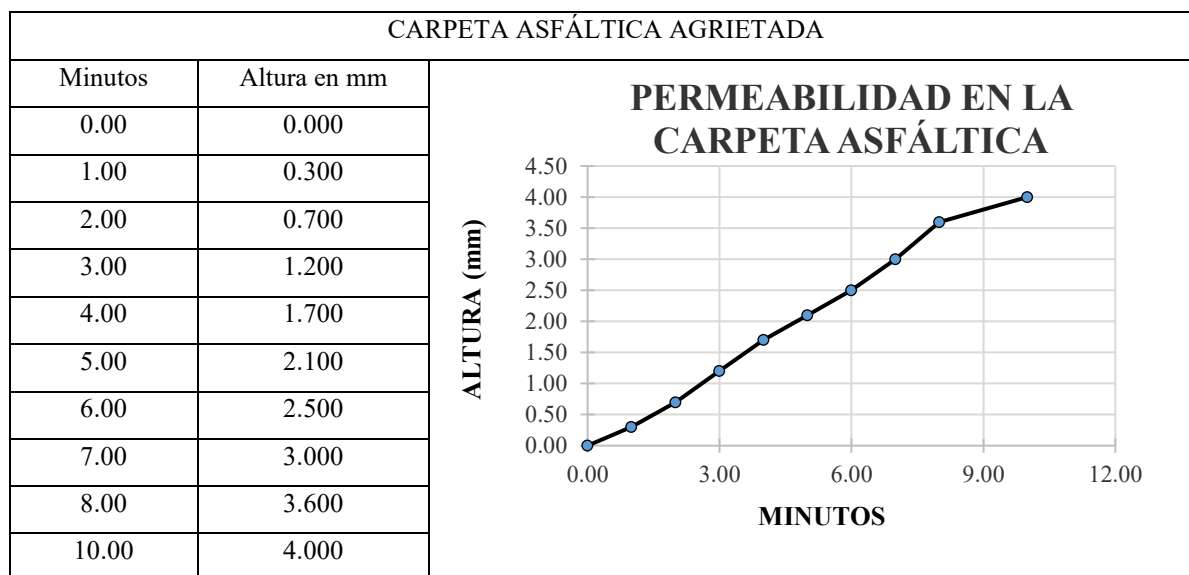
Av. Manuel Arteaga	Media: 3.8 mm	
Calle 7 de enero sur	Media: 4.7 mm	
Calle Cristóbal Colón	Media: 4.7 mm	

Nota: De acuerdo con la TABLA XII se logró identificar el grado de severidad media donde se presenta el área afectada en las calles y avenidas con la patología piel de cocodrilo. Siendo las calles las que presentan mayores valores promedio de severidad (entre 4.0 mm y 4.5 mm), mientras que en las calles con los valores más bajos (3.5 mm). Esto podría deberse a diferencias en el diseño estructural, mantenimiento o carga vehicular.

Ensayo de permeabilidad

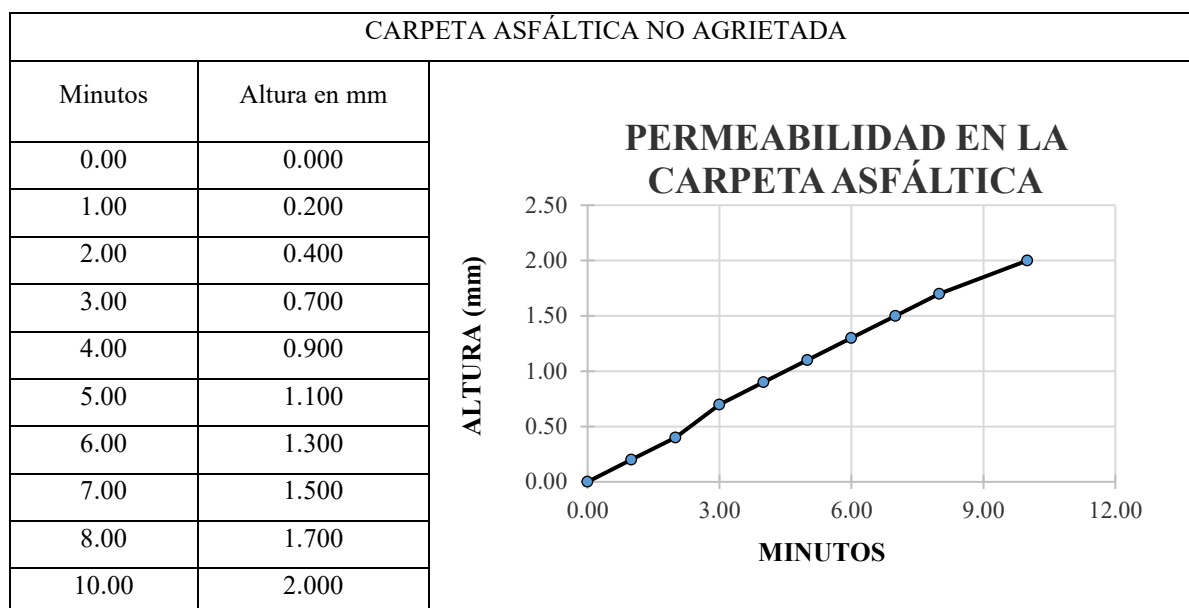
A partir de las tablas expuesta, se puede observar la recopilación de datos obtenidos del ensayo de permeabilidad realizado en las áreas afectadas por la patología piel de cocodrilo y áreas no afectadas respectivamente.

TABLA XIII
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE ALMIRANTE
GUISSE - A5



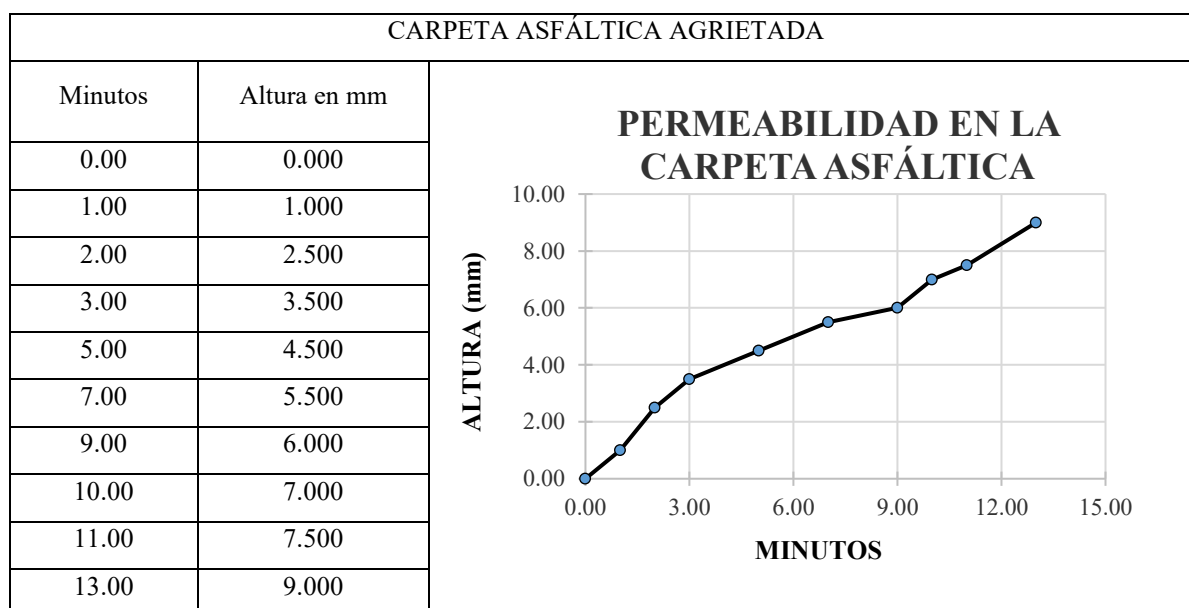
Nota: Para la muestra de la sección agrietada de la calle almirante, nos arroja una altura máxima de 4 mm en 10 minutos obteniendo una permeabilidad de 0.4 mm/min, sin embargo se observa un proceso estable en nuestros diferentes puntos de curvatura analizados.

TABLA XIV
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE ALMIRANTE
GUISSE – NA6



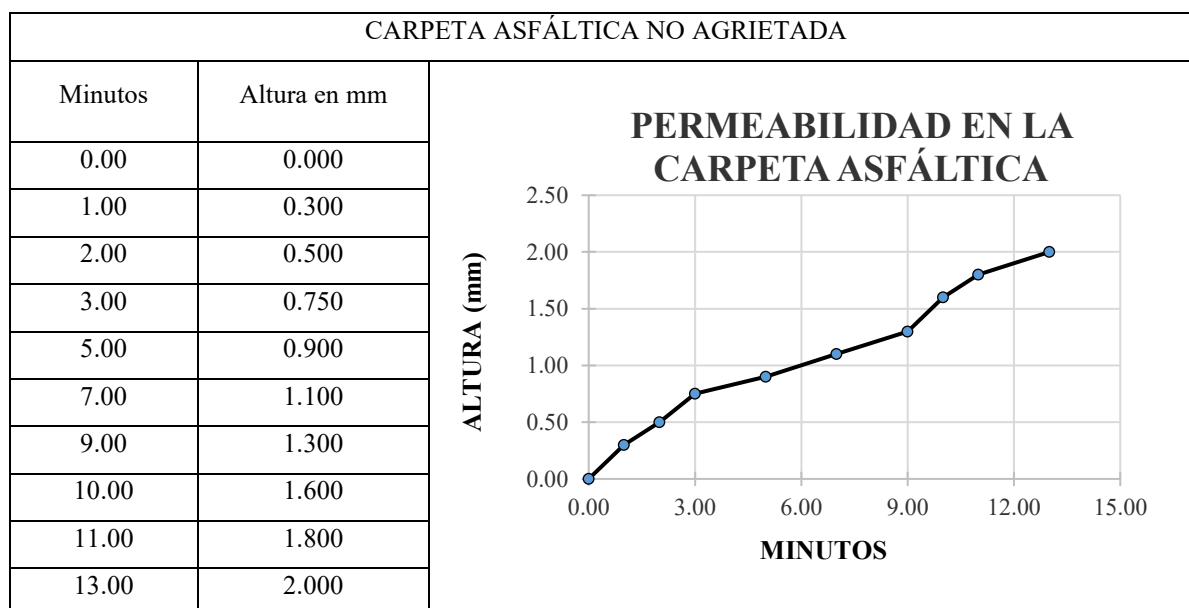
Nota: La muestra no agrietada presenta una altura máxima promedio fue de 2 mm, con un conteo permanente de 10 minutos como máximo por ende un valor de 0.2 mm/min de permeabilidad y también una diferencia de 2 mm a la sección agrietada de la misma calle.

TABLA XV
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE CALLAO – A7



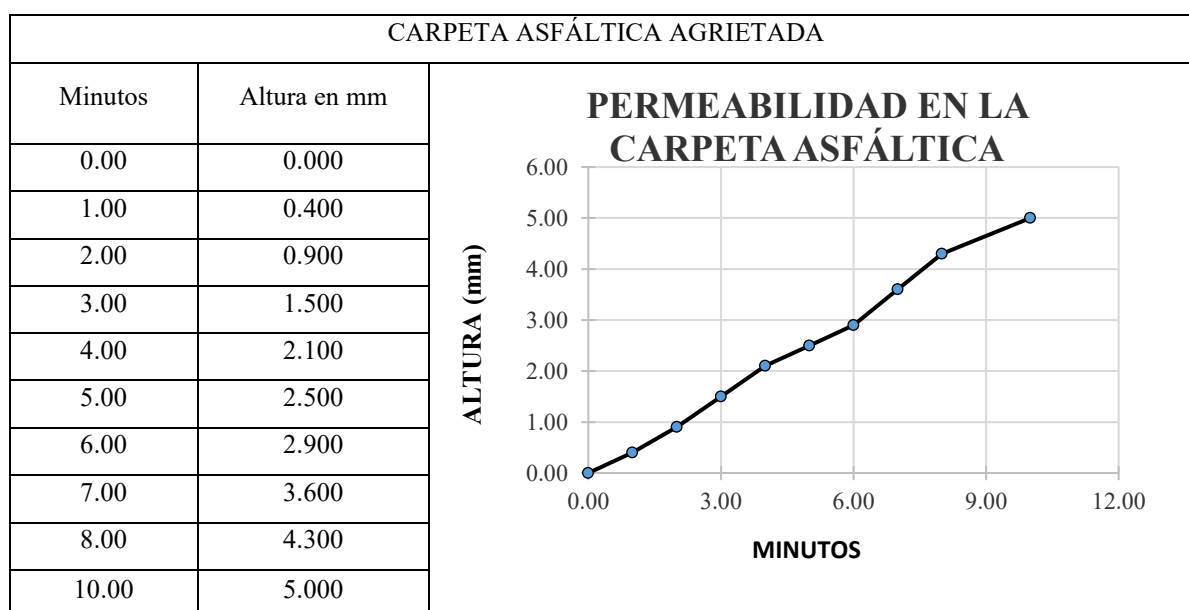
Nota: Se observo que los resultados en los minutos 10 y 11 se mantienen de forma constante con poca variación de altura, mientras que la altura se incrementa de manera rápida en el minuto 13 mostrando un valor significativo de deterioro de 0.69 mm/min.

TABLA XVI
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE CALLAO –
NA8



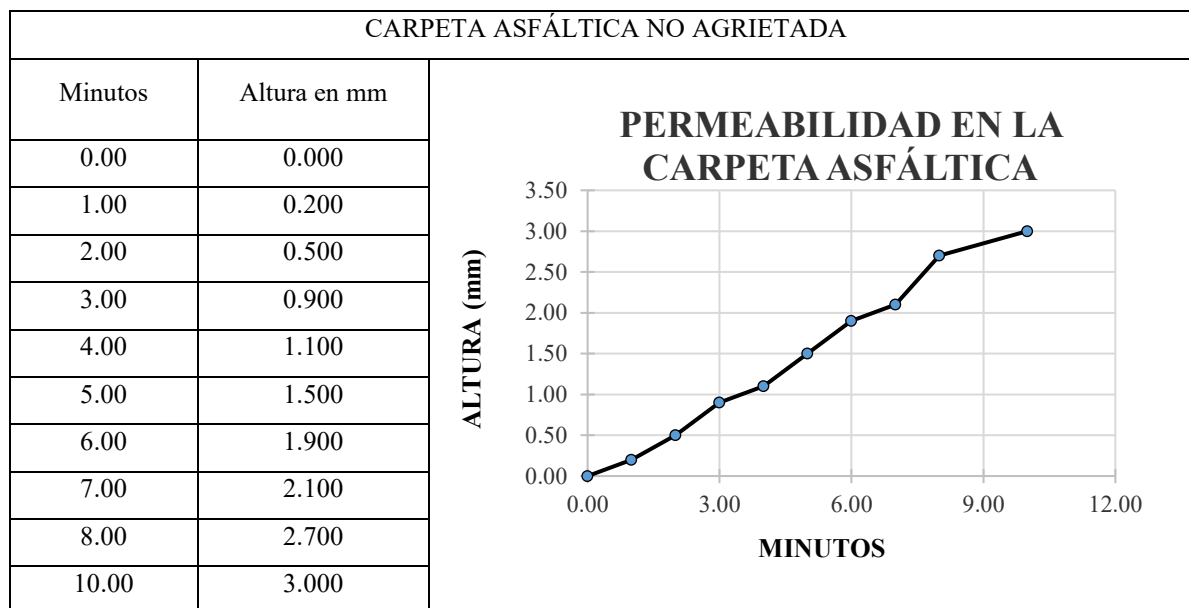
Nota: Se determinó que la permeabilidad promedio de la muestra no agrietada fue de 2 mm con una altura de 13 mm logrando así una permeabilidad de 0.15 mm/min, indicando que no hay deterioro a simple observación directa.

TABLA XVII
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE LOS SAUCES
- A9



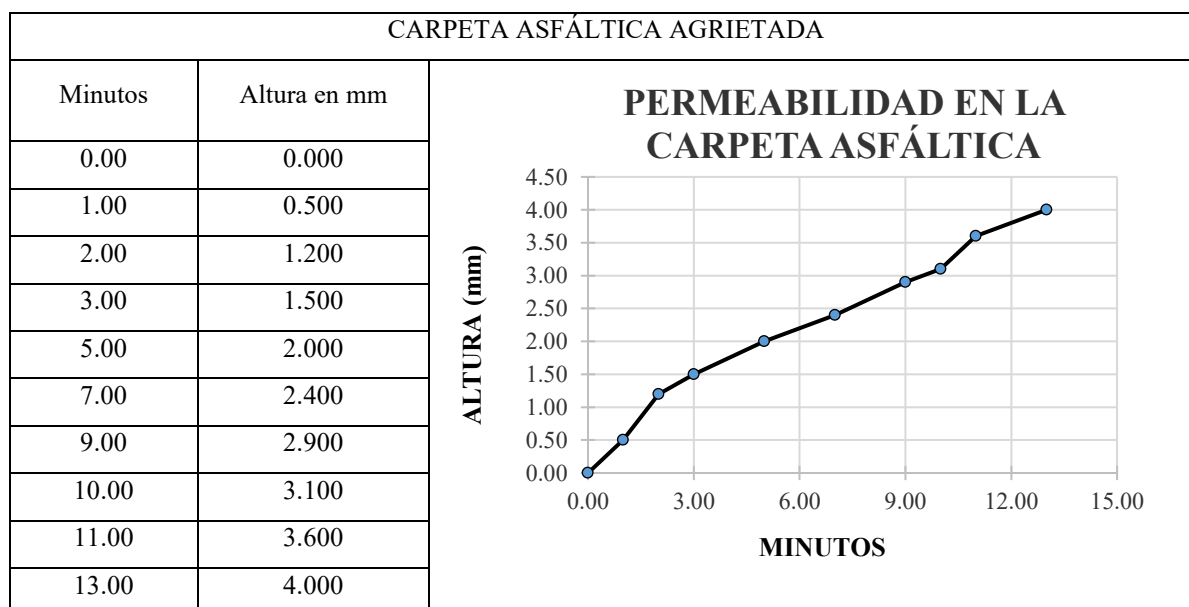
Nota: De acuerdo con la norma, el valor máximo permitido de permeabilidad para las carpetas asfálticas es 0.006 mm/min. Los resultados obtenidos no cumplen con este requisito ya que nos arroja un valor de 0.5 mm/min.

TABLA XVIII
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE LOS SAUCES
- NA10



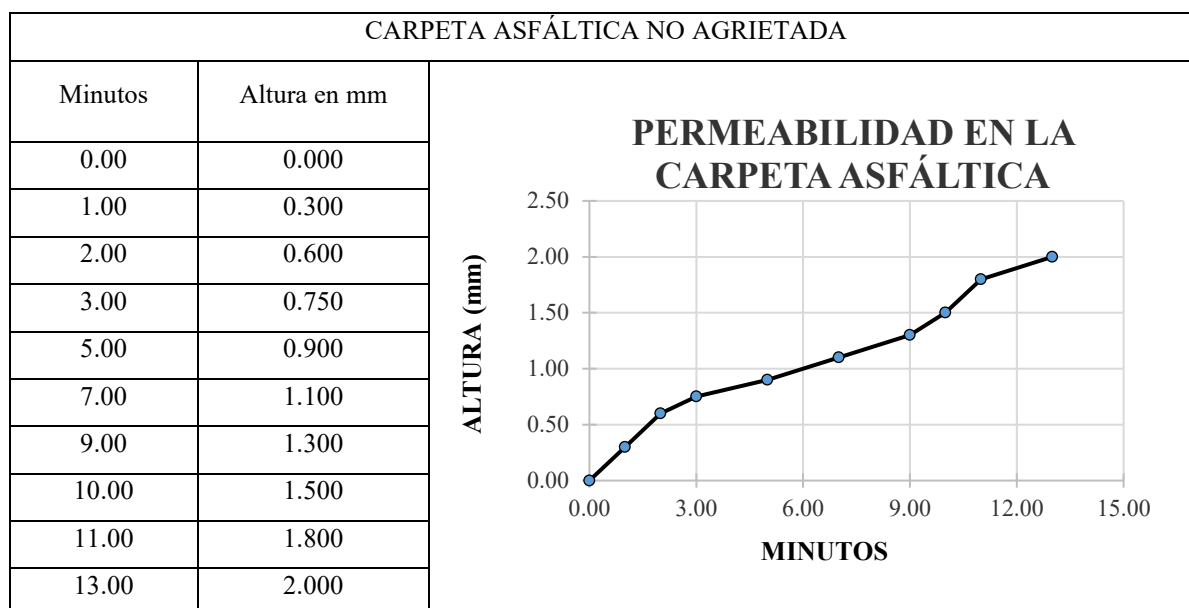
Nota: De acuerdo con lo evaluado en la sección no agrietada se presenta una velocidad a la permeabilidad que compete a 0.3 mm/min, y podemos decir los valores de altura presenta variaciones poco significativas, las cuales ayudan a prevenir daños estructurales en la vía.

TABLA XIX
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE FLORIDA -
A11



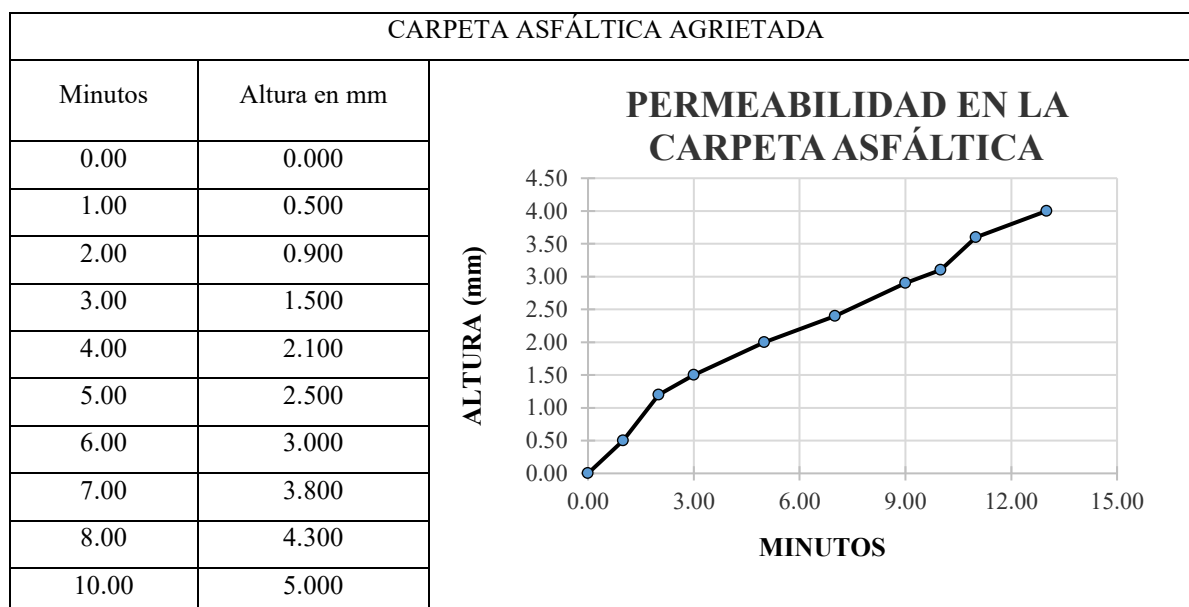
Nota: Para la sección agrietada se obtuvo valores altamente significativos, siendo 4 mm la mayor altura obtenida en los 13 minutos transcurridos resultando así una permeabilidad a 0.31 mm/min, la cual refleja el inadecuado mantenimiento brindado.

TABLA XX
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE FLORIDA -
NA12



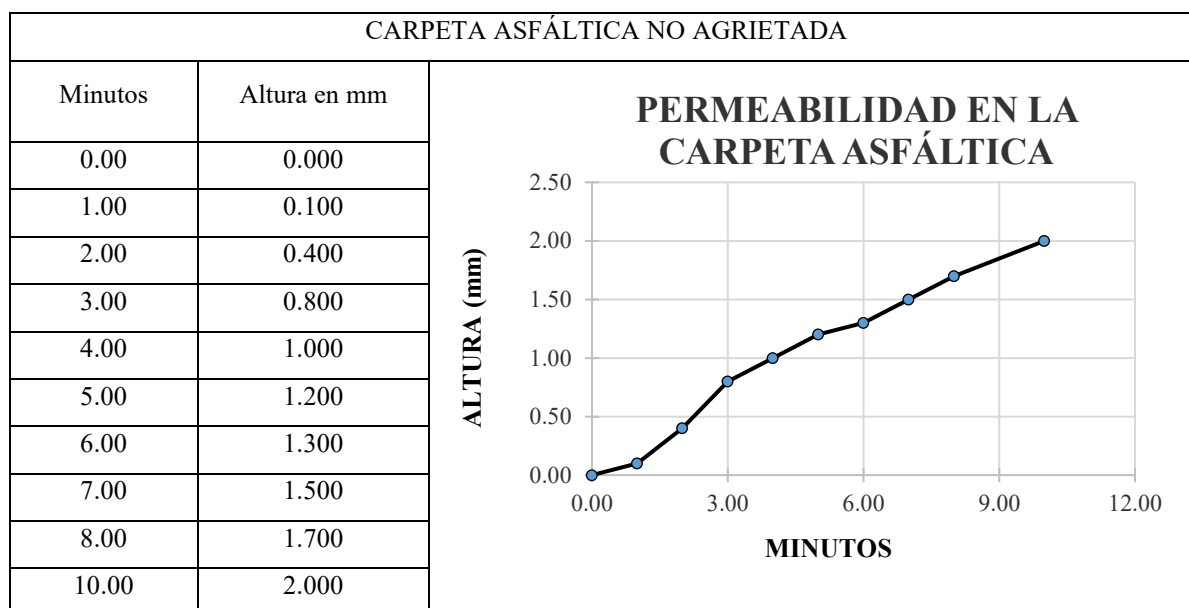
Nota: Para la sección no agrietada se observa una variación de altura peculiar con valores de (0.30 mm -2 mm) dando un valor de 0.15 mm/min a la permeabilidad pero de gran importancia para el tiempo prolongado de vida útil.

TABLA XXI
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE
MARGARITAS - A13



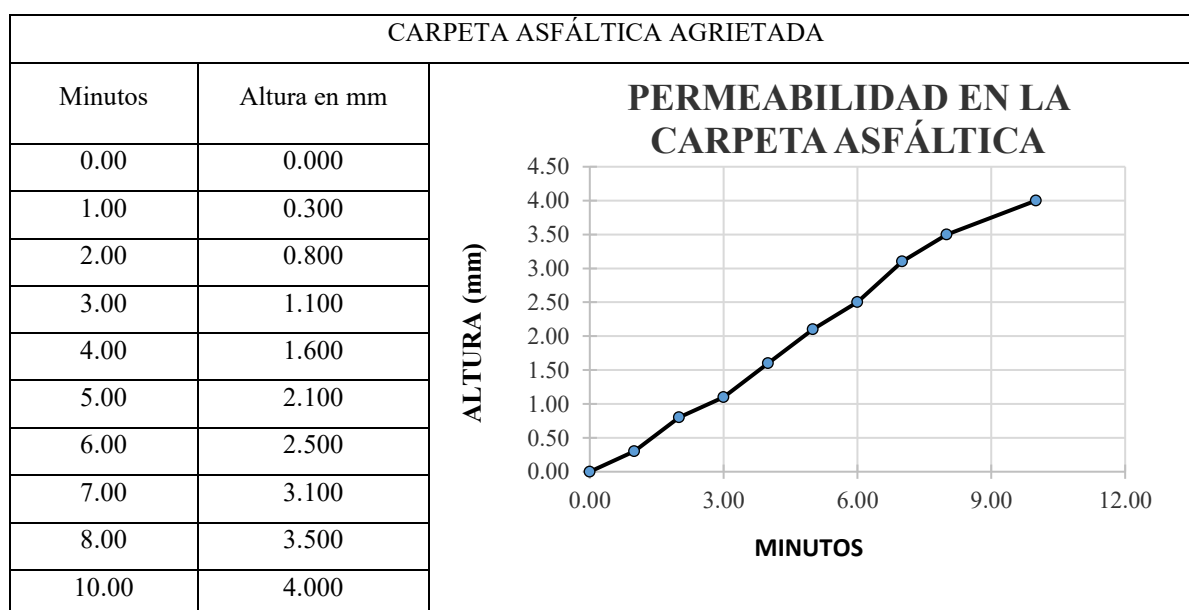
Nota: Para la sección agrietada se observa una altura máxima de 5 mm con un tiempo de ensayo de 10 minutos, siendo una de las calles con valores altamente significativos claramente porque obtiene un valor permeable de 0.5 mm/min.

TABLA XXII
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE
MARGARITAS - NA14



Nota: En la sección no agrietada podemos observar el caso similar de algunas muestras no agrietadas que logran alcanzar un máximo valor de 2 mm, sin embargo se hace representativo por su altura mínima de 0.10 mm. Cabe resaltar que presenta una velocidad permeable de 0.2 mm/min.

TABLA XXIII
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE 7 DE ENERO
SUR - A17



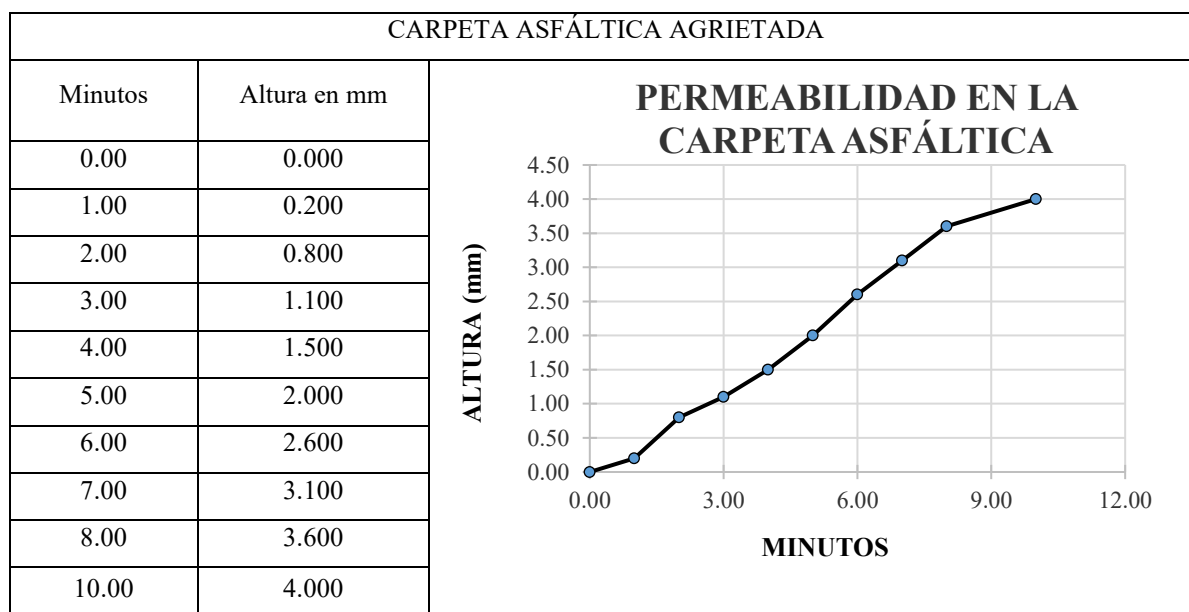
Nota: En la muestra con sección agrietada de la calle 7 de enero presenta una permeabilidad constante logrando alcanzar una altura de 4 mm a los 10 minutos, por lo que significa una permeabilidad de 0.4 mm/min.

TABLA XXIV
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE 7 DE ENERO
SUR - NA18



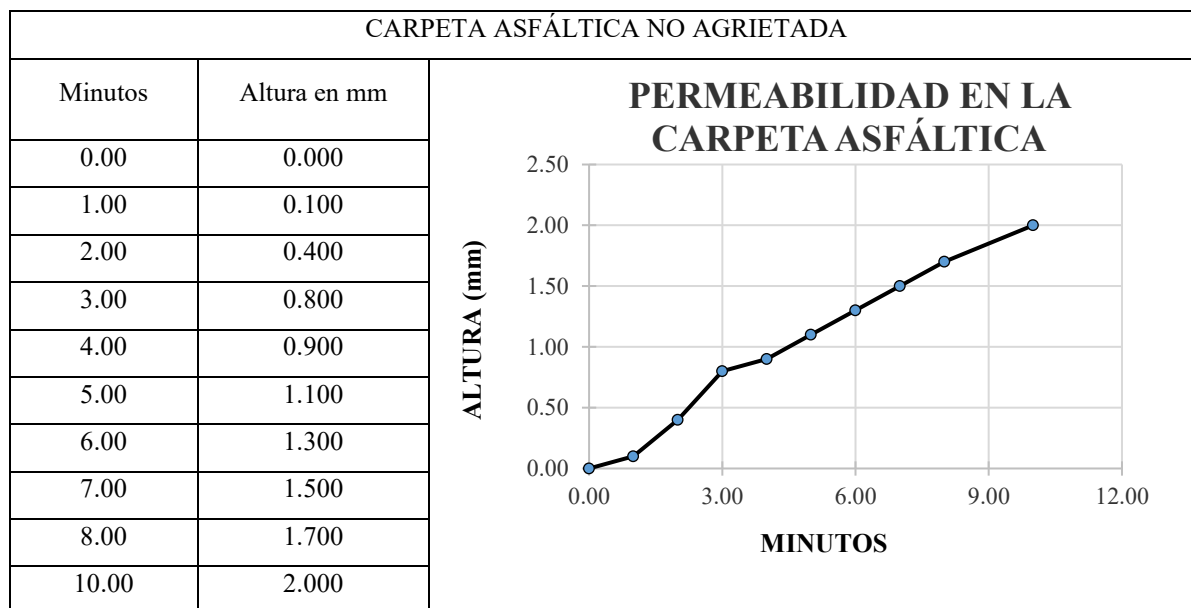
Nota: De acuerdo con lo evaluado en la sección no agrietada, podemos observar que la altura alcanzada para los 10 minutos es de 3 mm resultando 3 mm/min de permeabilidad con respecto a la calle 7 de enero sur, los cuales indican un menor riesgo de agrietamiento.

TABLA XXV
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE CRISTÓBAL
COLÓN - A19



Nota: Se logra observar que obtiene un incremento máximo de 4 mm al haberse transcurrido 10 minutos en la calle Colón, logrando dar a cabo una permeabilidad constante de 0.4 mm/min presentando indicios a una mayor agrietación.

TABLA XXVI
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE CRISTÓBAL
COLÓN - NA20



Nota: se determinó que la permeabilidad máxima para la zona no agrietada es de 2 mm, indicando que no hay un deterioro a simple observación directa ya que presenta una permeabilidad de 0.2 mm/min.

Ensayo de porcentaje de vacíos

En la tabla XXXIII se muestran los resultados del ensayo de porcentaje de vacíos desarrollados en las extracciones de corazones de carpeta asfáltica obtenidas por cada sector, se eligió una muestra sin ninguna patología y una muestra con presencia de piel de cocodrilo para así lograr una correcta evaluación.

TABLA XXVII
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PORCENTAJE DE VACIOS DE LAS 20 MUESTRAS

Número de espécimen			1	2	3	4	5
1	Altura promedio de la briqueta	cm.	4.73	4.5	4.78	4.6	4.8
2	Peso de la briqueta en el aire	gr.	351.89	389.83	191.4	355.54	368.04
3	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	353.79	392.8	195.4	363.01	373.29
4	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr.	191.0	218	103	209.0	205.5
5	Volumen de la briqueta 3-4	c.c.	162.8	174.8	92.44	154.0	167.79
6	Peso unitario de la briqueta 2/5 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.162	2.230	2.071	2.309	2.193
7	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549
8	% de vacíos con aire 100*(7-6/7) (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	15.21	12.52	18.76	9.44	13.96

TABLA XXVIII

RESULTADOS DEL ENSAYO DE PORCENTAJE DE VACIOS DE LAS 20 MUESTRAS (CONTINUACIÓN 6-10)

Número de espécimen			6	7	8	9	10
1	Altura promedio de la briqueta	cm.	4.2	4.6	3.6	3.9	4.1
2	Peso de la briqueta en el aire	gr.	264.74	228.58	248.62	422.4	236.05
3	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	270.52	235.06	254.74	428.74	189.85
4	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr.	152	128	142	236	90
5	Volumen de la briqueta 3-4	c.c.	118.52	107.06	112.74	192.74	99.85
6	Peso unitario de la briqueta 2/5 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.234	2.135	2.205	2.192	2.364
7	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549
8	% de vacíos con aire 100*(7-6/7) (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	12.38	16.25	13.50	14.03	7.27

TABLA XXIX

RESULTADOS DEL ENSAYO DE PORCENTAJE DE VACIOS DE LAS 20 MUESTRAS (CONTINUACIÓN 11-15)

Número de espécimen			11	12	13	14	15
1	Altura promedio de la briqueta	cm.	4.2	4.6	3.8	4.1	3.9
2	Peso de la briqueta en el aire	gr.	392.65	375.39	407.4	369.87	393.35
3	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	395.51	380.3	415.6	379.18	394.36
4	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr.	220.0	216	232	215.0	218
5	Volumen de la briqueta 3-4	c.c.	175.5	164.3	183.64	164.2	176.36
6	Peso unitario de la briqueta 2/5 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.237	2.285	2.218	2.253	2.230
7	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549
8	% de vacíos con aire 100*(7-6/7) (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	12.24	10.38	12.99	11.63	12.51

TABLA XXX
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PORCENTAJE DE VACIOS DE LAS 20 MUESTRAS (CONTINUACIÓN 16-20)

Número de espécimen			16	17	18	19	20
1	Altura promedio de la briqueta	cm.	4	3.7	3.6	3.5	4.2
2	Peso de la briqueta en el aire	gr.	378.54	338.95	312.49	278.52	304.11
3	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	386.66	340.68	316.28	283.11	307.43
4	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr.	221	184.5	176	155	175
5	Volumen de la briqueta 3-4	c.c.	165.66	156.18	140.28	128.11	132.43
6	Peso unitario de la briqueta 2/5 (ASTM D 2726 , MTC E 514)	gr/cc.	2.285	2.170	2.228	2.174	2.296
7	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209 ,MTC E 508)	gr/cc.	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549
8	% de vacíos con aire $100*(7-6/7)$ (ASTM D 3203 , MTC E 505)	%	10.37	14.87	12.62	14.72	9.92

Nota: En relación con los ensayos realizados se puede entender que un pavimento con alta permeabilidad y porcentaje alto de vacíos permite la entrada de agua y aire con facilidad, lo que acelera la degradación del asfalto y de la estructura inferior. Generando así tensiones internas que, junto con las cargas vehiculares repetidas, desencadenan la formación de fisuras iniciales que se conectan con el tiempo, formando patrones en red que caracterizan la piel de cocodrilo.

Tal es así que guardan una relación mediante el objetivo de lograr la durabilidad y resistencia del pavimento, pues como bien sabemos controlando el porcentaje de vacíos y limitando la permeabilidad mediante una adecuada compactación, se permite reducir significativamente la aparición de esta patología.

Nivel de severidad y extensión de la patología piel de cocodrilo

Si bien desde un inicio se hizo un análisis visual de la condición de severidad de las calles seleccionadas, se procedió a realizar una segunda inspección en el lapso de los 167 días transcurridos para determinar si esta situación se agravado o si ocurrió algún mantenimiento preventivo con el pasar de un tiempo determinado, observando el valor del ancho de las grietas en unidad de milímetros.

TABLA XXXI

IDENTIFICACIÓN DE GRADO DE SEVERIDAD (167 DÍAS)

Calles o avenidas	Grado de severidad
Calle Santa Rosa	Alta: 8.0 mm
Calle Abtao	Alta: 5.5 mm
Calle Almirante Guisse	Alta: 6.0 mm
Calle Callao	Alta: 6.0 mm
Calle Los Sauces	Alta: 6.5 mm
Calle La Florida	Alta: 9.0 mm
Calle Margaritas	Alta: 7.0 mm
Av. Manuel Arteaga	Alta: 7.5 mm
Calle 7 de enero sur	Alta: 5.5 mm
Calle Cristóbal Colon	Alta: 5.5 mm



Ilustración 32 Análisis del nivel de severidad de las grietas.

Ensayo de permeabilidad

En relación con los 167 días transcurridos de los tramos ensayados, hemos podido observar que la carpeta de rodadura presenta variaciones en la porosidad conectada y en la capacidad de infiltración, asociadas al envejecimiento del ligante asfáltico, a la compactación adicional por efectos de carga y al posible ingreso de finos al sistema de vacíos.

TABLA XXXII
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE ALMIRANTE-A5 (167 DÍAS)

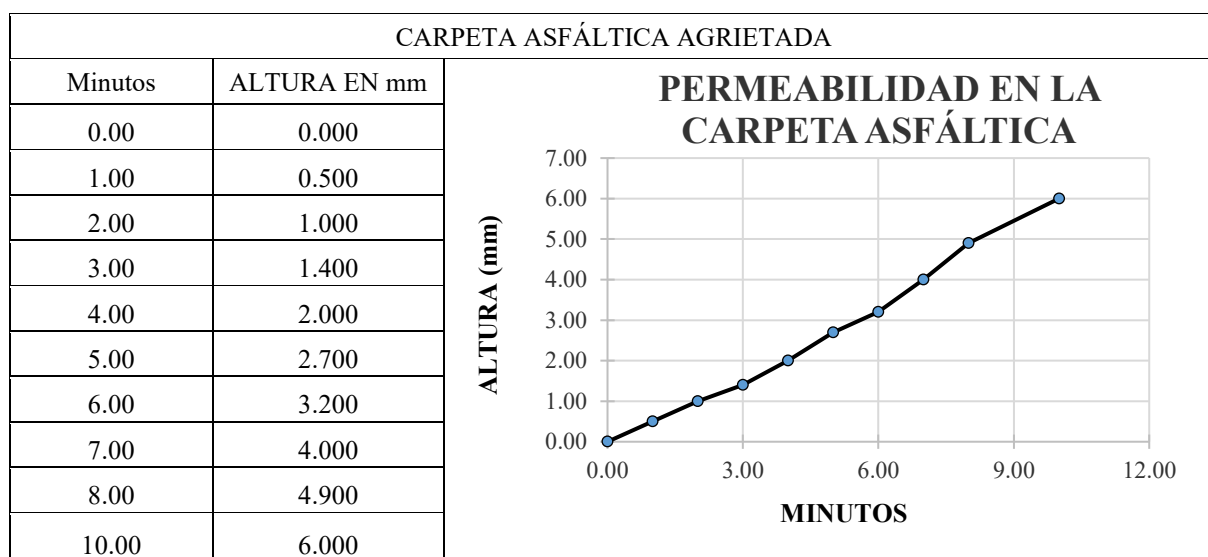


TABLA XXXIII
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE CALLAO – A7 (167 DÍAS)

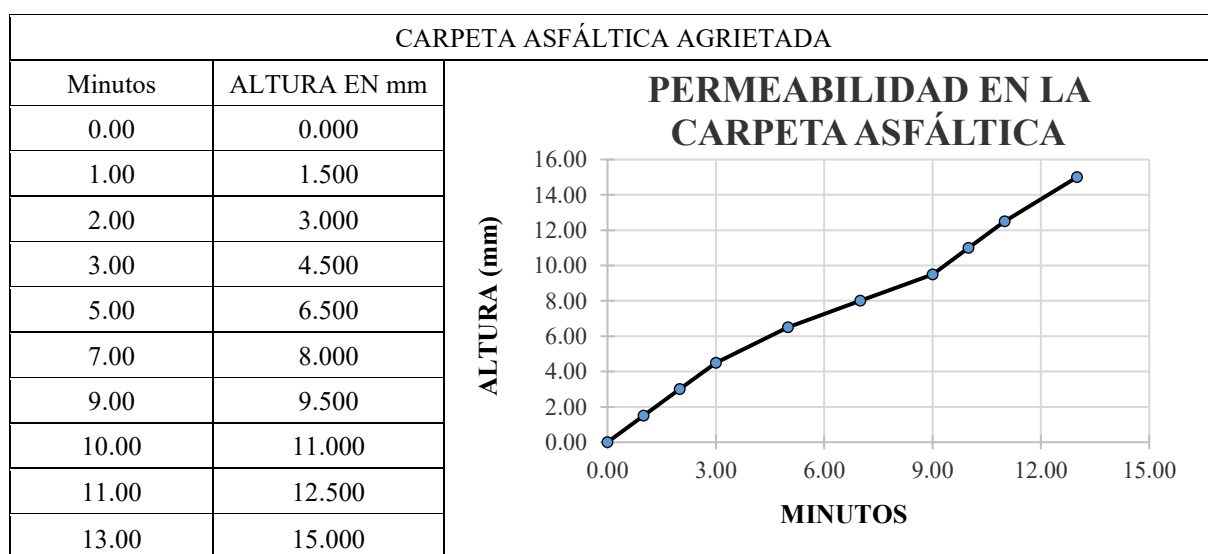


TABLA XXXIV
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE LOS SAUCES
- A9 (167 DÍAS)

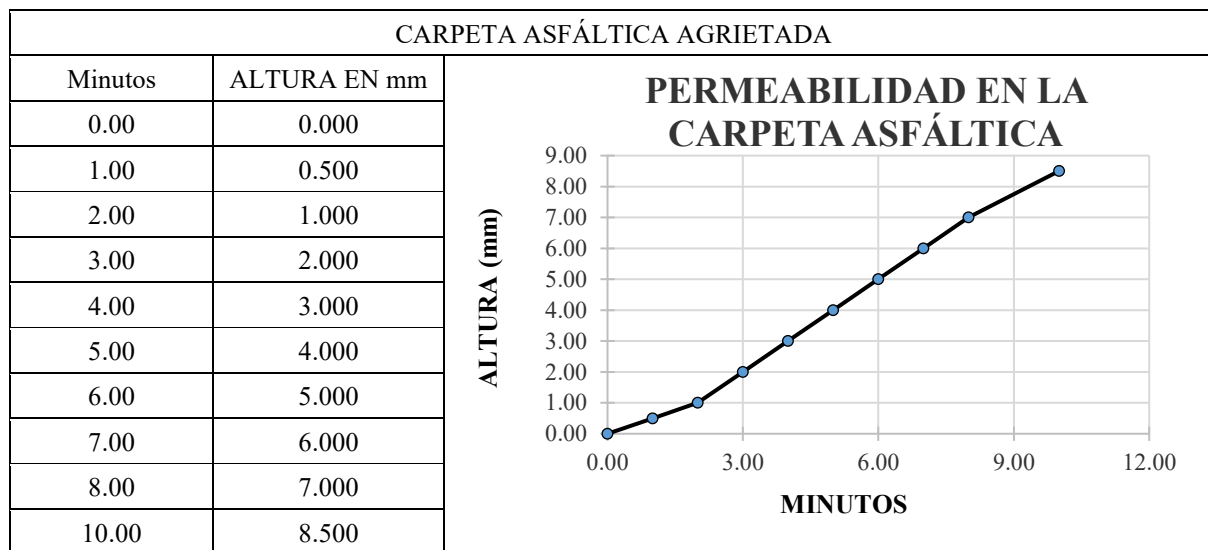


TABLA XXXV
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE
MARGARITAS - A13 (167 DÍAS)

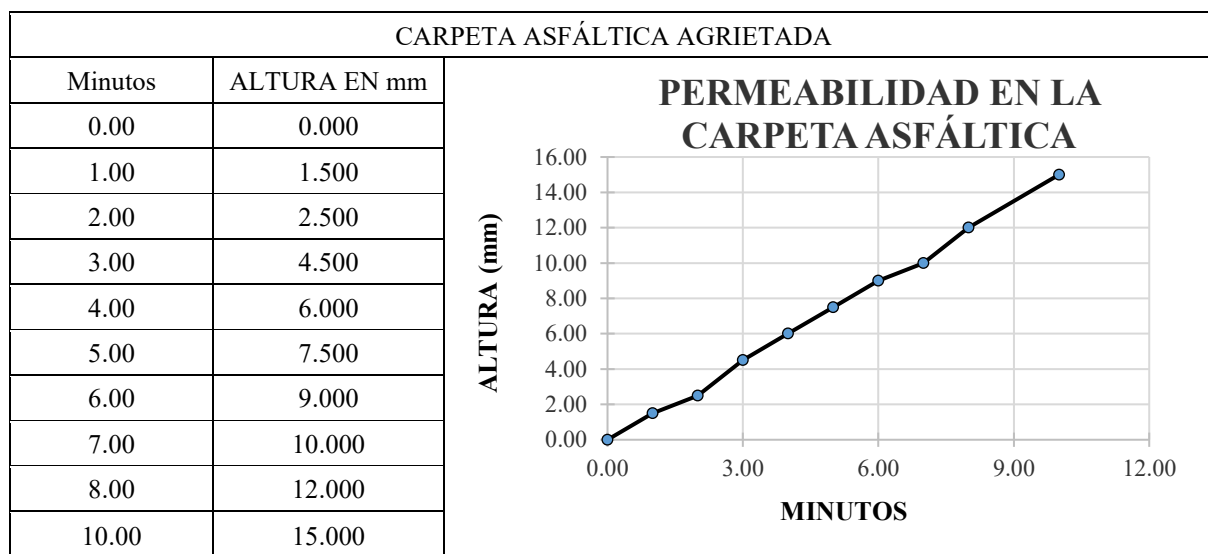


TABLA XXXVI
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE 7 DE ENERO
– A17 (167 DÍAS)

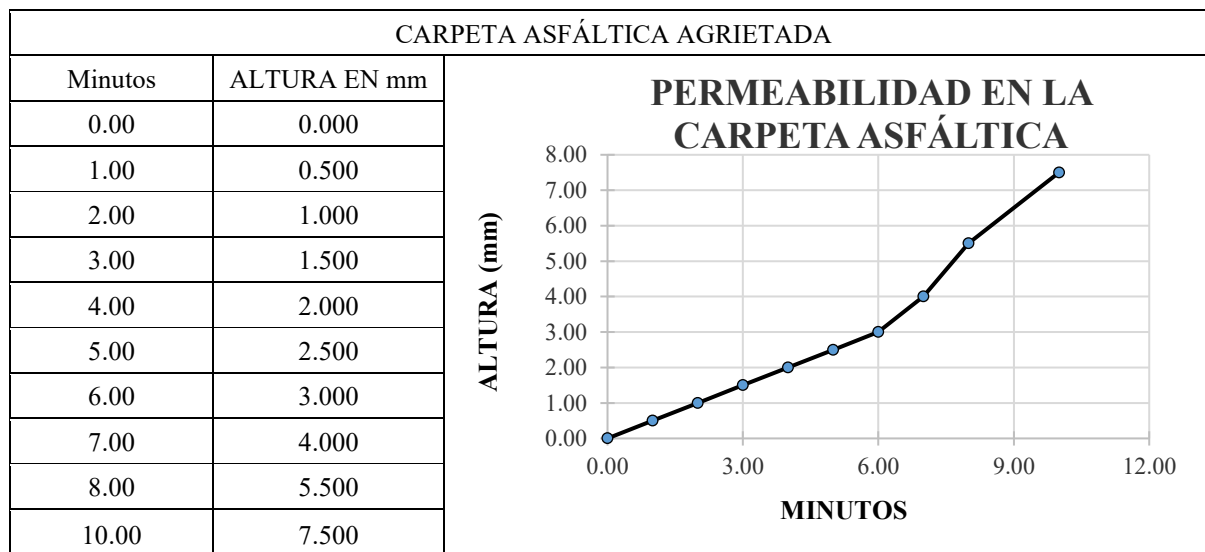
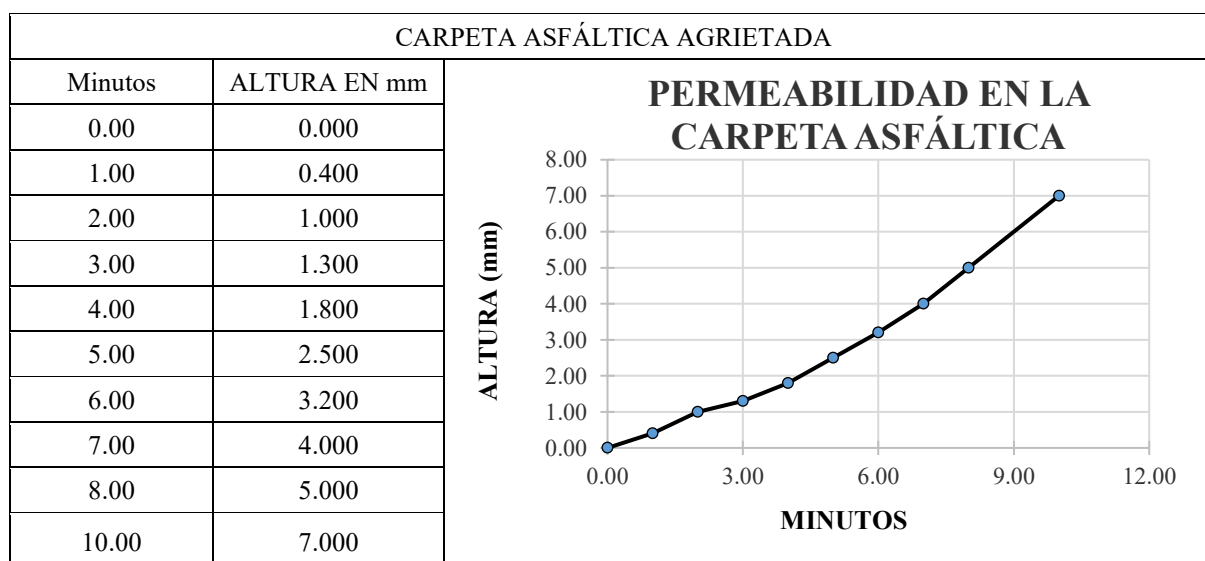


TABLA XXXVII
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA CALLE CRISTÓBAL-
A19 (167 DÍAS)



Los resultados obtenidos evidenciaron un aumento en el coeficiente de permeabilidad respecto al valor inicial, lo cual sugiere un aumento progresivo de la conectividad de los poros. Este comportamiento es coherente con la evolución típica de mezclas densas en caliente sometidas a condiciones reales de servicio, donde la permeabilidad tiende a aumentar, afectando significativamente la estructura, ya que la patología se expande en gran magnitud sobre todo el pavimento.

Discusión

Se han planteado la discusión de acuerdo con los resultados obtenidos durante la evaluación de la porosidad en las carpetas asfálticas, para realizar una comparativa correspondiente entre estudios parecidos con la investigación desarrollada:

Nivel de severidad y extensión de la patología piel de cocodrilo

- Los resultados del Nivel de severidad y extensión de la patología de piel de cocodrilo se encuentran en el rango normado de (1mm – 5mm). De acuerdo con lo realizado en el ensayo de manera in situ, obtuvimos que las calles Callao y Abtao son las más afectadas con esta patología, ya que tienen el grado de severidad más alto con un valor de 5 y 5.2 mm respectivamente. Mientras que las demás calles se conservan en un intervalo de (3.5 mm – 4.5 mm). Esto se debería a las diferencias de su diseño estructural o déficit en su nivel de porosidad.

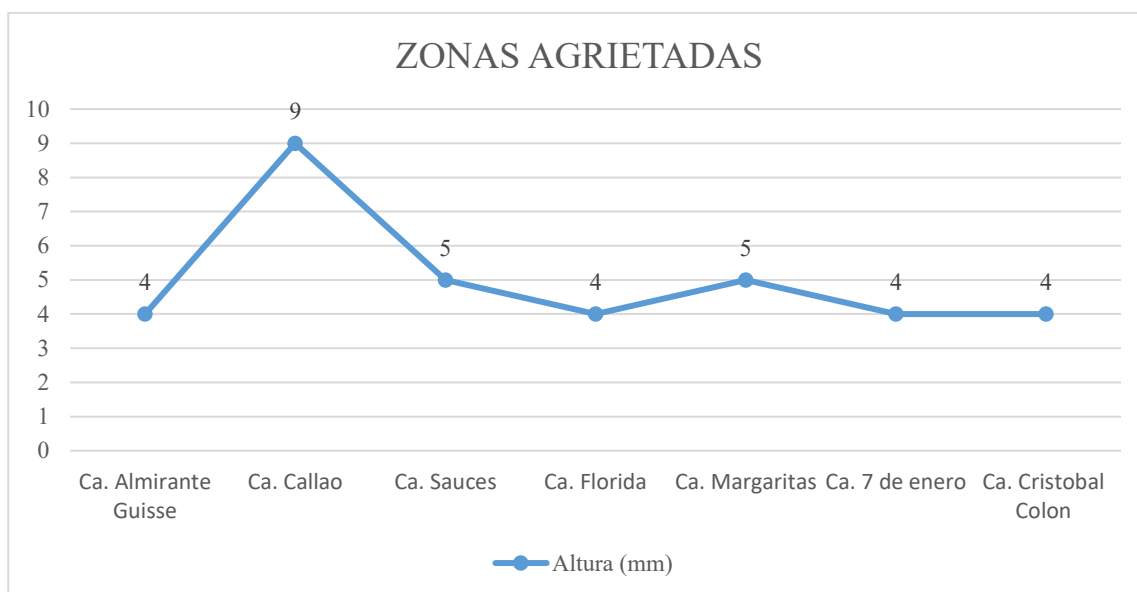
Liu et al.[13], en su investigación obtuvieron 2211 imágenes de tamaño 640 × 480 píxeles, de las cuales 463 imágenes (20,94 %) corresponden a superficies sin grietas y 1748 imágenes (79,06 %) presentan algún nivel de agrietamiento. Dentro de las categorías con grietas, la distribución es relativamente equilibrada: 573 imágenes (25,91 %) para grietas de baja severidad, 591 imágenes (26,72 %) para grietas medianas y 584 imágenes (26,41 %) para grietas de alta severidad. Esto quiere decir que mientras que exista una detección temprana del daño se evitaría el deterioro estructural del pavimento.

Ensayo de permeabilidad

- Los resultados de permeabilidad se sitúan dentro del rango de 4 – 9 mm por la normativa MTC E 516. En la calle Callao, este valor es de 9 mm, mientras que en la calle Almirante Guisse, calle florida, calle 7 de enero y calle Cristóbal Colon tienen un valor de 4mm, lo que representa una diferencia de 5 mm a lo que compete en las zonas agrietadas. Por otro lado para los que se ubican en áreas no agrietadas tienen un valor mínimo y máximo de 2 y 3 mm respectivamente. Por lo que esta disminución indica una menor permeabilidad en la carpeta asfáltica, la cual da podría ser tratada a tiempo sin lograr que se expanda la patología en su totalidad.

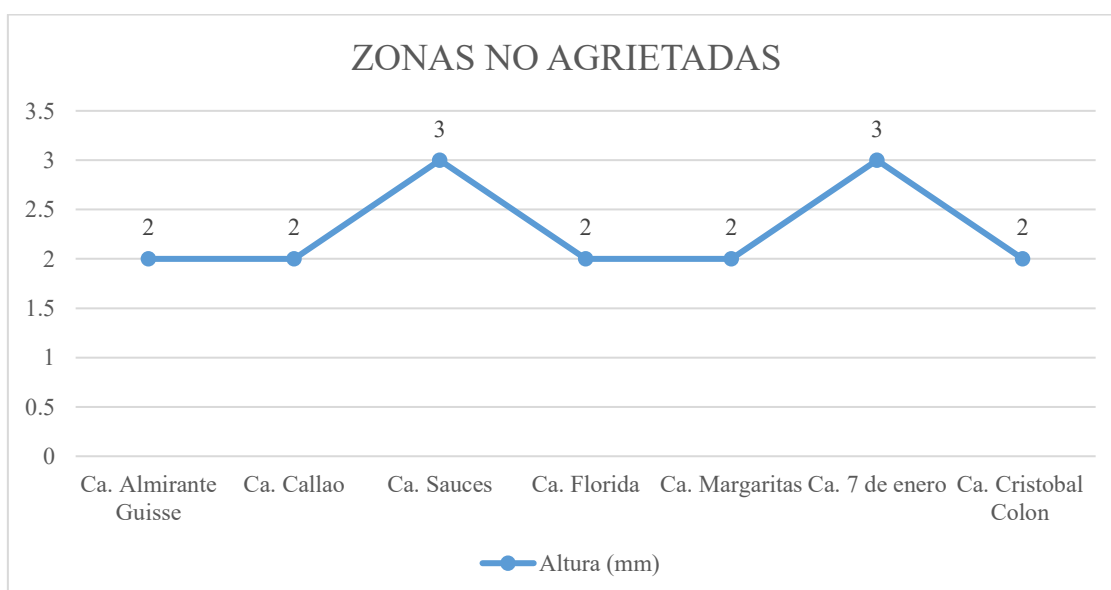
Giuliani et al. [12], en su investigación en el ensayo de permeabilidad obtuvo una valor promedio de las muestras analizadas fue de 6,25 %, mientras que los tramos que presentaron

mayor incidencia de fisuras tipo piel de cocodrilo alcanzaron porosidades superiores al 8 %. Este dato indica que los valores >7 % comprometen significativamente el desempeño del pavimento.



Gráfica 1 Comparativa de los resultados del ensayo de Permeabilidad en zonas agrietadas.

Xin Sui et al. [8], en su investigación demostraron que los pavimentos ensayados presentan una obstrucción del 15% al 25% , evidenciando que cuando el contenido de porosidad se satura, el coeficiente de permeabilidad se reduce en un 30 % a más, incrementando la retención de humedad interna y acelerando la aparición de la patología piel de cocodrilo.



Gráfica 2 Comparativa de los resultados del ensayo de Permeabilidad en zonas no agrietadas.

Ensayo de porcentaje de vacíos

- En el ensayo de porcentaje de vacíos en la norma del ASTM D3203 nos indica que el parámetro de valores permitidos para el diseño de un pavimento debe tener un valor menor al 10%. Los resultados evidenciaron que las zonas agrietadas presentaron porcentajes de vacíos superiores al 13.5% en algunos casos llegando hasta niveles críticos por encima del 17%, mientras que las zonas no agrietadas se mantuvieron por debajo del 12%, lo cual se interpreta como un gran riesgo de infiltración de agua y deterioro acelerado.

Hu et al. [14], el contenido de vacíos de esta investigación tiene un valor 30.2% en áreas de carga y de 1.7% en zonas no cargadas, mientras que en una proyección de 20 años de servicio, el contenido de vacíos se reduce en un valor de 20.4%. Por lo que es recomendable realizar una evolución prevista de la porosidad para prever daños al diseño realizado.

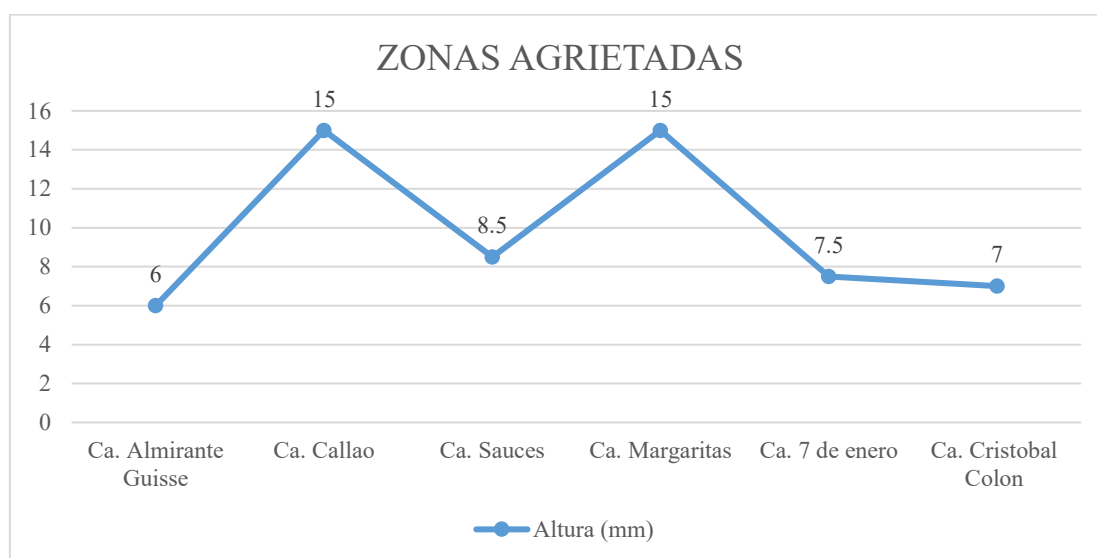
Nivel de severidad y extensión de la patología piel de cocodrilo – 167 días

- Tras haber analizado el grado de severidad en relación con la patología piel de cocodrilo después 167 días, se observa que la gran mayoría de calles inspeccionadas dan como resultado una severidad clase alta, con ancho de grietas que superan los 6.0 mm. En ese sentido, se puede confirmar que la calle Santa Rosa (8 mm), calle Los Sauces (6.5 mm), calle Margaritas (7.0 mm) y Av. Manuel Arteaga (7.5mm) presentan un deterioro tipo Alto (H), lo cual no solo indica una pérdida de capacidad estructural, sino también una posible falla por infiltración de agua. Caso contrario a la calle La Florida que presenta un valor de ancho de grieta de 9.0 mm, el cual representa el caso más crítico de estudio, superando en más de un 50% el límite permitido de severidad alta. Asimismo, el hecho de haber realizado la segunda inspección nos permite inferir que el daño ha evolucionado en el tiempo, lo que refuerza la necesidad de implementar medidas preventivas eficientes y conservativas.

Liu et al. [13], asimismo los resultados obtenidos en la evaluación de campo coinciden con la evidencia experimental registrada en la investigación citada, cuyos resultados de su sistema automatizado recopilaron un total de 2211 imágenes, de las cuales 20.94% presenta una severidad baja mientras que el 79.06% presenta una severidad alta y media del tipo piel de cocodrilo. Además, se demostró que mediante la aplicación de estas tecnologías alcanzan una precisión superior al 99%, mejorando así la eficiencia del diagnóstico vial preventivo.

Ensayo de permeabilidad – 167 días

- Los resultados del segundo ensayo de permeabilidad, efectuado 167 días después del primero, muestran un deterioro en el comportamiento hidráulico de la carpeta de rodadura evaluada, evidenciando el aumento de altura máxima. De acuerdo con los datos recopilados las calles Callao y Margaritas tienen una altura de 15 mm durante un periodo de 13 y 10 minutos respectivamente, mientras que la calle Alm. Guisse presenta una altura de 6 mm en el transcurso de 10 minutos. Estos resultados evidencian un aumento de daño realmente considerable en el desempeño estructural de pavimento, ocasionando que la patología piel de cocodrilo se propague y desgaste en su totalidad la estructura.



Gráfica 3 Comparativa de los resultados del ensayo de Permeabilidad en zonas agrietadas pasado a los 167 días.

Cabe resaltar que, de acuerdo con la normativa **MTC-DG-2018**, la permeabilidad excesiva y el ingreso de agua a las capas inferiores son factores críticos que justifican la necesidad de plantear intervenciones correctivas de tipo estructural. Por lo tanto, los valores registrados no solo corroboran la presencia del daño, sino que también ayudan a comprobar la relación existente entre la permeabilidad y el porcentaje de vacíos en cuanto al nivel de porosidad de la carpeta asfáltica frente a la presencia de la patología piel de cocodrilo.

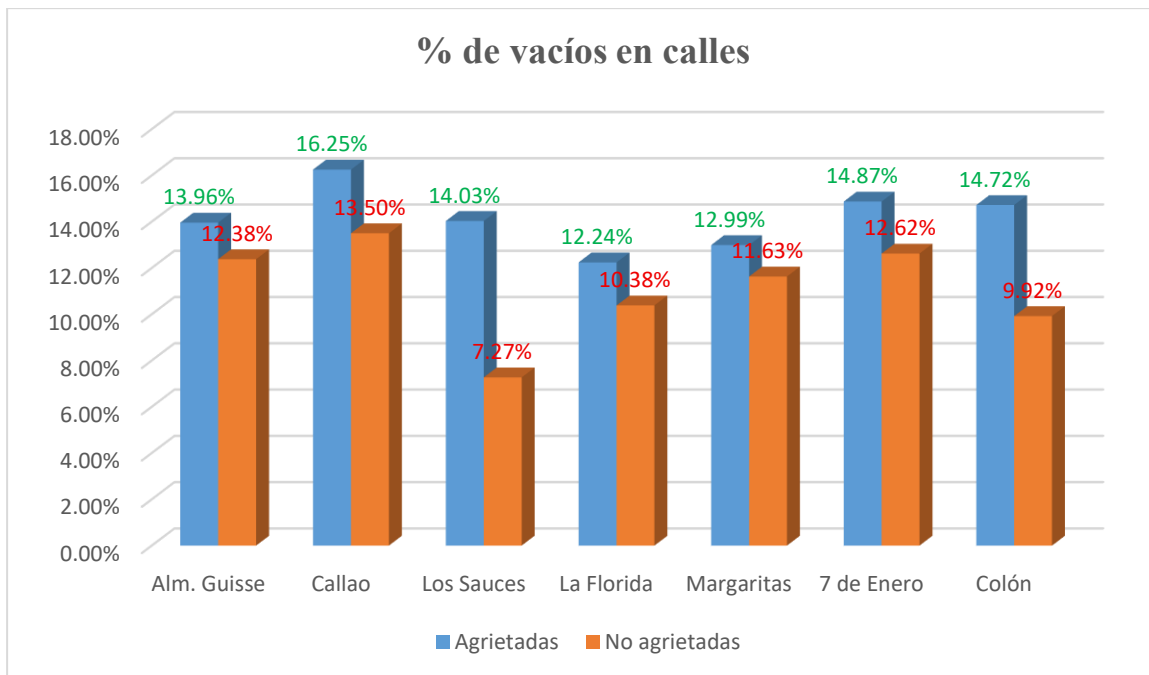
Evaluación de permeabilidad – porcentaje de vacíos

La permeabilidad en el pavimento al porcentaje de vacíos y la evaluación de la influencia en el nivel de porosidad se han complementado significativamente en la propagación de la patología piel de cocodrilo. De esta manera, tanto la velocidad de permeabilidad como el porcentaje de vacíos para un segmento de carpeta asfáltica dado que sus valores se relacionan significativamente como muestra en la **TABLA XXXVIII**. Esta evaluación de dimensión patológica y propiedad de la porosidad es prometedora para ser utilizada como una herramienta preventiva del mantenimiento del pavimento, especialmente para las vías más transitables. Por ejemplo, el segmento de pavimentado estipulado como Calle Callao (Agrietada) donde se obtuvo el máximo valor de daño de la piel de cocodrilo indicando la necesidad de reconstrucción, mientras que la Calle Callao y la Florida (No agrietada) presenta un caso totalmente opuesto, pese a que se encuentra en la misma dirección del daño esta zona aún no ha sido afectada moderadamente pudiéndose tomar la decisión de una rehabilitación antes de alcanzar el daño de la patología. Por lo tanto, se recalca el estudio en relación con ambos factores cruciales para asegurar la vida útil del pavimento.

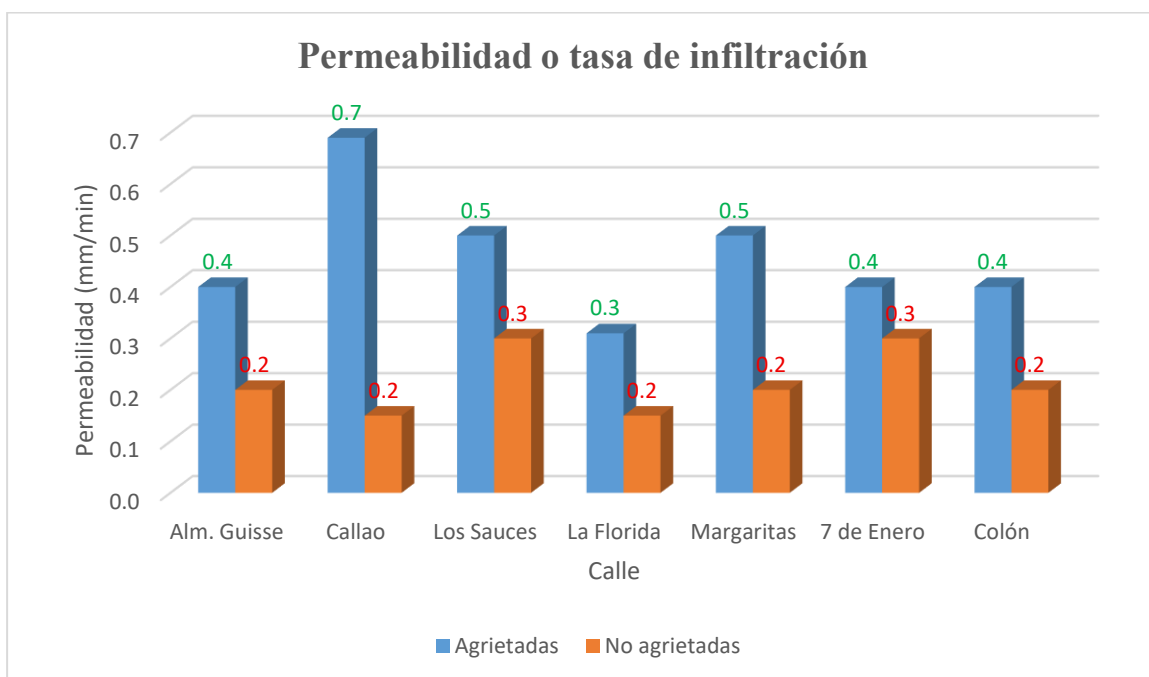
TABLA XXXVIII

CUADRO RESUMEN SOBRE LA INFLUENCIA DE LA POROSIDAD Y PATOLOGÍA PIEL DE COCODRILO

CUADRO RESUMEN DE LA INFLUENCIA DEL NIVEL DE POROSIDAD ATRAVES DE SU PORCENTAJE DE VACIOS Y PERMEABILIDAD				
	Permeabilidad		Porcentaje de vacíos	
CALLE O AVENIDA	ZONAS AGRIETADAS	ZONAS NO AGRIETADAS	ZONAS AGRIETADAS	ZONAS NO AGRIETADAS
Calle Almirante Guisse	0.4 mm/min.	0.2 mm/min.	13.96%	12.38%
Calle Callao	0.69 mm/min.	0.15 mm/min.	16.25%	13.50%
Calle Los Sauces	0.5 mm/min.	0.3 mm/min.	14.03%	7.27%
Calle La Florida	0.31 mm/min.	0.15 mm/min.	12.24%	10.38%
Calle Margaritas	0.5 mm/min.	0.2 mm/min.	12.99%	11.63%
Calle 7 de enero sur	0.4 mm/min.	0.3 mm/min.	14.87%	12.62%
Calle Cristóbal Colón	0.4 mm/min.	0.2 mm/min.	14.72%	9.92%



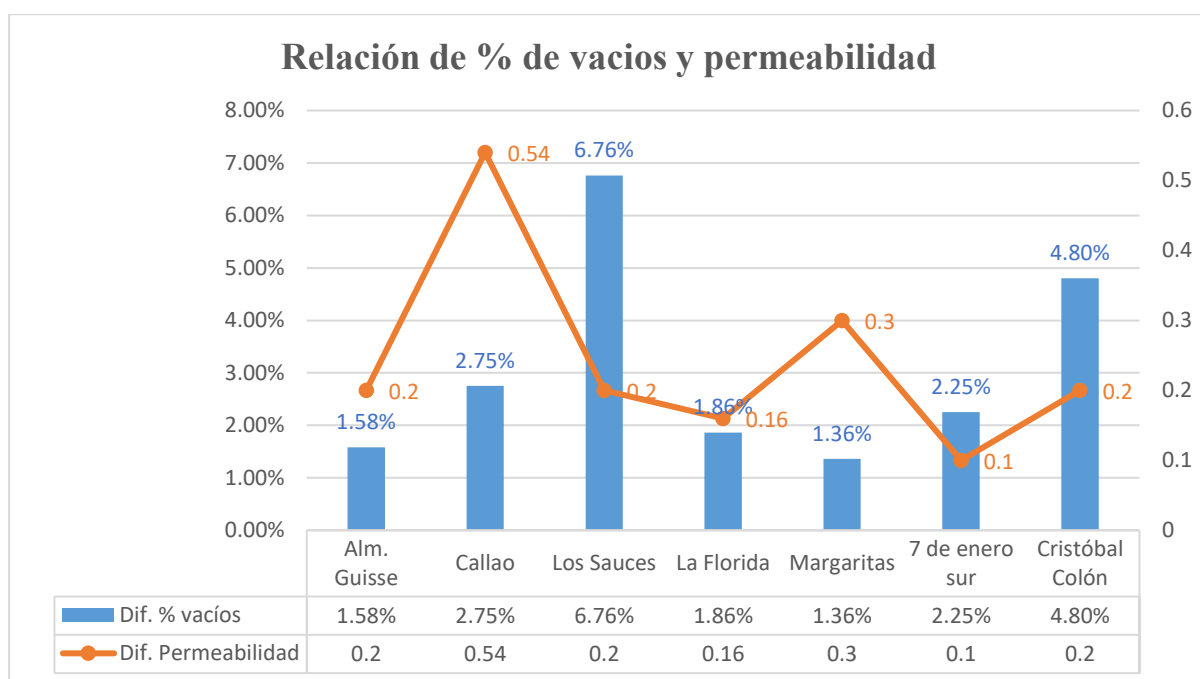
Gráfica 4 Porcentaje de vacíos en calles para áreas agrietadas y no agrietadas.



Gráfica 5 Permeabilidad presente en las calles en ubicaciones con sección de agrietamiento y no agrietamiento.

TABLA XXXIX
CUADRO DE DIFERENCIAS DEL PORCENTAJE DE VACÍOS Y
PERMEABILIDAD

CALLE O AVENIDA	% DE VACIOS			PERMEABILIDAD (mm/min)		
	Agr.	No Agr.	Diferencia	Agr.	No Agr.	Diferencia
Almirante Guisse	13.96%	12.38%	1.58%	0.40	0.20	0.20
Callao	16.25%	13.50%	2.75%	0.69	0.15	0.54
Los Sauces	14.03%	7.27%	6.76%	0.50	0.30	0.20
La Florida	12.24%	10.38%	1.86%	0.31	0.15	0.16
Margaritas	12.99%	11.63%	1.36%	0.50	0.20	0.30
7 de enero sur	14.87%	12.62%	2.25%	0.40	0.30	0.10
Cristóbal Colón	14.72%	9.92%	4.80%	0.40	0.20	0.20



Gráfica 6 Datos de diferencias % de vacíos y permeabilidad en calles evaluadas.

Podemos deducir que de acuerdo con los datos analizados si existe una relación frecuente en el nivel de porosidad con la patología piel de cocodrilo, donde el porcentaje de vacíos favorece inicialmente la infiltración del agua en la carpeta asfáltica de una manera progresiva determinando la aparición de ella misma.

Incorporación de la estadística mediante el programa IBM SPSS Statistics

Tipo de Correlación Bivariada Pearson

TABLA XL

CORRELACIÓN CON EL PROGRAMA IBM SPSS

		Correlaciones	
		Grado de Severidad	% de vacíos en zona agrietada
Grado de Severidad	Correlación de Pearson	1	,965*
	Sig. (bilateral)		,000
	N	7	7
% de vacíos en zona agrietada	Correlación de Pearson	,965**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	7	7

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Interpretación del Coeficiente "r" de Pearson	
r	Grado de Correlación
-1.00	Correlación negativa perfecta
-0.90	Correlación negativa muy fuerte
-0.75	Correlación negativa considerable
-0.50	Correlación negativa media
-0.25	Correlación negativa débil
-0.10	Correlación negativa muy débil
0.00	No existe correlación alguna entre las variables
0.10	Correlación positiva muy débil
0.25	Correlación positiva débil
0.50	Correlación positiva media
0.75	Correlación positiva considerable
0.90	Correlación positiva muy fuerte
1.00	Correlación positiva perfecta

Gráfica 7 Grado de correlación del coeficiente r de Pearson[46].

- El valor de la correlación de Pearson es de 0.965, este se encuentra en un grado de correlación muy significativa. Por lo que se puede afirmar con un 99% de confianza, que en el ámbito de estudio existe una correlación positiva perfecta entre el grado de severidad y el % de vacíos en una zona agrietada, debido a que el valor de sig. (bilateral) es de 0.000, encontrándose por debajo del 0.01 requerido.

Conclusiones

En esta tesis, se explora la influencia del nivel de porosidad ante la propagación de la patología piel de cocodrilo en vías muy transitables, centrándome en los factores que deterioran significativamente la estructura y que resultan de gran aporte para la prevención de daño durante el diseño o mantenimiento previo. La investigación muestra que los resultados son directamente proporcionales pues a un mayor nivel de porosidad brindará un mayor agrietamiento de la misma patología, de modo que si esto es analizado a tiempo se pueden limitar daños y crear herramientas que se centren en dar prioridad a estos factores.

Identificándose así, que la mayoría de las vías estudiadas presentaron un nivel de severidad media, con anchos de grieta entre 3.0 mm y 4.5 mm, siendo las calles las áreas más afectadas en comparación con las avenidas. Esta severidad se asocia a un patrón de fisuras interconectadas que compromete la funcionalidad estructural de la carpeta asfáltica, confirmando una alta vulnerabilidad en zonas de tráfico urbano intenso.

También comparamos los resultados del ensayo de permeabilidad para los 14 segmentos de pavimentos, se pudo observar que las zonas agrietadas presentaron coeficientes de infiltración significativamente superiores, con alturas de agua que alcanzaron hasta 0.4, 0.5 y 0.69 mm/min, en contraste con valores de los parámetros permitidos. El análisis similar para los pavimentos no agrietados mostro un valor de 0.15, 0.2 y 0.3 mm/min en la tasa de filtración de agua. Estos resultados muestran que una alta permeabilidad favorece la infiltración de agua, debilita la estructura interna y acelera la aparición de agrietamientos.

El análisis de núcleos extraídos mostró que el mayor número de calles con áreas agrietadas presentaron porcentajes de vacíos superiores al 13.5%, indicando un efecto negativo ante la aparición de la piel de cocodrilo en la carpeta asfáltica. Esto debido al tiempo de diseño en el cual se ve afectado su durabilidad y resistencia, por lo que se vuelven vulnerables a infiltraciones excesivas y desprendimiento de sus elementos por bloques.

Los niveles de porosidad de las secciones no agrietadas adyacentes a zonas fisuradas presentaron niveles moderados dentro de rangos inferiores al 12%, sin alcanzar valores críticos que pudieran comprometer la impermeabilidad obtenida del 2 mm/min. Es decir, que la compactación adecuada y un control óptimo de vacíos son factores determinantes para preservar la durabilidad de la carpeta asfáltica. Comprobándose así que un elevado contenido de vacíos incrementa la permeabilidad y propicia la degradación por fatiga del pavimento.

Según el análisis comparativo realizado, se evidenció una correlación directa entre altos valores de vacíos y permeabilidad con la presencia de la patología piel de cocodrilo. En contraste, los pavimentos con menor porcentaje de vacíos mostraron una mejor resistencia al agrietamiento, ratificando la hipótesis de que el control de la porosidad mediante diseño y compactación es esencial para garantizar la longevidad del pavimento.

Recomendaciones

Es recomendable comprender de manera directa la relación que existe entre el nivel porosidad y la patología piel de cocodrilo, ya que la conectividad de vacíos influye directamente en la capacidad de infiltración del agua hacia las capas inferiores del pavimento. Esta combinación de variables aportaría evidencia adicional sobre la relación entre porosidad efectiva y deterioro estructural progresivo, lo cual es particularmente relevante en zonas donde la exposición a humedad es un factor recurrente en el proceso de degradación de la carpeta asfáltica.

Dado el comportamiento progresivo de la fisuración por fatiga en pavimentos flexibles, se recomienda desarrollar estudios longitudinales que permitan observar la evolución de la porosidad y el deterioro estructural en intervalos de tiempo definidos. Esta estrategia facilitará identificar el momento crítico en que la porosidad comienza a generar daños significativos y servirá como base para proponer técnicas de intervención preventiva.

Asimismo, en relación con la recolección de datos obtenidas se sugiere emplear métodos alternativos para determinar de manera más precisa el índice de porosidad, como la tomografía por rayos X que fue de gran ayuda como antecedente de estudio para darle veracidad a este proyecto.

Finalmente, se propone promover líneas de investigación enfocadas en el diseño y optimización de las mezclas asfálticas con menor susceptibilidad a la formación de vacíos interconectados. En particular, se deben analizar los efectos del tipo de agregado, la gradación granulométrica y el contenido de ligante asfáltico sobre la porosidad resultante, a fin de mejorar la durabilidad del pavimento.

Referencias

- [1] Y. Li, H. Ding, Y. Nie, y S. A. M. Hesp, «Effective control of flexible asphalt pavement cracking through quality assurance testing of extracted and recovered binders», *Constr. Build. Mater.*, vol. 273, p. 121769, mar. 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.121769.
- [2] C. A. C. Nuñez, V. V. Dobes, N. V. Flores, y J. P. R. Romero, «MODELO DE INSPECCIÓN DE PATOLOGÍAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA LA OBTENCIÓN DEL ÍNDICE DE DETERIORO. CASO ESTUDIO: FOZ DO IGUAÇU (BRASIL) – ACACÍAS (COLÔMBIA).», en *RAPv. Reunião Anual de Pavimentação*, Foz do Iguaçu: Even3, 2023, pp. 1378-1390. doi: 10.29327/1304307.48-114.
- [3] S. B. *et al.*, «Development of sustainable alternative materials for the construction of green buildings using agricultural residues: A review», *Constr. Build. Mater.*, vol. 368, p. 130457, mar. 2023, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.130457.
- [4] M. Rodríguez Moreno, G. Theboux Zeballos, y A. González Vaccarezza, «Evaluación probabilística del agrietamiento de pavimentos asfálticos en carreteras de Chile», *Rev. Constr.*, vol. 12, n.º 2, pp. 152-165, nov. 2013, doi: 10.4067/S0718-915X2013000200012.
- [5] MTC, «MANUAL DE CARRETERAS SUELOS GEOLOGÍA, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS», en *SECCION SUELOS Y PAVIMENTOS*, LIMA, 2014.
- [6] P. Zangooinia, D. Moazami, M. P. Bilondi, y M. Zaresefat, «Improvement of pavement engineering properties with calcium carbide residue (CCR) as filler in Stone Mastic Asphalt», *Results Eng.*, vol. 20, p. 101501, dic. 2023, doi: 10.1016/j.rineng.2023.101501.
- [7] L. Liu, C. Wang, Z. Zuo, H. Yuan, J. Lu, y Q. Chen, «Asphalt pavement heat insulation bonding layer materials: Composition optimization and engineering application», *J. Clean. Prod.*, vol. 449, p. 141727, abr. 2024, doi: 10.1016/j.jclepro.2024.141727.
- [8] X. Sui, S. Wang, Z. Leng, B. Yang, y G. Lu, «Clogging evaluation of porous asphalt pavement using ground-penetrating radar», *Measurement*, vol. 216, p. 112939, jul. 2023, doi: 10.1016/j.measurement.2023.112939.
- [9] C. J. Slebi-Acevedo, P. Lastra-González, I. Indacoechea-Vega, y D. Castro-Fresno, «Development of improved porous asphalt mixtures with high porosity levels», *Dev. Built Environ.*, vol. 16, p. 100286, dic. 2023, doi: 10.1016/j.dibe.2023.100286.
- [10] J. Yu *et al.*, «Investigation of cracking resistance of cold asphalt mixture designed for ultra-thin asphalt layer», *Constr. Build. Mater.*, vol. 414, p. 134941, feb. 2024, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.134941.

- [11] L. Xu, H. Ni, Y. Tian, D. Sun, Z. Chen, y H. Jin, «Multi-scale analysis of damping characteristics of dry mixed rubberized porous asphalt mixtures for tire-pavement noise reduction», *J. Clean. Prod.*, vol. 425, p. 138969, nov. 2023, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.138969.
- [12] F. Giuliani, D. Petrolo, L. Chiapponi, A. Zanini, y S. Longo, «Advancement in measuring the hydraulic conductivity of porous asphalt pavements», *Constr. Build. Mater.*, vol. 300, p. 124110, sep. 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.124110.
- [13] F. Liu, J. Liu, y L. Wang, «Asphalt pavement fatigue crack severity classification by infrared thermography and deep learning», *Autom. Constr.*, vol. 143, p. 104575, nov. 2022, doi: 10.1016/j.autcon.2022.104575.
- [14] J. Hu, T. Ma, K. Ma, y J. Xu, «Three-dimensional discrete element simulation on degradation of air voids in double-layer porous asphalt pavement under traffic loading», *Constr. Build. Mater.*, vol. 313, p. 125570, dic. 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.125570.
- [15] N. Ce, «SUB-TÍTULO II.2 COMPONENTES ESTRUCTURALES».
- [16] L. Bañón y J. F. Beviá García, *Manual de carreteras. Volumen II: construcción y mantenimiento*. Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A., 2000. Accedido: 4 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/1787>
- [17] M. I. Z. Meza y E. T. Piusseaut, «Materiales granulares tratados con emulsión asfáltica para su empleo en bases o subbases de pavimentos flexibles.», *Rev. Arquít. E Ing.*, vol. 13, n.º 3, pp. 1-11, 2019.
- [18] Alfonso Montejo Fonseca, *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras Tomo I*, Segunda edición. Colombia: Stella Valbuena de Fierro, 2002.
- [19] P. G. Anguas, M. F. Flores, J. A. G. López, y H. D. Alamilla, «CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS».
- [20] *MC-01-13 Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013*.
- [21] H. A. Rondón Quintana y F. A. Reyes Lizcano, *Pavimentos Materiales, construcción y diseño*, Segunda. Ecoe Ediciones S.A.S. [En línea]. Disponible en: <https://www.ecoediciones.com/wp-content/uploads/2022/05/Pavimentos-materiales-construccion-y-diseno-contenido.pdf?srsIid=AfmBOorGqgzWTKN8NjuRci2NuyDdVY2-PrGPVbjwMF9L53n1f6rf7bES>
- [22] «(PDF) Guía AASHTO 93 version en español», *dokumen.tips*. Accedido: 4 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://dokumen.tips/documents/guia-aashto-93-version-en-espanol.html>

- [23] A. Rico Rodríguez, R. Téllez Gutiérrez, y P. Garnica Anguas, *PAVIMENTOS FLEXIBLES. PROBLEMÁTICA, METODOLOGÍAS DE DISEÑO Y TENDENCIAS*. Sanfandila, 1998.
- [24] CONSEJO DE DIRECTORES DE CARRETERAS DE IBERIA E IBEROAMÉRICA, «M5.1. CATÁLOGO DE DETERIOROS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES».
- [25] A. Kia, «Freeze-thaw durability of air-entrained high-strength clogging resistant permeable pavements», *Constr. Build. Mater.*, 2023.
- [26] B. E. Oblitas-Gastelo, I. I. Medina-Cardozo, C. R. Paredes-Asalde, B. E. Oblitas-Gastelo, I. I. Medina-Cardozo, y C. R. Paredes-Asalde, «Índice de regularidad internacional e índice de condición de pavimento para definir niveles de serviciabilidad de pavimentos», *Iteckne*, vol. 18, n.º 2, pp. 170-175, dic. 2021, doi: 10.15332/iteckne.v18i2.2616.
- [27] G. Valdés, F. Pérez-Jiménez, y A. Martínez, «Influencia de la temperatura y tipo de mezcla asfáltica en el comportamiento a fatiga de los pavimentos flexibles», *Rev. Constr.*, vol. 11, n.º 1, pp. 87-100, abr. 2012, doi: 10.4067/S0718-915X2012000100009.
- [28] «Manual pci-astm-d-6433-pdf», SlideShare. Accedido: 24 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/slideshow/manual-pciastmd6433pdf/249912851>
- [29] L. R. VÁSQUEZ VARELA, «PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI) PARA PAVIMENTOS ASFÁLTICOS Y DE CONCRETO EN CARRETERAS». ingepav, 2002.
- [30] P. de Cocodrilo, «ESTUDIO DE MANTENIMIENTO PERIÓDICO DE LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE. TRAMO II: (KM 736+600 - KM 886+600)».
- [31] J. B. S. Canela, «CATÁLOGO DE FALLAS».
- [32] L. Bañón y J. F. Beviá García, *Manual de carreteras. Volumen I: elementos y proyecto*. Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A., 2000. Accedido: 4 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/1788>
- [33] C. Effting, O. E. Alarcon, y S. Güths, «INFLUENCIA DE LA POROSIDAD EN LAS PROPIEDADES TÉRMICAS DE LOS PAVIMENTOS CERÁMICOS».
- [34] admin, «El interesante ‘Asfalto Poroso o Drenante’ que trae la nueva generación de carreteras», Publimotos. Accedido: 26 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://publimotos.com/actualidad/mundo/las-grandes-utilidades-del-asfalto-poroso-o-drenante-que-trae-la-nueva-generacion-de-calles/>
- [35] J. Perfetti y T. Sangster, «The use of a textile-based system to control pavement cracking», *Geotext. Geomembr.*, vol. 7, n.º 3, pp. 165-178, ene. 1988, doi: 10.1016/0266-1144(88)90007-6.

- [36] U. M. T. Equipment, «Máquina Extractora de Núcleos - Extrudir de Núcleos», Utest Material Testing Equipment. Accedido: 26 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.utest.com.tr/es/26058/M-quina-Extractora-de-N-cleos>
- [37] SERVIU METROPOLITANO, «CAP. N° 1 DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS».
- [38] W. Liu, R. Luo, M. Xiao, y Y. Chen, «Intelligent detection of hidden distresses in asphalt pavement based on GPR and deep learning algorithm», *Constr. Build. Mater.*, vol. 416, p. 135089, feb. 2024, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.135089.
- [39] «Tecnología», ImpulseRadar. Accedido: 26 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://impulseradargpr.com/es/technology/>
- [40] paradacreativa, «Termografía infrarroja: su uso en el diagnóstico de edificios 🏠», IPE Control. Accedido: 26 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ipecontrol.com/termografia-infrarroja-su-uso-en-el-diagnostico-de-edificios/>
- [41] LABICSA, Laboratorio, Investigación y Construcción, *Evaluación de permeabilidad en pavimento flexible*, (3 de febrero de 2022). Accedido: 26 de noviembre de 2024. [En línea Video]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=U36OSXASqE>
- [42] LTCM Constru, *PERMEABILIDAD – PRUEBA EN CAMPO Y EXTRACCIÓN DE NUCLEOS DE ASFALTO || LTCMLAB*, (18 de enero de 2021). Accedido: 26 de noviembre de 2024. [En línea Video]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=0duRZMIIFKM>
- [43] Y. Ayala Del Toro, P. Garnica Anguas, y H. Delgado Alamilla, «Efecto de la Temperatura en la Evaluación de la Fatiga en Ligantes Asfálticos», *Infraestruct. Vial*, vol. 18, n.º 31, ene. 2017, doi: 10.15517/iv.v18i31.27755.
- [44] F. Miranda Argüello, J. P. Aguiar Moya, y L. G. Loría Salazar, «DAÑO POR HUMEDAD EN MEZCLAS ASFÁLTICAS», nov. 2017, Accedido: 4 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/977>
- [45] Manuel Borja S., *Metodología de la investigación para ingenieros*. Chiclayo, 2012.
- [46] Roberto Hernández Sampieri, *Metodología de la Investigación Hernández Sampieri 6a Edición*, Sexta edición. México: MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2014.

Anexos

TABLA XLI
PESOS ESPECÍFICOS SECOS DE LAS MUESTRAS

Código	Calle o Avenida	Peso (g)
A-1	Santa Rosa	351.89
NA-2	Santa Rosa	389.83
A-3	Abtao	191.4
NA-4	Abtao	355.54
A-5	Almirante Guisse	368.04
NA-6	Almirante Guisse	264.74
A-7	Callao	228.58
NA-8	Callao	248.62
A-9	Los Sauces	422.4
NA-10	Los Sauces	236.05
A-11	Florida	392.65
NA-12	Florida	375.39
A-13	Margaritas	407.4
NA-14	Margaritas	369.87
A-15	Manuel Arteaga	393.35
NA-16	Manuel Arteaga	378.54
A-17	7 de Enero Sur	338.95
NA-18	7 de Enero Sur	312.49
A-19	Colón	278.52
NA-20	Colón	304.11

TABLA XLII
PESOS DE LAS MUESTRAS EN EL AGUA

Código	Calle o Avenida	Peso (g)
A-1	Santa Rosa	191.0
NA-2	Santa Rosa	218.0
A-3	Abtao	103.0
NA-4	Abtao	209.0
A-5	Almirante Guisse	205.5
NA-6	Almirante Guisse	152.0
A-7	Callao	128.0
NA-8	Callao	142.0
A-9	Los Sauces	236.0
NA-10	Los Sauces	90.0
A-11	Florida	220.0
NA-12	Florida	216.0
A-13	Margaritas	232.0
NA-14	Margaritas	215.0
A-15	Manuel Arteaga	218.0
NA-16	Manuel Arteaga	221.0
A-17	7 de Enero Sur	184.5
NA-18	7 de Enero Sur	176.0
A-19	Colón	155.0
NA-20	Colón	175.0

TABLA XLIII
PESOS DE LAS MUESTRAS SATURADAS

Código	Calle o Avenida	Peso (g)
A-1	Santa Rosa	353.79
NA-2	Santa Rosa	392.8
A-3	Abtao	195.4
NA-4	Abtao	363.01
A-5	Almirante Guisse	373.29
NA-6	Almirante Guisse	270.52
A-7	Callao	235.06
NA-8	Callao	254.74
A-9	Los Sauces	428.74
NA-10	Los Sauces	189.85
A-11	Florida	395.51
NA-12	Florida	380.3
A-13	Margaritas	415.6
NA-14	Margaritas	379.18
A-15	Manuel Arteaga	394.36
NA-16	Manuel Arteaga	386.66
A-17	7 de Enero Sur	340.68
NA-18	7 de Enero Sur	316.28
A-19	Colón	283.11
NA-20	Colón	307.43

INFORME N° LEM USAT 002-2025-I

FECHA: 19 de Mayo 2025

VALIDACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ESTUDIANTE: Max Brayán Aniceto Gallego

TITULO DE LA TESIS: Evaluación de la porosidad en la carpeta asfáltica y su influencia sobre la patología piel de cocodrilo en pavimentos urbanos.

El que suscribe, responsable del laboratorio de Ingeniería Civil, 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:

- Ensayo de permeabilidad
- Ensayo de diamantina
- Ensayo de porcentaje de vacíos

Se alcanza al interesado para los fines pertinentes.

Observación: Adjunto



Henry Rivadeneyra Oblitas
Responsable de Lab Ing. Civil Ambiental



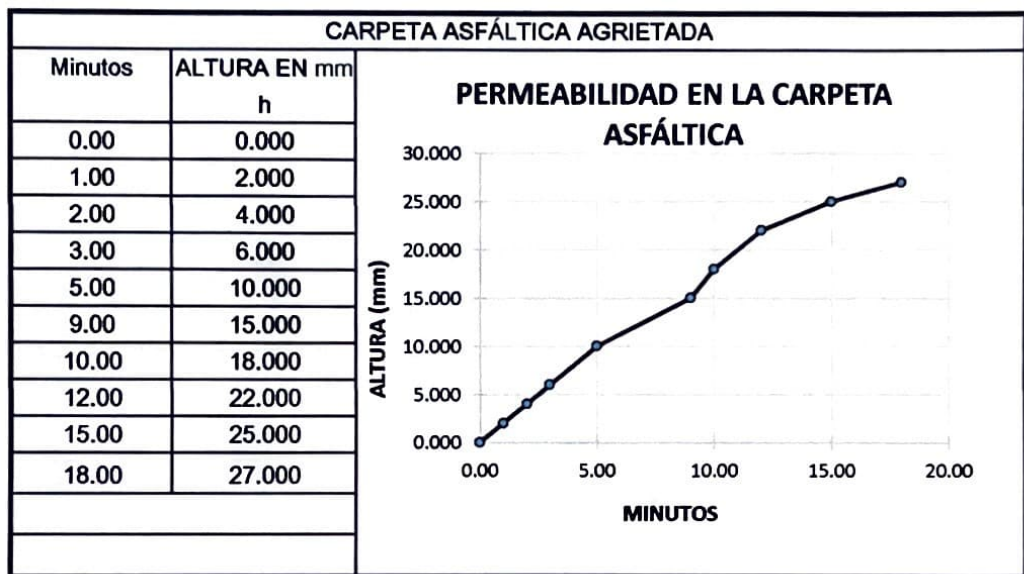
Henry Rivadeneyra Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT



USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Tesista: Max Brayan Aniceto Gallego
 Facultad: Ingeniería
 Tesis: Evaluación de la porosidad en la carpeta asfáltica y su influencia sobre la patología piel de cocodrilo en pavimentos urbanos
 Fecha del informe: 22/11/2024
 Ubicación: Calle Santa Rosa



Observaciones:

- Muestreo e identificación realizado por el Solicitante.

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
USAT



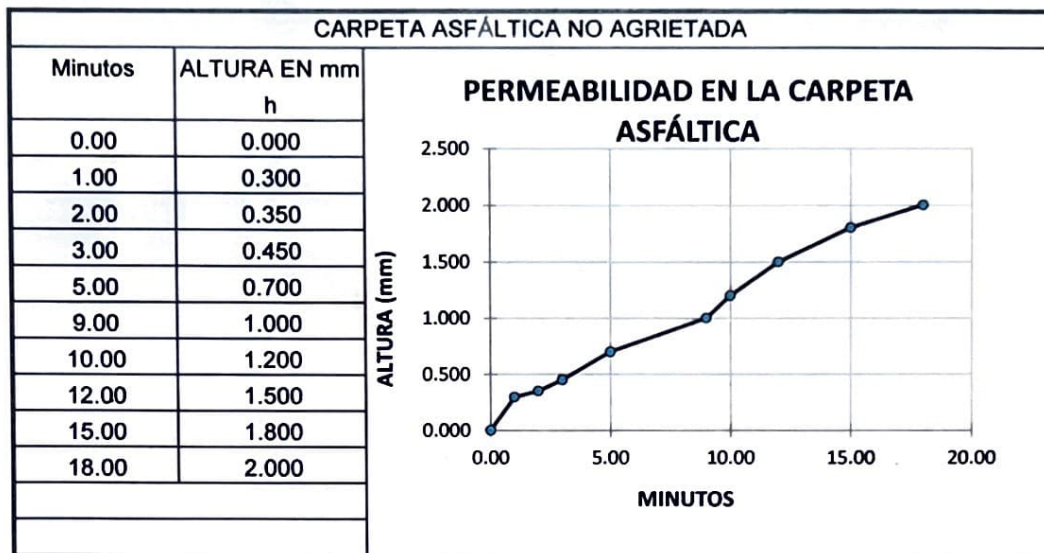
TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry
Rivadeneira
Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Tesista Max Brayán Aniceto Gallego
Facultad Ingeniería
Tesis Evaluación de la porosidad en la carpeta asfáltica y su influencia sobre la patología piel de cocodrilo en pavimentos urbanos
Fecha del informe 22/11/2024
Ubicación Calle Santa Rosa



Observaciones:

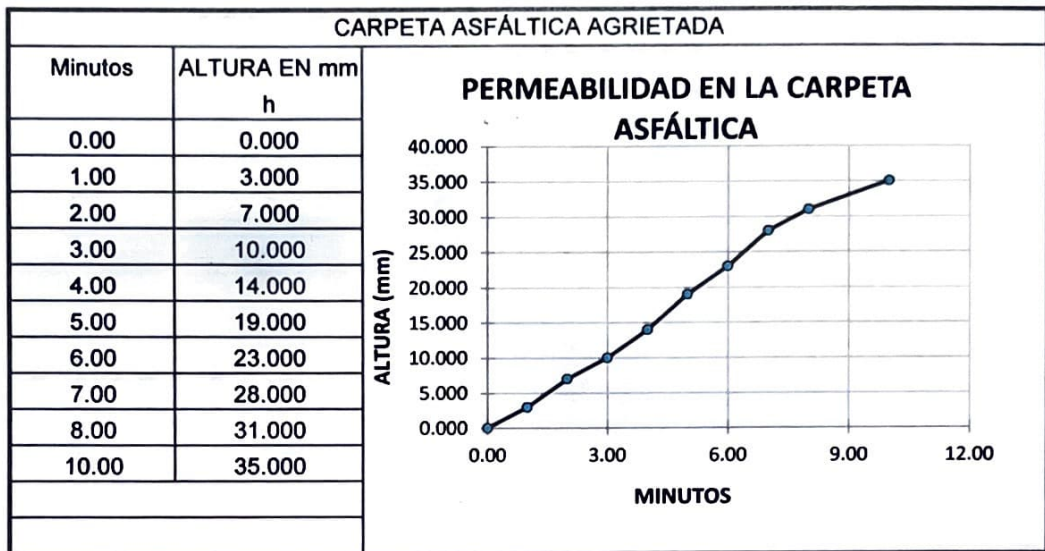
- Muestreo e identificación realizado por el Solicitante.




 Henry Ribadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT


LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Tesista: Max Brayan Aniceto Gallego
 Facultad: Ingeniería
 Tesis: Evaluación de la porosidad en la carpeta asfáltica y su influencia sobre la patología piel de cocodrilo en pavimentos urbanos
 Fecha del informe: 22/11/2024
 Ubicación: Calle Abtao





Observaciones:

- Muestreo e identificación realizado por el Solicitante.

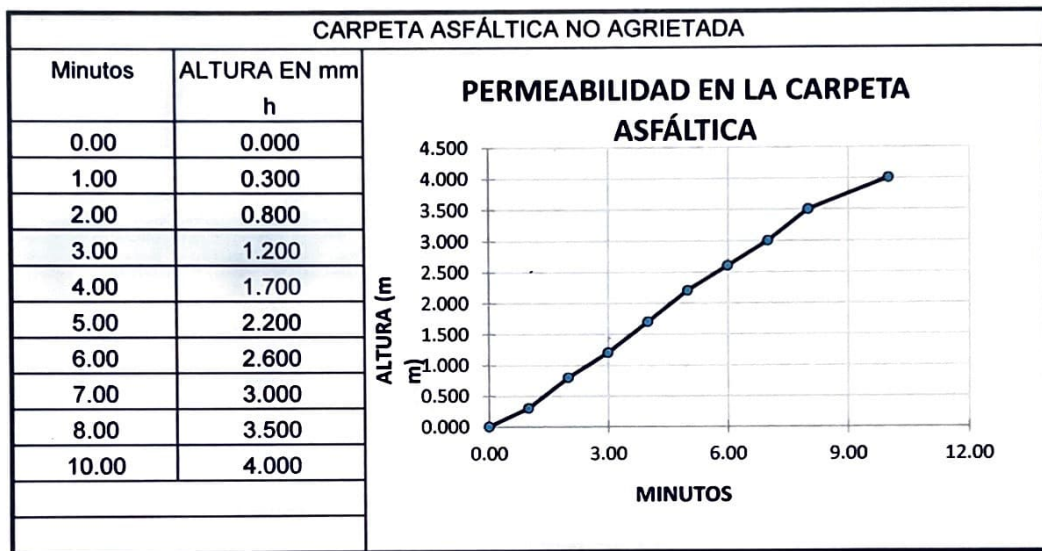
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
USAT

 TÉCNICO DE LABORATORIO


 Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT


LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Tesista: Max Brayan Aniceto Gallego
 Facultad: Ingeniería
 Tesis: Evaluación de la porosidad en la carpeta asfáltica y su influencia sobre la patología piel de cocodrilo en pavimentos urbanos
 Fecha del informe: 22/11/2024
 Ubicación: Calle Abtao



Observaciones:

- Muestreo e identificación realizado por el Solicitante.


 Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

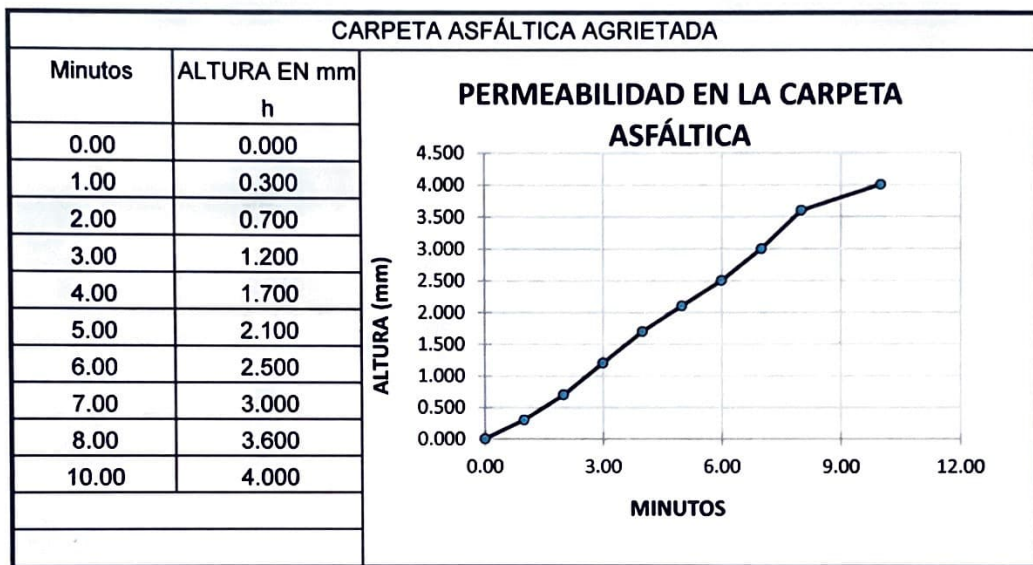

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
USAT

 TÉCNICO DE LABORATORIO



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES


Tesista: Max Brayan Aniceto Gallego
 Facultad: Ingeniería
 Tesis: Evaluación de la porosidad en la carpeta asfáltica y su influencia sobre la patología piel de cocodrilo en pavimentos urbanos
 Fecha del informe: 22/11/2024
 Ubicación: Calle Almirante Guisse



Observaciones:

- Muestreo e identificación realizado por el Solicitante.

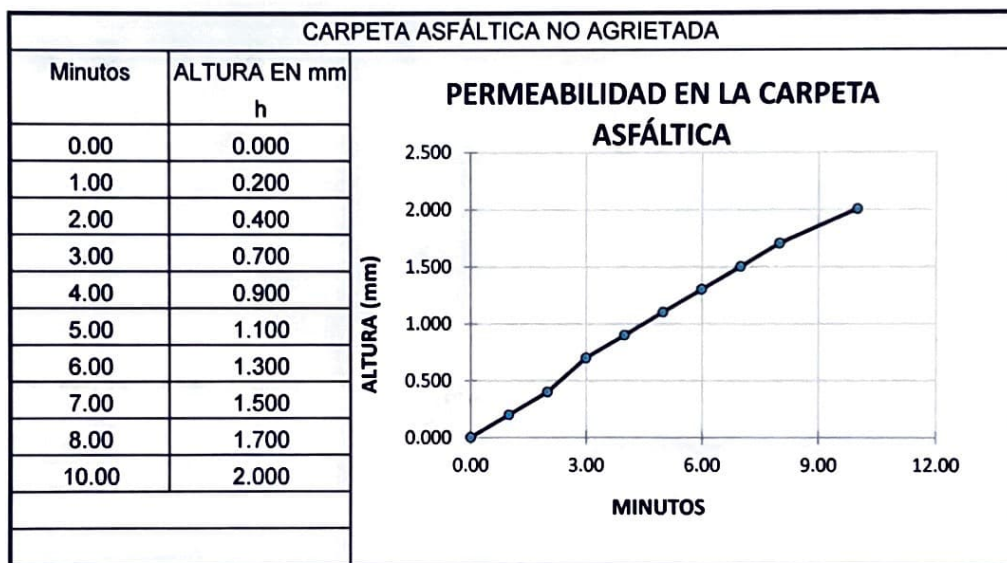



 Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT




LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Tesista: Max Brayán Aniceto Gallego
 Facultad: Ingeniería
 Tesis: Evaluación de la porosidad en la carpeta asfáltica y su influencia sobre la patología piel de cocodrilo en pavimentos urbanos
 Fecha del informe: 22/11/2024
 Ubicación: Calle Almirante Guisse



Observaciones:

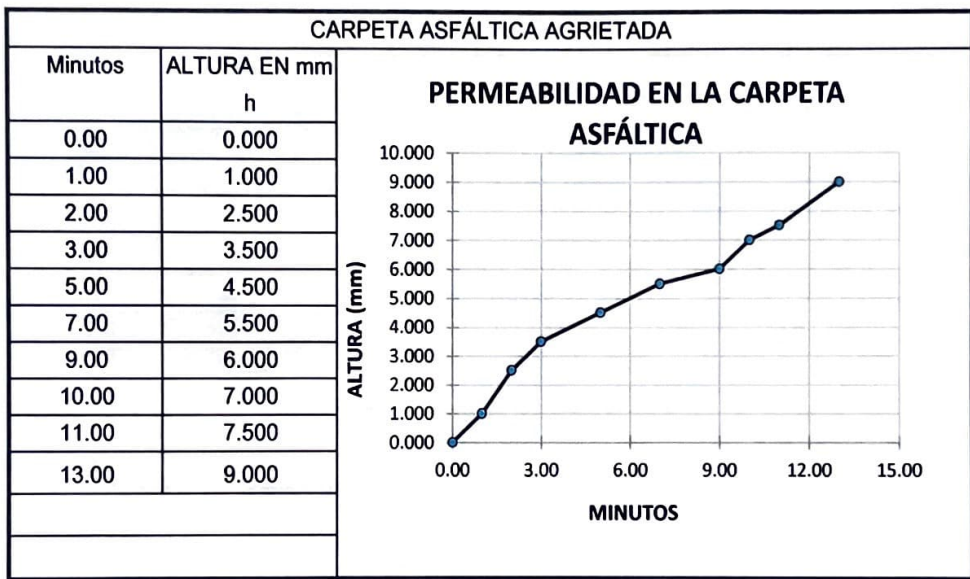
- Muestreo e identificación realizado por el Solicitante.



Henry Rivaldeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT


LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Tesista: Max Brayan Aniceto Gallego
 Facultad: Ingeniería
 Tesis: Evaluación de la porosidad en la carpeta asfáltica y su influencia sobre la patología piel de cocodrilo en pavimentos urbanos
 Fecha del informe: 22/11/2024
 Ubicación: Calle Callao



Observaciones:

- Muestreo e identificación realizado por el Solicitante.



Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT



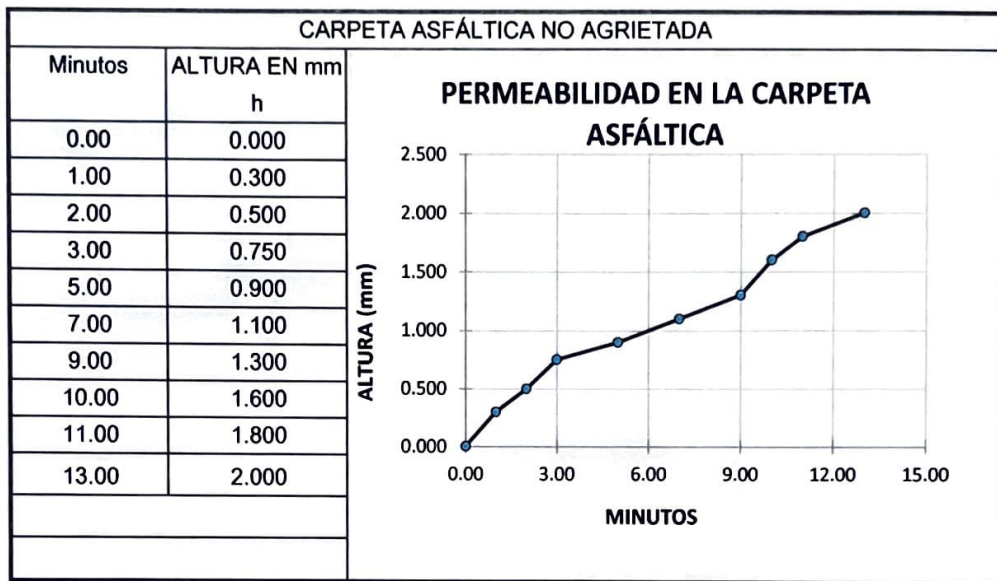
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
USAT



TÉCNICO DE LABORATORIO

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Tesista: Max Brayan Aniceto Gallego
 Facultad: Ingeniería
 Tesis: Evaluación de la porosidad en la carpeta asfáltica y su influencia sobre la patología piel de cocodrilo en pavimentos urbanos
 Fecha del informe: 22/11/2024
 Ubicación: Calle Callao



Observaciones:

- Muestreo e identificación realizado por el Solicitante.

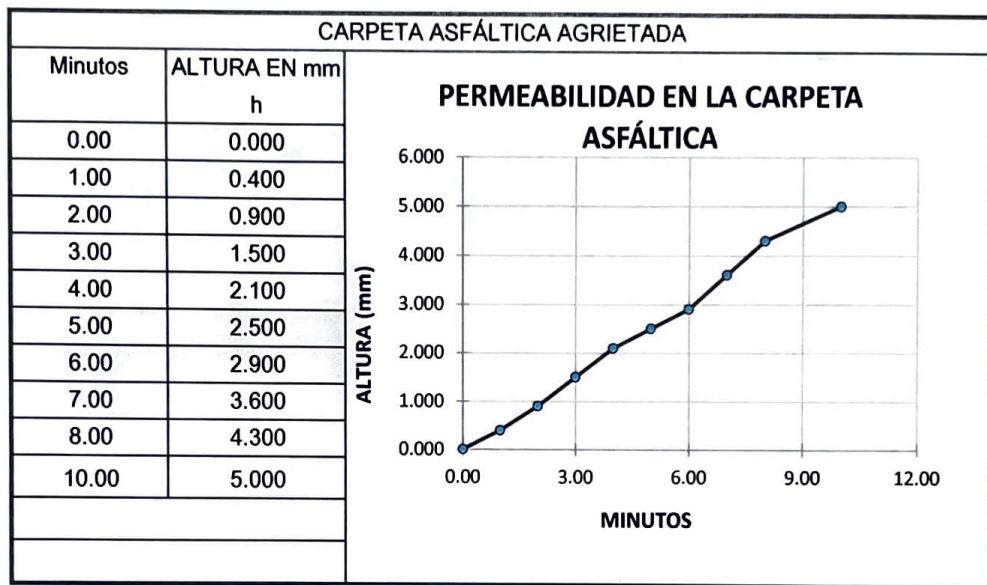

 Henry
 Rivasdeneyra
 Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT


 USAT
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

 TÉCNICO DE LABORATORIO

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Tesista: Max Brayan Aniceto Gallego
 Facultad: Ingeniería
 Tesis: Evaluación de la porosidad en la carpeta asfáltica y su influencia sobre la patología piel de cocodrilo en pavimentos urbanos
 Fecha del informe: 22/11/2024
 Ubicación: Calle Sauces



Observaciones:

- Muestreo e identificación realizado por el Solicitante.



Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
USAT

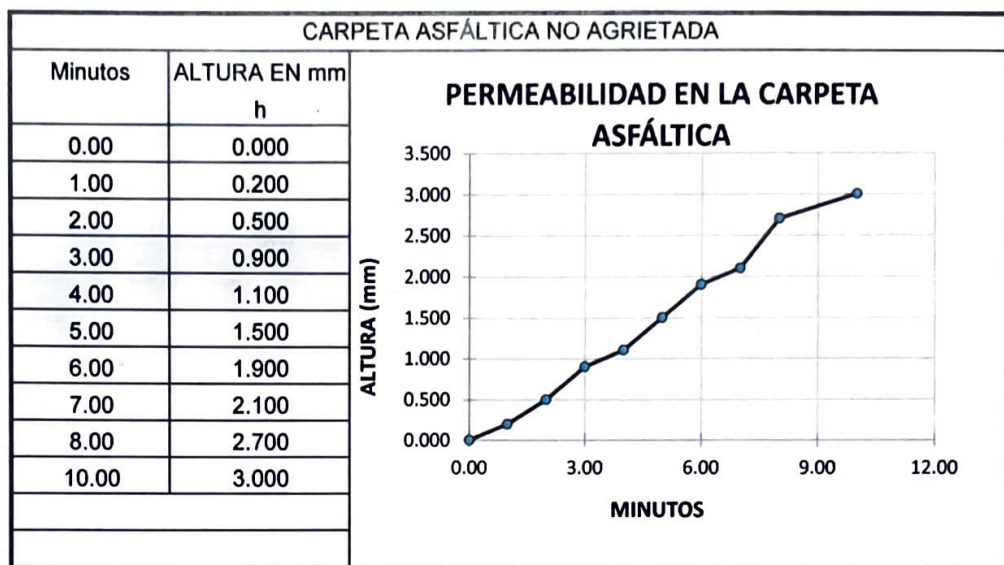


TÉCNICO DE LABORATORIO



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Tesista Max Brayan Aniceto Gallego
Facultad Ingeniería
Tesis Evaluación de la porosidad en la carpeta asfáltica y su influencia sobre la patología piel de cocodrilo en pavimentos urbanos
Fecha del informe 22/11/2024
Ubicación Calle Sauces



Observaciones:

- Muestreo e identificación realizado por el Solicitante.

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
USAT

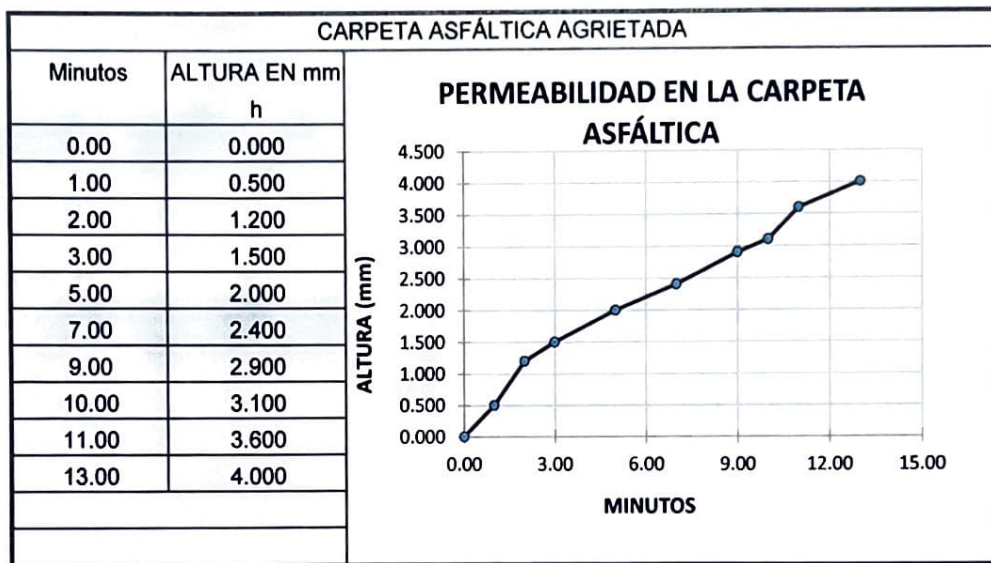
 TÉCNICO DE LABORATORIO


 Henry Ribadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT





LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Tesista Max Brayan Aniceto Gallego
Facultad Ingeniería
Tesis Evaluación de la porosidad en la carpeta asfáltica y su influencia sobre la patología piel de cocodrilo en pavimentos urbanos
Fecha del informe 22/11/2024
Ubicación Calle Florida



Observaciones:

- Muestreo e identificación realizado por el Solicitante.

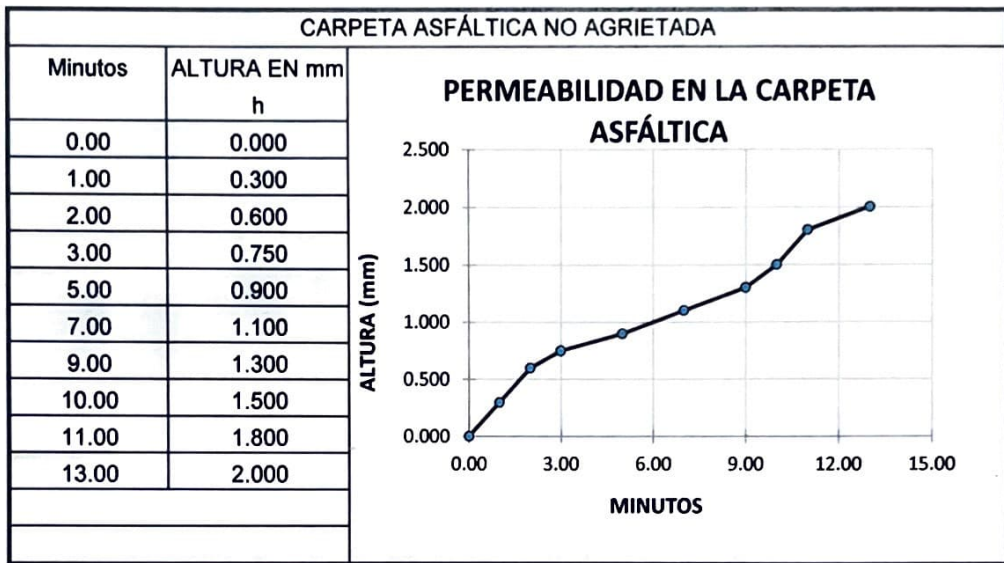

 Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
USAT

 TÉCNICO DE LABORATORIO

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Tesista Max Brayan Aniceto Gallego
Facultad Ingeniería
Tesis Evaluación de la porosidad en la carpeta asfáltica y su influencia sobre la patología piel de cocodrilo en pavimentos urbanos
Fecha del informe 22/11/2024
Ubicación Calle Florida



Observaciones:

- Muestreo e identificación realizado por el Solicitante.

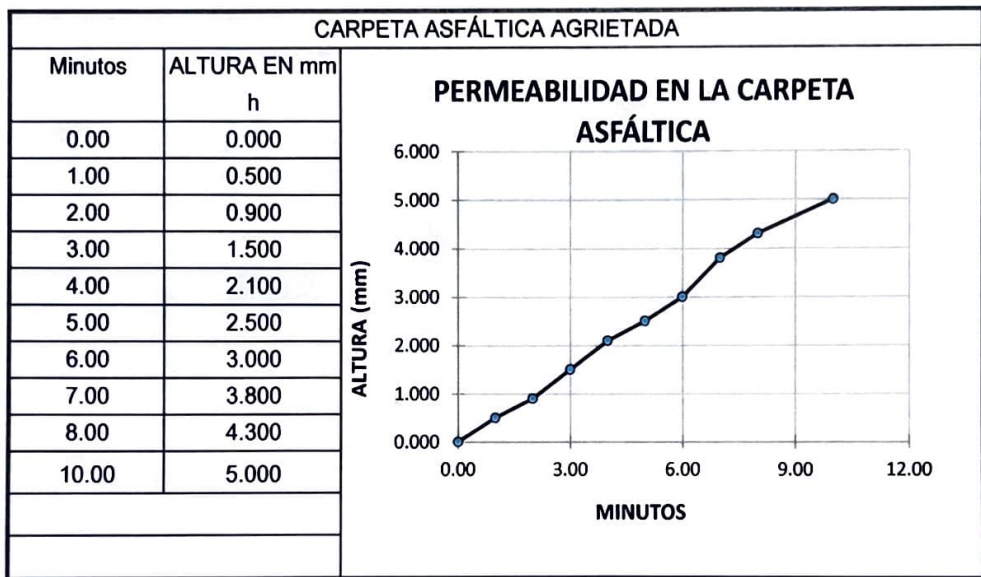
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
USAT

TÉCNICO DE LABORATORIO


Henry
Rivadeneira
Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT


LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Tesista: Max Brayan Aniceto Gallego
 Facultad: Ingeniería
 Tesis: Evaluación de la porosidad en la carpeta asfáltica y su influencia sobre la patología piel de cocodrilo en pavimentos urbanos
 Fecha del informe: 22/11/2024
 Ubicación: Calle Margaritas



Observaciones:

- Muestreo e identificación realizado por el Solicitante.



Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT

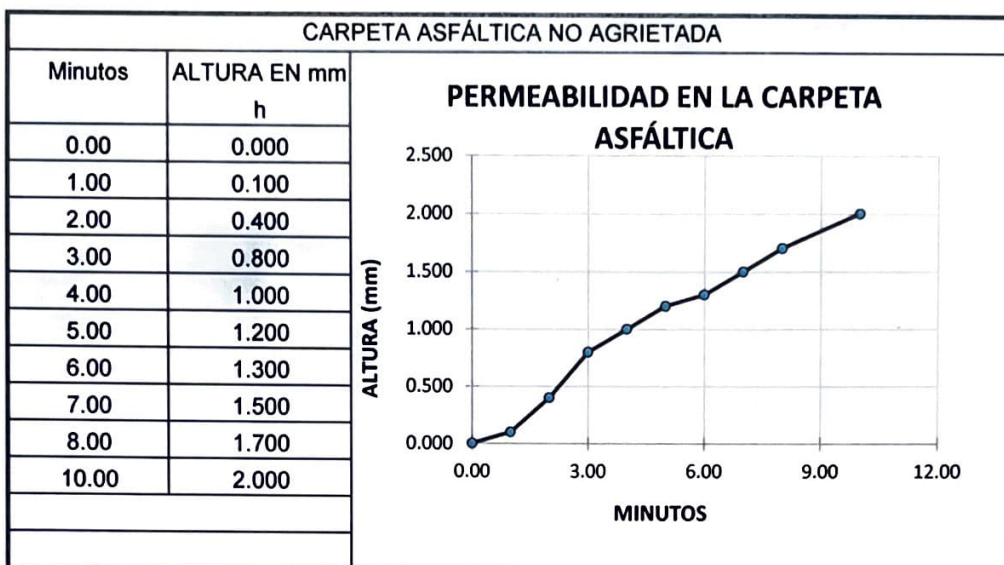

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
USAT

 TÉCNICO DE LABORATORIO



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Tesista: Max Brayán Aniceto Gallego
 Facultad: Ingeniería
 Tesis: Evaluación de la porosidad en la carpeta asfáltica y su influencia sobre la patología piel de cocodrilo en pavimentos urbanos
 Fecha del informe: 22/11/2024
 Ubicación: Calle Margaritas



Observaciones:

- Muestreo e identificación realizado por el Solicitante.

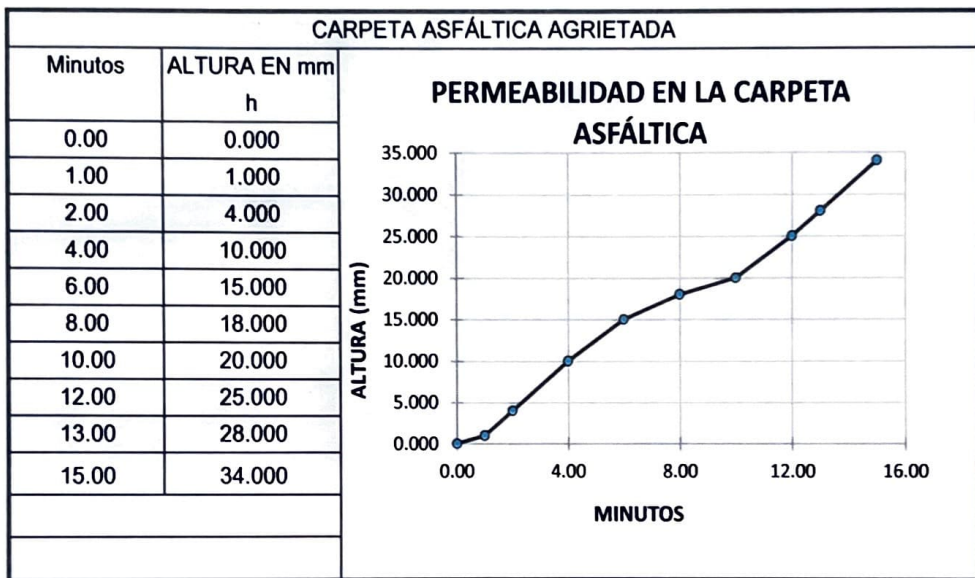



Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Tesista: Max Brayan Aniceto Gallego
 Facultad: Ingeniería
 Tesis: Evaluación de la porosidad en la carpeta asfáltica y su influencia sobre la patología piel de cocodrilo en pavimentos urbanos
 Fecha del informe: 22/11/2024
 Ubicación: Avenida Manuel Arteaga



Observaciones:

- Muestreo e identificación realizado por el Solicitante.



Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT



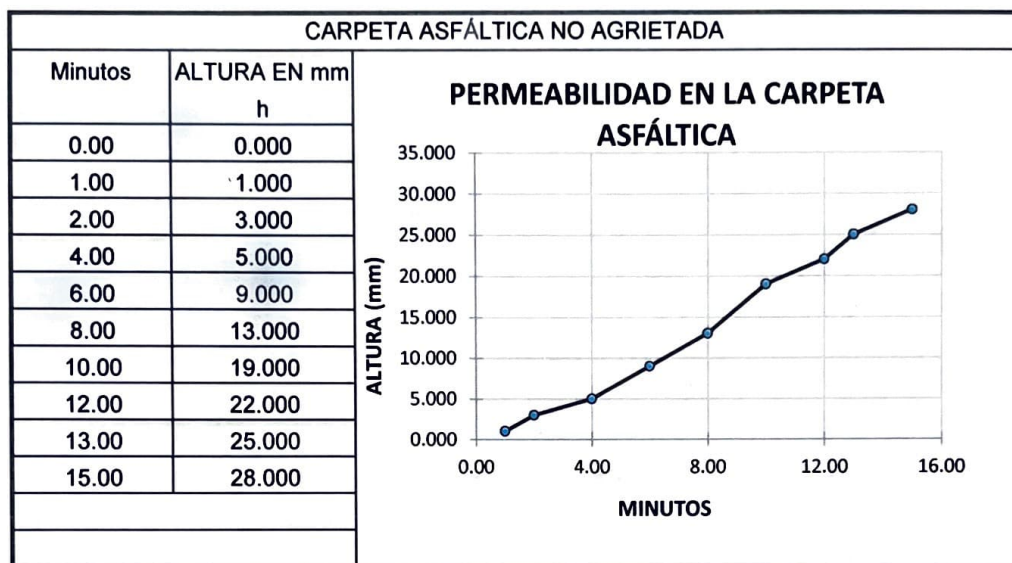

USAT



TÉCNICO DE LABORATORIO

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Tesista: Max Brayan Aniceto Gallego
 Facultad: Ingeniería
 Tesis: Evaluación de la porosidad en la carpeta asfáltica y su influencia sobre la patología piel de cocodrilo en pavimentos urbanos
 Fecha del informe: 22/11/2024
 Ubicación: Avenida Manuel Arteaga



Observaciones:

- Muestreo e identificación realizado por el Solicitante.

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
USAT

 TÉCNICO DE LABORATORIO

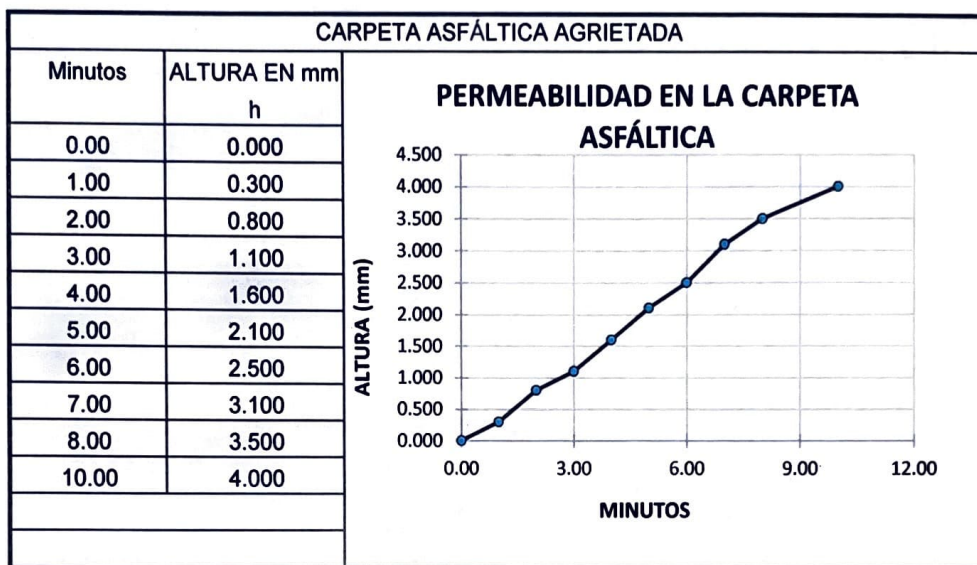

 Henry Rivdenezra Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT

 Universidad Católica
 Santo Toribio de Mogrovejo



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Tesista: Max Brayán Aniceto Gallego
 Facultad: Ingeniería
 Tesis: Evaluación de la porosidad en la carpeta asfáltica y su influencia sobre la patología piel de cocodrilo en pavimentos urbanos
 Fecha del informe: 22/11/2024
 Ubicación: Calle 7 de Enero Sur



Observaciones:

- Muestreo e identificación realizado por el Solicitante.

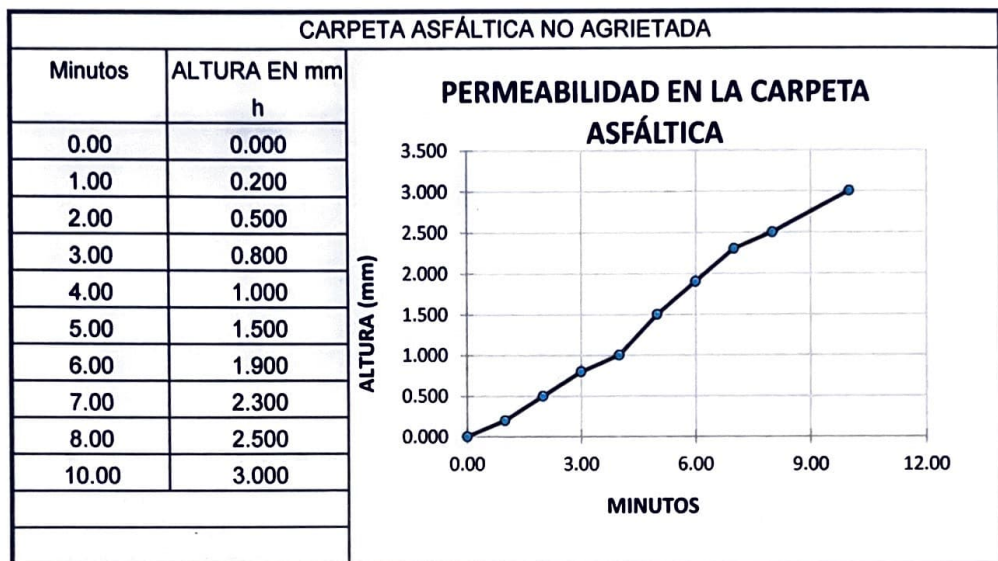

 Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT


LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
USAT

 TÉCNICO DE LABORATORIO

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Tesista: Max Brayan Aniceto Gallego
Facultad: Ingeniería
Tesis: Evaluación de la porosidad en la carpeta asfáltica y su influencia sobre la patología piel de cocodrilo en pavimentos urbanos
Fecha del informe: 22/11/2024
Ubicación: Calle 7 de Enero Sur



Observaciones:

- Muestreo e identificación realizado por el Solicitante.



Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
USAT

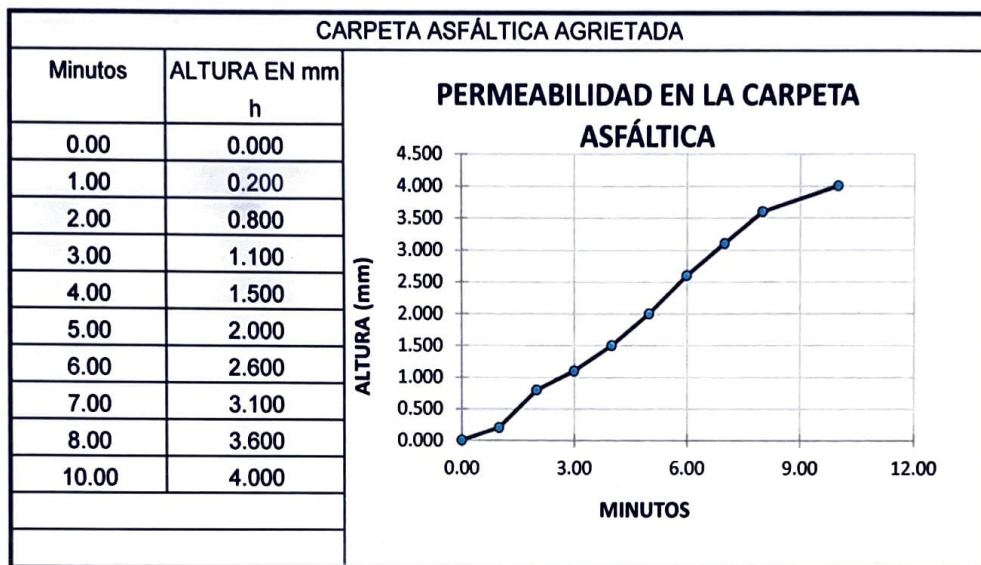


TÉCNICO DE LABORATORIO



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Tesista: Max Brayan Aniceto Gallego
 Facultad: Ingeniería
 Tesis: Evaluación de la porosidad en la carpeta asfáltica y su influencia sobre la patología piel de cocodrilo en pavimentos urbanos
 Fecha del informe: 22/11/2024
 Ubicación: Calle Colón



Observaciones:

- Muestreo e identificación realizado por el Solicitante.



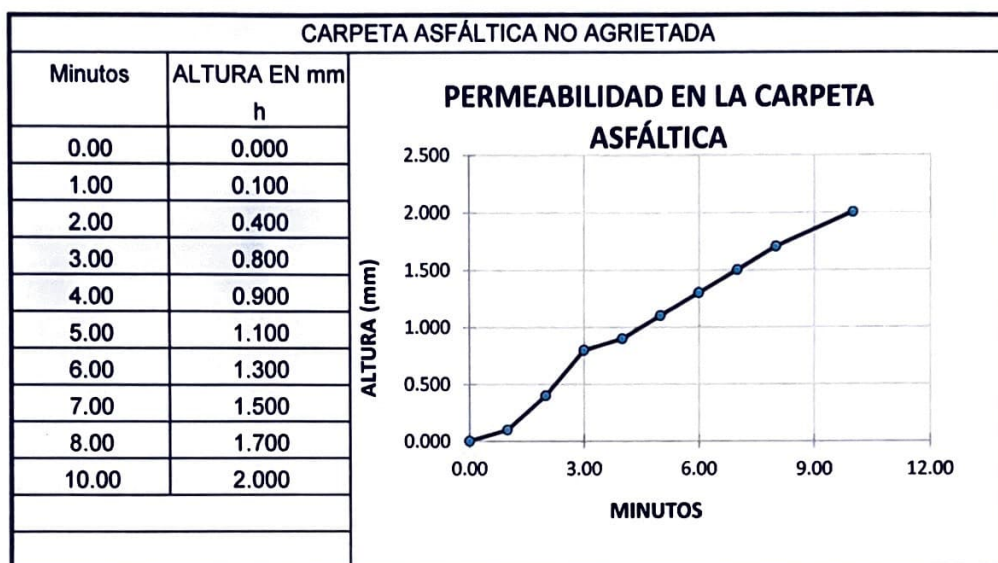

Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT





LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Tesista Max Brayan Aniceto Gallego
Facultad Ingeniería
Tesis Evaluación de la porosidad en la carpeta asfáltica y su influencia sobre la patología piel de cocodrilo en pavimentos urbanos
Fecha del informe 22/11/2024
Ubicación Calle Colón



Observaciones:

- Muestreo e identificación realizado por el Solicitante.




 Henry Rivadenebra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT




UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



PORCENTAJES DE VACIOS DE CARPETA ASFÁLTICA
METODO - ASTM - D 3203

TESIS : *Evaluación de la porosidad en la carpeta asfáltica y su influencia sobre la patología piel de cocodrilo en pavimentos urbanos*
MATERIAL : *Carpeta Asfáltica*
TESISTA : *Max Brayan Aniceto Gallego*
FECHA DEL INFORME : *22/11/2024*

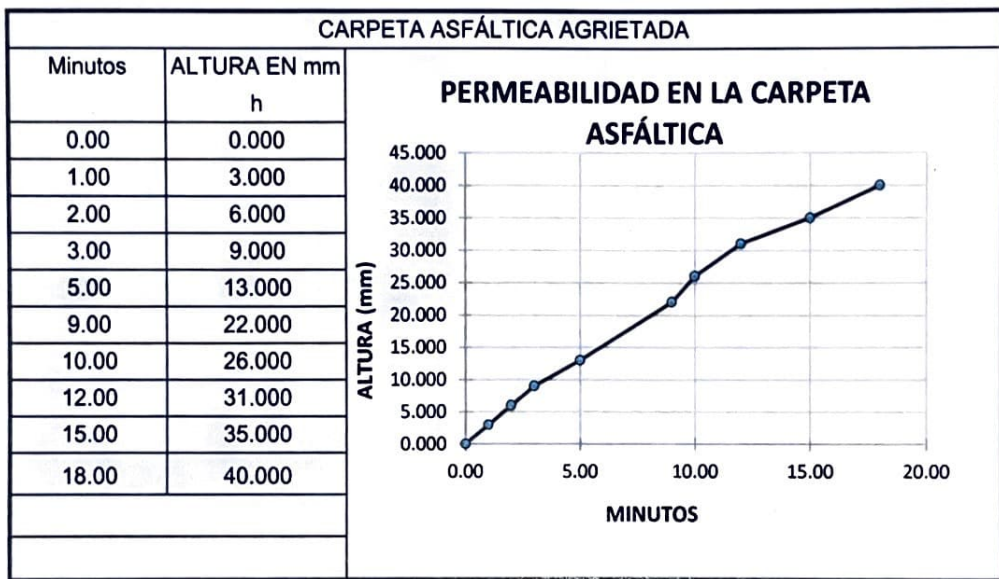
Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

Número de espécimen			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Altura promedio de la briqueta	cm.	4.73	4.5	4.78	4.6	4.8	4.2	4.6	3.6	3.9	4.1
2	Peso de la briqueta en el aire	gr.	351.89	389.83	191.4	355.54	368.04	264.74	228.58	248.62	422.4	236.05
3	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	353.79	392.8	195.4	363.01	373.29	270.52	235.06	254.74	428.74	189.85
4	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr.	191.0	218	103	209.0	205.5	152	128	142	236	90
5	Volumen de la briqueta 3-4	c.c.	162.8	174.8	92.44	154.0	167.79	118.52	107.06	112.74	192.74	99.85
6	Peso unitario de la briqueta 2/5 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.162	2.230	2.071	2.309	2.193	2.234	2.135	2.205	2.192	2.364
7	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549
8	% de vacíos con aire 100*(7-6/7) (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	15.21	12.52	18.76	9.44	13.96	12.38	16.25	13.50	14.03	7.27

Número de espécimen			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	Altura promedio de la briqueta	cm.	4.2	4.6	3.8	4.1	3.9	4	3.7	3.6	3.5	4.2
2	Peso de la briqueta en el aire	gr.	392.65	375.49	407.4	369.87	393.35	378.54	338.95	312.49	278.52	304.11
3	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	395.51	383.3	415.6	379.18	394.36	386.66	340.68	316.28	283.11	307.43
4	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr.	220.0	216	232	215.0	218	221	184.5	176	155	175
5	Volumen de la briqueta 3-4	c.c.	135.5	164.3	183.64	164.2	176.36	165.66	156.18	140.28	128.11	132.43
6	Peso unitario de la briqueta 2/5 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.837	2.285	2.218	2.253	2.230	2.285	2.170	2.228	2.174	2.296
7	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549	2.549
8	% de vacíos con aire 100*(7-6/7) (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	11.24	10.38	12.99	11.63	12.51	10.37	14.87	12.62	14.72	9.92

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Tesista: Max Brayán Aniceto Gallego
 Facultad: Ingeniería
 Tesis: Evaluación de la porosidad en la carpeta asfáltica y su influencia sobre la patología piel de cocodrilo en pavimentos urbanos
 Fecha del informe: 14/05/2025
 Ubicación: Calle Santa Rosa



Observaciones:

- Muestreo e identificación realizado por el Solicitante.



Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT

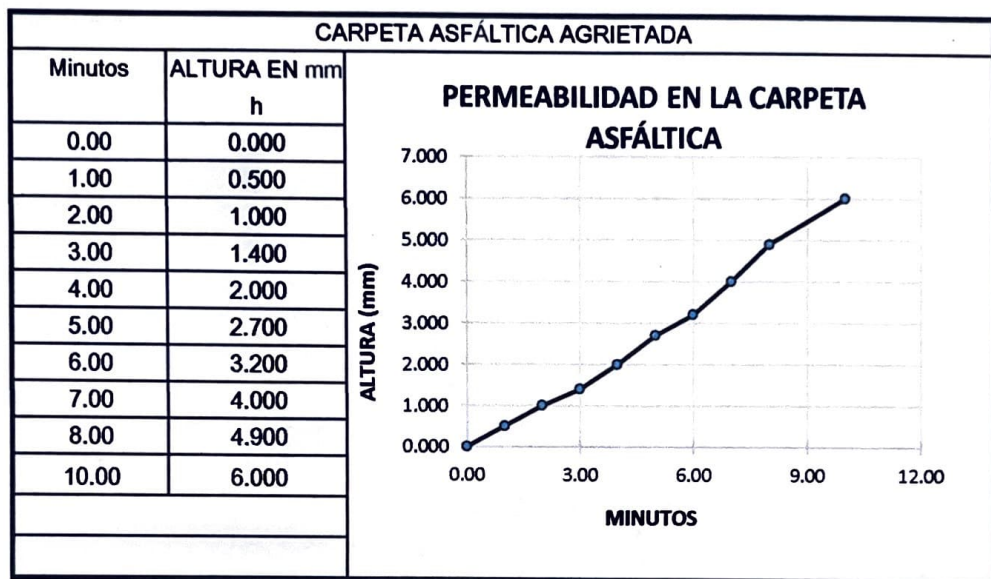


LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
USAT
 TÉCNICO DE LABORATORIO



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Tesista Max Brayan Aniceto Gallego
Facultad Ingeniería
Tesis Evaluación de la porosidad en la carpeta asfáltica y su influencia sobre la patología piel de cocodrilo en pavimentos urbanos
Fecha del informe 14/05/2025
Ubicación Calle Almirante Guisse



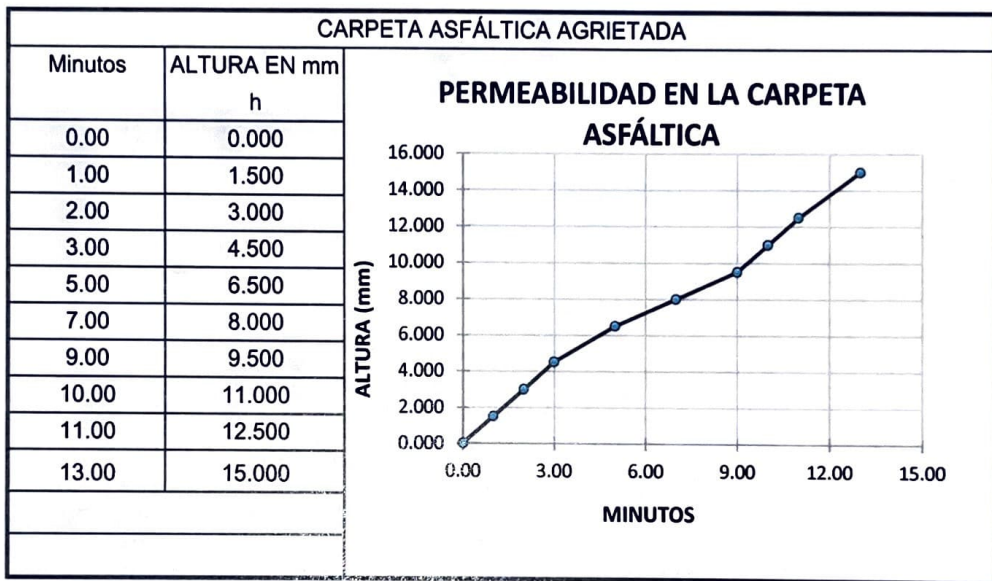
Observaciones:

- Muestreo e identificación realizado por el Solicitante.



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Tesista: Max Brayán Aniceto Gallego
 Facultad: Ingeniería
 Tesis: Evaluación de la porosidad en la carpeta asfáltica y su influencia sobre la patología piel de cocodrilo en pavimentos urbanos
 Fecha del informe: 14/05/2025
 Ubicación: Calle Callao



Observaciones:

- Muestreo e identificación realizado por el Solicitante.



Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT
 Universidad Católica
 Santo Toribio de Mogrovejo



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
USAT



TÉCNICO DE LABORATORIO

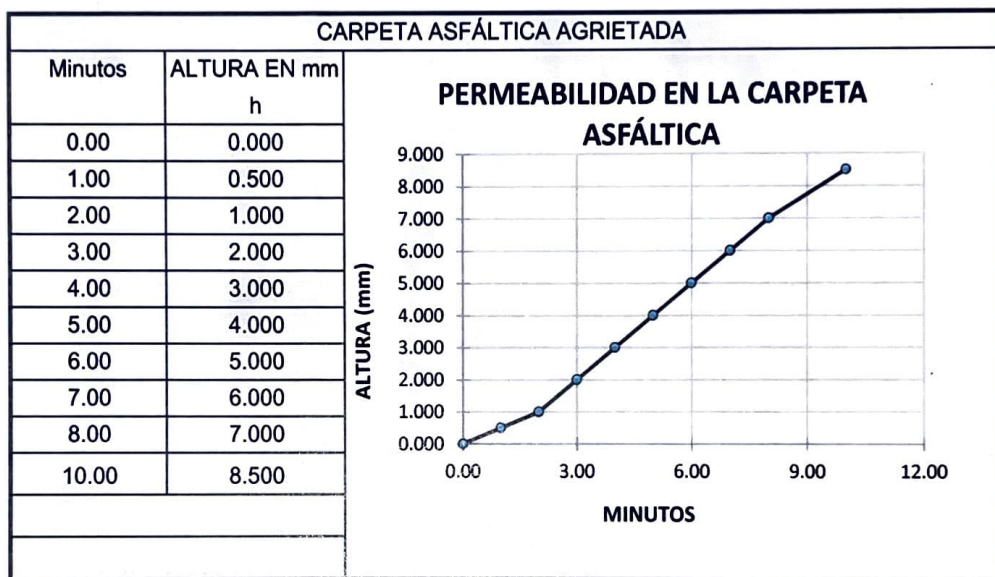


UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Tesista Max Brayan Aniceto Gallego
Facultad Ingeniería
Tesis Evaluación de la porosidad en la carpeta asfáltica y su influencia sobre la patología piel de cocodrilo en pavimentos urbanos
Fecha del informe 14/05/2025
Ubicación Calle Sauces



Observaciones:

- Muestreo e identificación realizado por el Solicitante.

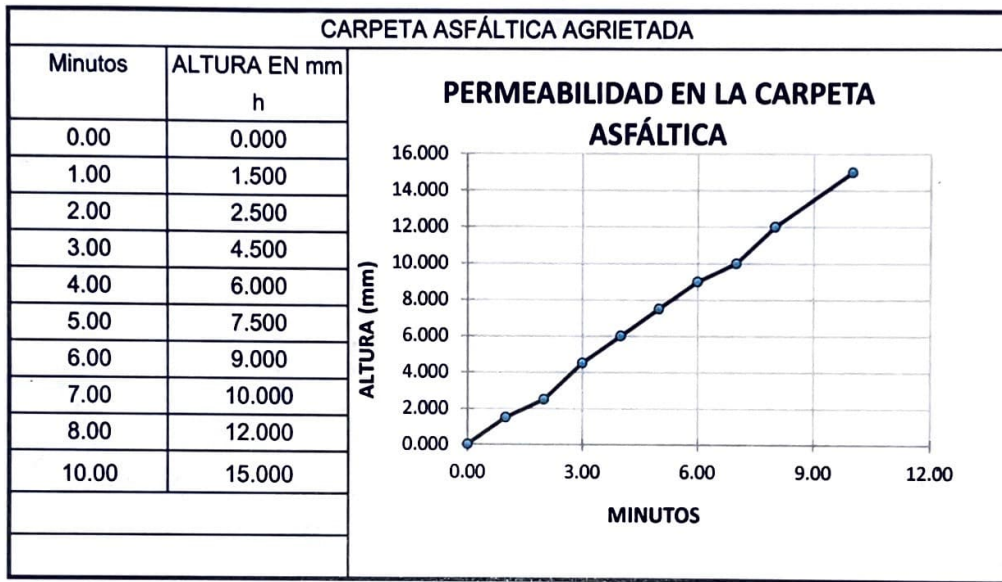
Henry Rivadeneyra Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
USAT

TÉCNICO DE LABORATORIO

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Tesista: Max Brayan Aniceto Gallego
 Facultad: Ingeniería
 Tesis: Evaluación de la porosidad en la carpeta asfáltica y su influencia sobre la patología piel de cocodrilo en pavimentos urbanos
 Fecha del informe: 14/05/2025
 Ubicación: Calle Margaritas



Observaciones:

- Muestreo e identificación realizado por el Solicitante.

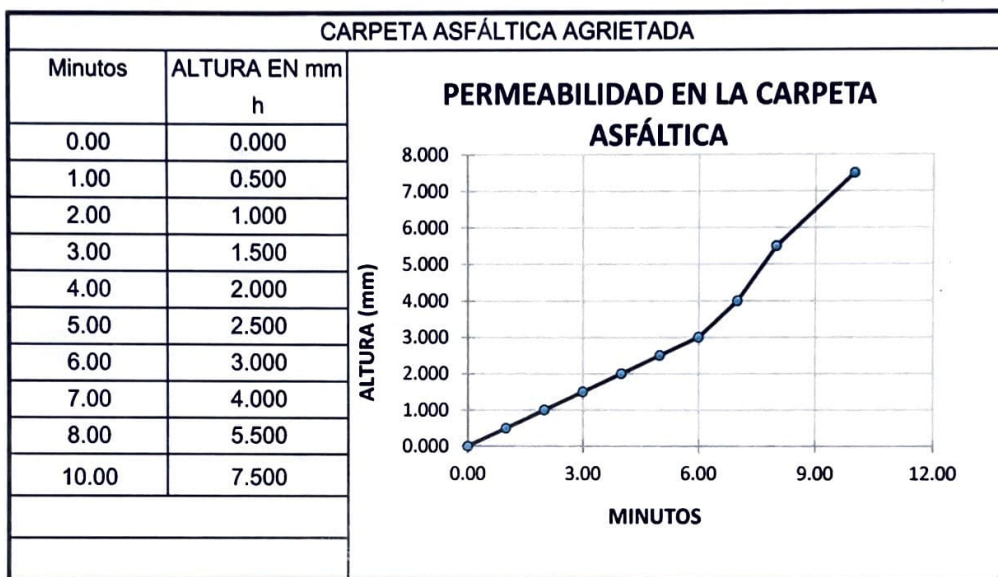


Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
USAT
TÉCNICO DE LABORATORIO

Tesista Max Brayan Aniceto Gallego
 Facultad Ingeniería
 Tesis Evaluación de la porosidad en la carpeta asfáltica y su influencia sobre la patología piel de cocodrilo en pavimentos urbanos
 Fecha del informe 14/05/2025
 Ubicación Calle 7 de Enero Sur



Observaciones:

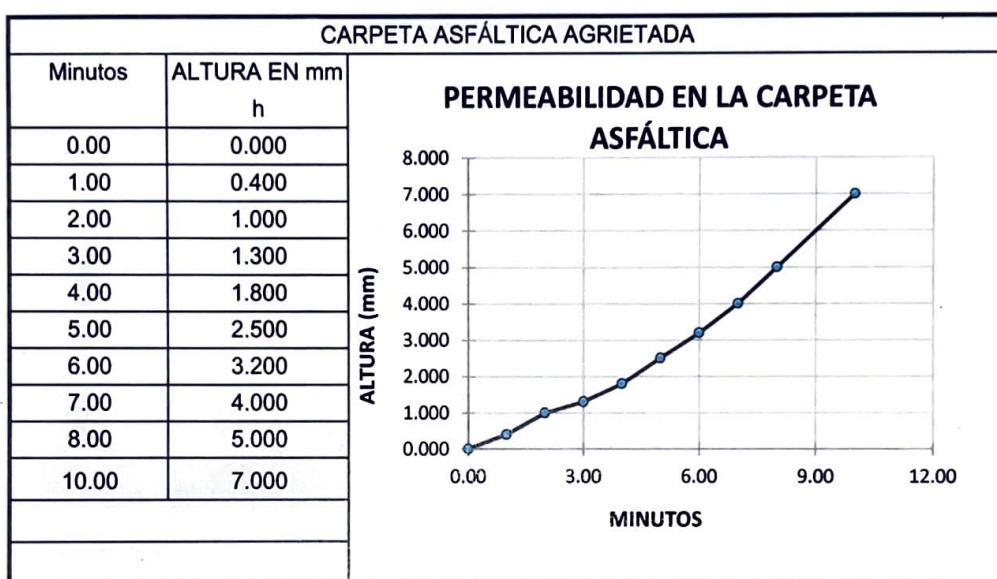
- Muestreo e identificación realizado por el Solicitante.

Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT
 Universidad Católica
 Santo Toribio de Mogrovejo

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
USAT

 TÉCNICO DE LABORATORIO

Tesista Max Brayan Aniceto Gallego
Facultad Ingeniería
Tesis Evaluación de la porosidad en la carpeta asfáltica y su influencia sobre la patología piel de cocodrilo en pavimentos urbanos
Fecha del informe 14/05/2025
Ubicación Calle Colón



Observaciones:

- Muestreo e identificación realizado por el Solicitante.



Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT




LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
USAT
TÉCNICO DE LABORATORIO

