



**Pontificia Universidad
Católica del Ecuador**
Seréis mis testigos

MANABÍ

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

SEDE MANABÍ

CARRERA DE INGENIERIA CIVL

TRABAJO DE TITULACIÓN

EVALUACIÓN DEL ESTADO FUNCIONAL Y DESARROLLO DE UN DISEÑO
DEL PAVIMENTO EN LA CALLE PASAJE DEL SITIO EL NEGRITAL DE LA CIUDAD
DE PORTOVIEJO

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

DISEÑO, INFRAESTRUCTURA Y SISTEMAS SOCIALES Y AMBIENTALES
PARA UN HÁBITAT SOSTENIBLE

SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN

AMBIENTE, CIUDAD, TERRITORIO Y SOCIEDAD PARA UN HÁBITAT
SOSTENIBLE, PLANIFICADO, INCLUSIVO Y SEGURO

PREVIO AL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

AUTOR(A)

CÉSAR ARIEL CEDEÑO CEDEÑO

KEVIN JAVIER SABANDO LOOR

TUTOR(A)

MGTR. MAURICIO HENRY COLPARI POZZO

PORTOVIEJO, FEBRERO 2025

Certificado del trabajo de integración curricular

De:

MGTR. Mauricio Henry Colpari Pozzo

Para:

MGTR. Yandri Xavier Vélez Molina

CERTIFICA

En mi calidad de tutor del trabajo de integración curricular, certifico haber revisado el presente manuscrito de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, cumpliendo la Normativa del Trabajo de Integración Curricular; en consecuencia, es apto para su presentación y sustentación

(F) _____

MGTR. Mauricio Henry Colpari Pozzo.

C.I 0965673726

Acta de aprobación del tribunal

El jurado examinador aprueba el presente trabajo de integración curricular en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí

(F)_____

MGTR. Mauricio Henry Colpari Pozzo

Primer lector

(F)_____

MGTR. María Tatiana Ordóñez Zambrano

Segundo lector

(F)_____

MGTR. Fabián Rodrigo Espinales Cedeño

Tercer lector

Declaración de Originalidad

Este manuscrito no contiene ningún tipo de material que ha sido aceptado para la obtención de un título universitario en otra institución, excepto en forma de información de soporte que ha sido debidamente citada en mi trabajo.

Este trabajo es de total responsabilidad del autor, quien declara bajo juramento que ninguna sección de este trabajo de integración curricular infringe los derechos de autor de nadie

(F)_____

César Ariel Cedeño Cedeño

C.I. 1315273688

Dirección: Calle 25 de Junio

Correo electrónico: ccedeno3688@pucesm.edu.ec

Celular: 0997688695

(F)_____

Kevin Javier Sabando Loor

C.I. 1311918682

Dirección: Parroquia Colón

Correo electrónico: ksabando8682@pucesm.edu.ec

Celular: 0986697024

Declaración de derechos de autor

Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a distribuir este manuscrito de investigación en medios físicos y electrónicos con el fin de promover la divulgación de mis resultados a la comunidad científica y a la sociedad en general. Adicionalmente autorizo el uso de los contenidos de esta investigación como bibliografía para fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, citando como fuente de información al autor de este trabajo

(F)_____

César Ariel Cedeño Cedeño

C.I. 1315273688

(F)_____

Kevin Javier Sabando Loor

C.I. 1311918682

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres, cuyo esfuerzo incansable, sacrificio y apoyo incondicional han sido la base sobre la que se construyó este logro. Sin su guía y fortaleza, este camino habría sido aún más difícil de recorrer.

A mi familia, por cada palabra de aliento y respaldo en los momentos de mayor exigencia. A mi pareja, por su apoyo y comprensión a lo largo de este proceso.

A mis docentes, quienes con su conocimiento y dedicación dejaron una huella en mi formación profesional. A mis compañeros, cuya colaboración y apoyo fueron clave en este camino de aprendizaje compartido.

Finalmente, a mi compañero de tesis, César Ariel, con quien enfrenté este último reto académico con compromiso y esfuerzo conjunto.

Kevin Sabando

Dedico este logro principalmente a mi familia, quienes han sido el pilar fundamental en mi formación. Su apoyo incondicional, sus consejos y la confianza que han depositado en mí han sido clave para alcanzar esta meta.

También me dedico este logro a mí mismo, por la perseverancia y el esfuerzo constante para seguir adelante y cumplir el objetivo de graduarme como Ingeniero Civil.

Finalmente, agradezco a mi compañero de tesis, Kevin Sabando, por su compromiso, colaboración y esfuerzo conjunto en este desafío académico.

César Cedeño

Agradecimientos

Culminar la carrera de Ingeniería Civil ha sido un proceso desafiante, lleno de esfuerzo, sacrificio y perseverancia. Hoy, al alcanzar este objetivo, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a quienes fueron parte fundamental de este logro.

A mis padres, por su incansable apoyo y por brindarme las herramientas necesarias para crecer tanto personal como profesionalmente. Su esfuerzo y confianza en mí fueron el motor que me impulsó a seguir adelante en los momentos más difíciles.

A mi familia, por ser un pilar de motivación y aliento a lo largo de esta etapa. A mi novia, por su comprensión y respaldo en este arduo proceso, demostrando siempre su confianza en mí.

A mis docentes, por compartir sus conocimientos con dedicación, formando no solo profesionales, sino también personas con criterio y responsabilidad. A mis compañeros de estudio, quienes con su apoyo y trabajo en equipo hicieron más llevadero este camino.

De manera especial, agradezco a mi compañero de tesis, César Ariel, con quien compartí este último desafío académico, trabajando con compromiso y dedicación para alcanzar este objetivo.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento.

Kevin Sabando

Culminar la carrera de Ingeniería Civil ha sido un desafío exigente que requirió esfuerzo, dedicación y perseverancia. En este camino, muchas personas fueron fundamentales para alcanzar este logro, y a ellas quiero expresar mi más sincero agradecimiento.

A mi familia, por su inquebrantable confianza y apoyo, por motivarme en cada etapa y por ser un pilar fundamental en mi formación. Su respaldo ha sido esencial para superar los retos que surgieron en el proceso.

A mis docentes, por compartir su experiencia y conocimientos, guiando mi desarrollo como ingeniero civil. En especial, agradezco las salidas de campo, que complementaron mi aprendizaje más allá de las aulas, permitiéndome adquirir conocimientos prácticos esenciales para mi crecimiento profesional.

A mis compañeros de carrera, por su amistad, compañerismo y apoyo a lo largo de estos años. Compartir este recorrido con ustedes lo hizo más enriquecedor y llevadero.

Un agradecimiento especial a mi compañero de tesis, Kevin Sabando, con quien formé un gran equipo para llevar a cabo este proyecto. Su compromiso y dedicación fueron clave para alcanzar este objetivo juntos.

A todos ustedes, gracias por ser parte de este camino y contribuir de diversas maneras a este logro.

César Cedeño

Resumen

El transporte y la infraestructura vial son elementos clave para el desarrollo urbano y económico. Este estudio responde a la pregunta de investigación: ¿Cuál es el estado funcional actual del pavimento de la calle Pasaje del Sitio El Negrital en la ciudad de Portoviejo, y qué diseño de pavimento sería más adecuado para su rehabilitación? La investigación se centró en la evaluación del estado del pavimento de esta vía estratégica, afectada por un avanzado deterioro debido a la alta demanda de tráfico y condiciones climáticas adversas. Se utilizó la metodología PCI (Pavement Condition Index) para diagnosticar fallas críticas como baches, grietas y fisuras, clasificando el estado del pavimento entre "fallido" y "muy pobre". Este diagnóstico subraya la necesidad urgente de intervención. La metodología se basó en ensayos de laboratorio bajo normativas AASHTO para caracterizar la subrasante y desarrollar un diseño de pavimento rígido adecuado a las características del terreno y la demanda vehicular. Herramientas computacionales como AASHTO 93 y EverFE se emplearon para dimensionar las capas del pavimento, optimizando su resistencia a las cargas proyectadas. Adicionalmente, mediante la metodología de cadenas de Markov, se previó el deterioro futuro de la vía, demostrando que, sin una intervención inmediata, la funcionalidad continuará disminuyendo, afectando la seguridad y comodidad de los usuarios. Los resultados enfatizan la importancia de implementar soluciones estructurales urgentes para garantizar la movilidad sostenible, mejorar la calidad de vida en la zona y evitar impactos negativos en la infraestructura vial.

Palabras clave: PCI, Pavimento, Estado pavimento, Markov

Abstract

Transportation and road infrastructure are key elements for urban and economic development. This study addresses the research question: What is the current functional state of the pavement on Pasaje del Sitio El Negrital street in the city of Portoviejo, and what pavement design would be most suitable for its rehabilitation? The research focused on evaluating the condition of the pavement of this strategic route, affected by advanced deterioration due to high traffic demand and adverse weather conditions. The PCI (Pavement Condition Index) methodology was used to diagnose critical failures such as potholes, cracks, and fissures, classifying the pavement condition as "failed" and "very poor." This diagnosis underscores the urgent need for intervention. The methodology was based on laboratory tests under AASHTO standards to characterize the subgrade and develop a rigid pavement design suitable for the ground characteristics and vehicular demand. Computational tools such as AASHTO 93 and EverFE were used to dimension the pavement layers, optimizing their resistance to projected loads. Additionally, using the Markov chain methodology, the future deterioration of the road was predicted, demonstrating that, without immediate intervention, functionality will continue to decline, affecting the safety and comfort of users. The results emphasize the importance of implementing urgent structural solutions to ensure sustainable mobility, improve the quality of life in the area, and avoid negative impacts on road infrastructure.

Keywords: PCI, Pavement, Pavement Condition, Markov.

Tabla de contenido

Certificado del trabajo de integración curricular	i
Acta de aprobación del tribunal	ii
Declaración de Originalidad	iii
Declaración de derechos de autor	iv
Dedicatoria	v
Agradecimientos	vii
Resumen.....	ix
Abstract	x
Índice de tablas	xiii
Índice de figuras.....	xiv
Introducción	1
Objetivos	3
Objetivo General	3
Objetivos Específicos.....	3
Metodología	4
Diagrama de flujo.	4
Pavimento Asfáltico.....	4
Zona de Estudio	5
Análisis de Tráfico	6
Ensayos de Granulometría AASHTO	8
Ensayos de Humedad Natural	11

Ensayos de Limite Liquido y Limite Plástico AASHTO.....	12
Ensayo de Proctor	15
Ensayo CBR (California Bearing Ratio).....	18
Diseño de Pavimentos Modelos AASHTO 93.....	21
Método PCI (Pavement Condition Index)	22
Condición del pavimento.	24
Pavimento Rígido.....	25
Losa de hormigón	26
Aplicación de Software para Diseño de Pavimento Rígido.....	27
Resultados	30
Discusión.....	47
Conclusiones	50
Referencias bibliográficas.....	52
Anexos	54
Registro fotográfico	55

Índice de tablas

Tabla 1 Índice de condición del pavimento	23
Tabla 2 Clasificación del PCI	24
Tabla 3 Análisis de tráfico calle Pasaje	31
Tabla 4 Resultados de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad	37
Tabla 5 Condición del Pavimento tramo 1.....	41
Tabla 6 Resultados de la evaluación PCI.....	42

Índice de figuras

Figura 1 Mapa de ubicación Calle Pasaje	5
Figura 2 Conteo manual del tráfico vehicular	8
Figura 3 Calicata Calle Pasaje	9
Figura 4 Cuarteo y homogenización de las muestras	10
Figura 5 Tamizado de las muestras.....	10
Figura 6 Ensayo de humedad natural.....	12
Figura 7 Ensayo de límite líquido.....	13
Figura 8 Ensayo de límite plástico.....	14
Figura 9 Ensayo Proctor	17
Figura 10 Proceso final ensayo Proctor	17
Figura 11 Proceso del ensayo CBR	20
Figura 12 Ensayo de cilindros CBR	21
Figura 13 Evaluación del estado de la vía	25
Figura 14 Resultados granulométricos calicata 2-0,5m.....	33
Figura 15 Resultados granulométricos calicata 3-1,0m.....	34
Figura 16 Resultado de humedad natural calicata1-1,50m.....	36
Figura 17 Resultados obtenidos del ensayo Proctor C1	38
Figura 18 Proceso de cálculo del ensayo CBR.....	40
Figura 19 Aplicación de software.....	43
Figura 20 Proyección del estado del pavimento	45

Introducción

El transporte y la infraestructura vial son esenciales para el desarrollo social y económico de las ciudades. Según el informe del Banco Central la economía del país se contrajo en el segundo trimestre de este año un 2,2 % en comparación con el mismo período de 2023, el sector de la construcción fue el más impactado con una reducción del 17 % (Radio Pichincha, 2024). En estas condiciones muchas carreteras de la provincia de Manabí están en pésimas condiciones y requieren de evaluaciones a fondo para optimizar recursos y priorizar intervenciones, como se menciona en (El Diario, 2024).

La calle Pasaje ubicada en la ciudad de Portoviejo, es de los ejemplos más relevantes del deterioro de una vía, el cual se evidencian daños severos como fisuras, baches y hundimientos. El estado actual dificulta la circulación segura, particularmente en la época invernal. Además, esta calle cumple con un rol estratégico a la conectividad urbana agilizando el tránsito a importantes sectores residenciales, comerciales, institucionales, centros de salud y el Registro Civil. La falta de mantenimiento adecuado obliga a los usuarios escoger rutas alternas, tomando en cuenta la urgente necesidad de una intervención técnica y sostenible.

El presente estudio propone un enfoque innovador para abordar estas problemáticas mediante la integración de metodologías avanzadas y herramientas de análisis predictivo. En primer lugar, se empleará el método PCI (Pavement Condition Index), mayormente utilizado para la evaluación del estado funcional del pavimento en países desarrollados. A diferencia de métodos tradicionales mayormente aplicados en el país como la inspección visual y encuestas a la población, el PCI ayuda a un diagnóstico detallado y cuantificable permitiendo priorizar las intervenciones en función del daño observado. Este diagnóstico será complementado con la evaluación exhaustiva de la subrasante mediante ensayos de

laboratorio que cumplan con las normativas internacionales como la AASHTO, garantizando la precisión en la característica del suelo.

Una de las principales innovaciones del estudio se encuentra en la aplicación de cadenas de Markov el cual nos ayuda a modelar el proceso del deterioro a futuro del pavimento. Este enfoque predictivo poco utilizado en las investigaciones locales nos permitirá simular el comportamiento de la vía a futuro, proporcionando una herramienta valiosa para la planificación a largo plazo. Los resultados que se obtuvieron serán utilizados para el diseño de un pavimento rígido acorde a las especificaciones de la calle Pasaje, mejorando la durabilidad y funcionalidad de la infraestructura vial.

A diferencia de estudios anteriores dentro de la región que se limitaban a evaluación cualitativa o intervenciones reactivas, este estudio ayuda a integrar un análisis basado en datos cuantitativos, predicciones de deterioro y diseño estructural adaptado a las necesidades locales. La investigación no solo busca resolver una problemática puntual, sino también sentar un precedente metodológico que pueda replicarse en otras zonas con características similares, contribuyendo al desarrollo de estrategias sostenibles para la gestión de la infraestructura vial en la provincia de Manabí.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar el estado funcional del pavimento mediante la metodología PCI previo al desarrollo de la propuesta de diseño de la calle Pasaje del sitio El Negrital de la ciudad de Portoviejo.

Objetivos Específicos

Analizar el estado en el que se encuentra el pavimento en la calle Pasaje mediante la metodología PCI para la determinación de la serviciabilidad que presenta la misma.

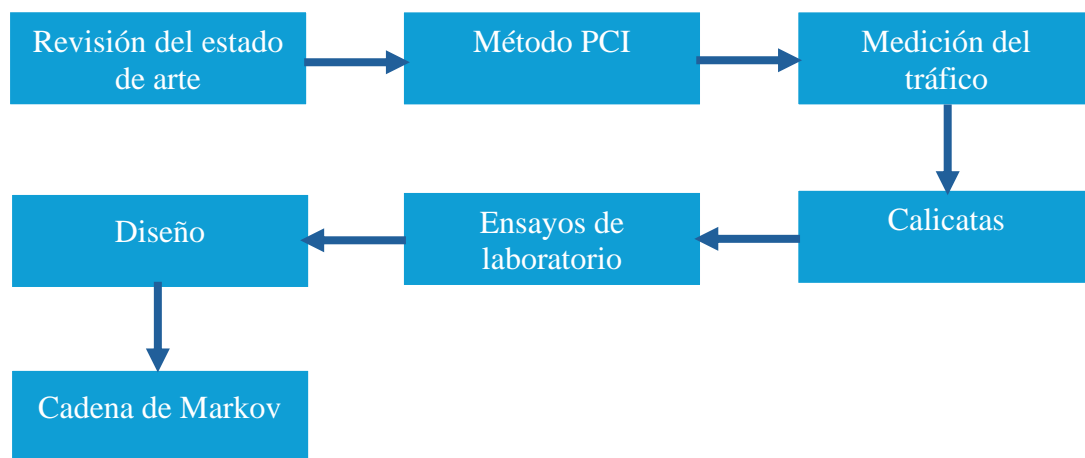
Generar una propuesta de diseño de pavimento rígido de la calle Pasaje contemplando las normativas de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO 93).

Explicar el comportamiento a futuro del pavimento aplicando las predicciones correspondientes mediante el uso de las Matrices de Markov y sus respectivas medidas de mantenimiento.

Metodología

La presente investigación es de tipo descriptiva y se basa en el muestreo de campo, siguiendo las normativas establecidas por la AASHTO. El objetivo fue determinar con precisión la condición actual de la calle en estudio, Pasaje, y su evaluación y análisis en relación con las necesidades identificadas.

Diagrama de flujo.



Pavimento Asfáltico.

Los pavimentos asfálticos o flexibles, compuestos por una carpeta asfáltica que utiliza agregados gruesos y finos, colocados sobre una base granular o subbase, siendo esta una capa soportada por el suelo también conocida como el subgrado o subrasante.

La sección compuesta de pavimento asfáltico típicamente está compuesta de geotextil sobre la subrasante, encima se coloca la capa subbase y bases compuestas de materiales granulares con propiedades diferenciadas, actuando la capa de rodadura asfáltica como material impermeable para evitar contacto del agua con materiales subyacentes a la capa de rodadura (Zambrano, 2016).

Este tipo de pavimento flexionan dependiendo de las cargas aplicadas que son las que circulan sobre él, este tipo de estructura vial regularmente es utilizada en lugares con volúmenes altos de tráfico (Zambrano, 2016).

Zona de Estudio

La investigación se desarrolló en la calle Pasaje, ubicada en el sector El Negrital de la parroquia urbana 18 de Octubre, en la ciudad de Portoviejo. Esta vía conecta directamente con la calle Víctor Vélez y el paso lateral de la ciudad, formando parte de una red vial estratégica, como se expone en la figura 1. Cuenta con una longitud de 1.107 metros, la calle Pasaje constituye un acceso crucial para los residentes de la zona, ya que proporciona una conexión directa al bypass de Portoviejo, facilitando una alternativa de movilidad más eficiente y funcional.

Figura 1
Mapa de ubicación Calle Pasaje



Nota: La vía de color rojo es la calle de estudio Pasaje, con una longitud de 1107 metros, desde su inicio en la calle Víctor Vélez (amarillo) al Paso Lateral (amarillo).

Análisis de Tráfico

En cumplimiento de los criterios establecidos por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), se llevó a cabo un estudio técnico consistente en un conteo manual de vehículos en la zona de análisis. Este proceso se realizó capturando datos de ambas direcciones de circulación de la calle en cuestión. El trabajo se desarrolló durante tres días distintos de la semana (lunes, miércoles y viernes), priorizando los horarios de mayor afluencia vehicular: las horas pico de la mañana, el mediodía y la tarde.

Es fundamental señalar que esta vía se ubica dentro de una zona residencial con potencial crecimiento urbanístico, en la cual se encuentran unidades escolares, fabricas e instituciones gubernamentales en sus alrededores. Los sondeos de tráfico se llevaron a cabo en los horarios de 08:00 a 17:00, lo cual permitió un análisis completo para comprender la dinámica vehicular en el área de estudio. Como se puede apreciar en la figura número 1.

Luego, basándonos en los datos reunidos, se aplicaron procedimientos de mayoración para evidenciar el tráfico vehicular en diversos horizontes provisionales de una semana, un mes y un año. Estas proyecciones permitieron evaluar el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) de la calle Pasaje, esto nos permitió obtener un indicador clave para la ejecución y gestión vial en la zona de estudio.

Durante el proceso de análisis del tráfico, se pudo evidenciar la dificultad a la que se encuentran expuestos los conductores al transitar por la calle Pasaje, dificultad que se hace notoria debido al notable deterioro de la infraestructura vial, dicho esto los conductores deben realizar maniobras lo que procede a ralentizar el flujo vehicular, generando demoras y haciendo el paso por esta calle ineficiente. Estas acciones desarrolladas por los conductores son necesarias para lograr mitigar el riesgo de averías que pueden presentar los vehículos a corto plazo, además de garantizar la seguridad de los transeúntes de la calle Pasaje, esto

evidencia la necesidad de una intervención en la infraestructura para mejorar las condiciones de circulación.

Ecuador no posee una normativa vigente con los debidos estándares en donde especifique alguna metodología en especial que se deba realizar para procesos de evaluación del estado estructural y funcional en relación con la inspección, identificación y clasificación de fallas presentes de una infraestructura vial. Por motivos de la ausencia de una normativa regulada, se optó por la aplicación de la metodología Pavement Condition Index (PCI), la cual es ampliamente ejecutada en los Estados Unidos, siendo este un país modelo que se lo reconoce por su estricta eficiencia en temas de infraestructura vial.

Es importante resaltar que la metodología PCI se encuentra avalada por la normativa de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), lo que asegura su validez técnica y confiabilidad a la hora de evaluar pavimentos; una de las características más significativas de esta metodología es su bajo costo operativo en relación a otros procesos evaluativos que necesitan de equipos especializados, debido a esta razón la metodología PCI toma ventaja ante las otras ya que se centra en la inspección visual, registro y clasificación de las fallas encontradas así como también del cálculo del área de cada una de las fallas ya sea por metro lineal o por metro cuadrado, generando un diagnóstico técnico y preciso del estado actual de una vía sin tener que exponerse a gastos elevados en equipamiento especializado. Por esta razón esta metodología de evaluación la convierte en un proceso optimo y accesible para todo tipo de economías en especial en donde no se disponga muchos recursos para la intervención, facilitando una planificación en temas de mantenimiento y rehabilitación vial.

Figura 2

Conteo manual del tráfico vehicular



Nota: En la figura (a) intersección de la calle pasaje (b) intersección con la calle rotaria (c) medición y conteo de tráfico.

Ensayos de Granulometría AASHTO

Se llevo a cabo un trabajo de campo donde el enfoque fue la recolección programada de muestras de suelo, delimitando el área de estudio en tres tramos de 300 metros de longitud cada uno. En cada tramo se realizó una calicata con una profundidad de 1,5 metros, en donde se recolectó muestras de suelo en intervalos de 0,5 metros. Estas muestras fueron posteriormente enviadas al laboratorio para su análisis y caracterización.

Figura 3
Calicata Calle Pasaje



(a)



(b)

Nota: Imagen de la respectiva medición en la excavación de la calicata (a) Profundidad 0.50m (b) profundidad 1.50m.

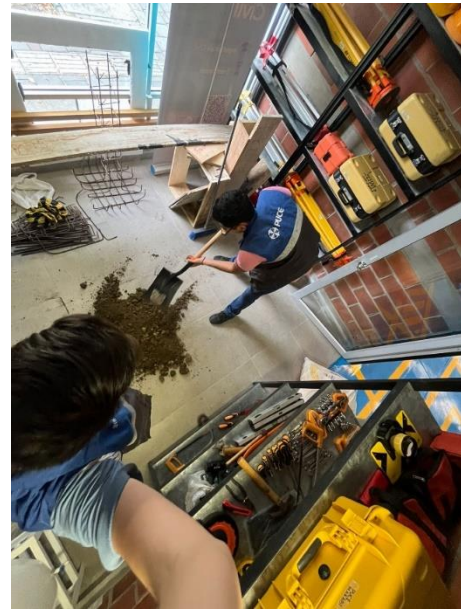
Se llevó a cabo estos estudios tomando como referencia la normativa AASHTO T 248 REDUCING SAMPLES OF AGGREGATE TO TESTING SIZE la cual señala la cantidad de muestra con la que se debe trabajar y posteriormente que tamices utilizar para poder realizar la granulometría, como referencia se tomó la normativa AASHTO T88 Particle Size Analysis of Soils (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2022f), este método detalla un proceso para medir de manera cuantitativa cómo se distribuyen los tamaños de las partículas en los suelos. A la vez se desarrolló el ensayo para analizar el contenido de humedad y se tomó como referencia la normativa T265 Laboratory Determination of Moisture Content of Soils (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2022e), este procedimiento se ocupa de medir en el laboratorio el contenido de humedad de los suelos. Para todos los límites establecidos en esta norma, se debe redondear cualquier valor observado o calculado "a la unidad más cercana" en la

posición más a la derecha de las cifras usadas para expresar el valor límite, según lo indicado en ASTM E29.

Figura 4
Cuarteo y homogenización de las muestras



(a)



(b)

Nota: Realización de cuarteo para muestras (a) de 0,50 metros calicata Tramo 2 (b) cuarteo para muestra de 1.50 metros del Tramo 2.

Figura 5
Tamizado de las muestras



Nota: Ensayos de granulometría para el Tramo 2.

El análisis de los valores obtenidos reveló que el suelo de estudio está compuesto principalmente por material granular y presenta una cantidad significativa de material orgánico. Este hallazgo indica un alto contenido de humedad en el suelo, evidenciado por la reducción considerable en la masa de este en comparación con el valor inicial registrado.

Todos los respaldos de los ensayos se encontrarán en el Anexo B.

Seguido de los ensayos de granulometría continuaremos con los ensayos de humedad natural esperando clasificar nuestras muestras.

Ensayos de Humedad Natural

Se desarrollaron los ensayos de humedad natural para cada muestra de cada calicata, lo que nos da un total de 9 muestras a las que se les llevó a cabo este ensayo, se tomó como referencia la normativa T265-22 (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2022e) en la cual se explica que este método se trata de determinar el contenido de humedad de los suelos, con la ayuda de un horno a una temperatura de alrededor de 110 grados centígrados durante un día. Se tomaron muestras con masas de valores distintos teniendo una muestra menor con una masa de 1426,9 gramos y una mayor con 6323.8 gramos.

Figura 6
Ensayo de humedad natural



Nota: En esta figura se muestra cuando se saca un grupo de muestras secas y a la vez se introduce otro grupo de muestras.

Todos los respaldos de los ensayos se encontrarán en el Anexo B.

Seguido de los ensayos de humedad natural continuaremos con los ensayos de Límites líquido y plástico esperando clasificar nuestras muestras.

Ensayos de Límite Líquido y Límite Plástico AASHTO

Se realizaron los respectivos ensayos para límites, donde nos centramos como eje principal en la normativa T89-22 Determining the Liquid Limit of Soils (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2022) la cual es un proceso primordial en la mecánica de suelos, ya que pretende medir el contenido de agua en base a la muestra de suelo obtenida por el proceso de granulometría; este ensayo expone como un suelo logra pasar de un estado plástico a uno líquido. Este ensayo es vital para conseguir valores los cuales nos permita identificar el tipo de suelo que tenemos y las distintas propiedades que posee, como su capacidad de soporte y comportamiento ante cargas.

Para entender el límite líquido de un suelo se debe desarrollar el ensayo en un laboratorio mediante un equipo que evalúa cómo el suelo se comporta al mezclarse con agua, hasta que comienza a fluir tras recibir un número determinado de golpes o movimientos.

La normativa T88-22 menciona que la muestra de suelo se debe combinar con 15-20 ml de agua destilada o desmineralizada en porciones de 1-3 ml, alternando la mezcla mediante agitación, amasado y picado. No se debe añadir más suelo seco tras iniciar la prueba. Si la muestra tiene demasiada humedad, debe ser eliminada o amasada hasta reducir el agua por evaporación. Una vez que el suelo tiene una consistencia uniforme y rígida, se coloca en la copa del dispositivo y se recorta a una profundidad de 10 mm. Se deben evitar burbujas de aire, y se crea una ranura central con el instrumento adecuado. En varias pruebas, se deben realizar entre 15 y 35 golpes, con una diferencia mínima de 10 golpes entre las determinaciones.

Figura 7
Ensayo de límite líquido



(a)



(b)

Nota: (a) En esta figura se muestra el mezclado de la muestra de suelo con agua para posteriormente ser colocada en la copa Casagrande. (b) Realización del ensayo de límite utilizando equipos manuales como la copa de Casagrande.

A la vez se desarrollaron los ensayos de límite plástico de cada muestra el cual se tomó como guía la normativa T90-22 Determining the Plastic Limit and Plasticity Index of Soils (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2022) la misma que da referencia al procedimiento que se debe llevar a cabo de forma correcta para llegar a los valores indicados sin alteraciones. Este ensayo se basa en separar una porción de alrededor de 10 g de la muestra húmeda y mezclada del ensayo T89-22, esta debe ser lo suficientemente plástica para moldearse en forma de bola sin pegarse excesivamente en las manos al ser presionada. Para llevar a cabo este ensayo existen algunos métodos, pero este proyecto de tesis se basó en el Método de Enrollado Manual en cual consiste en enrollar la masa con la palma o los dedos de la mano sobre una placa de vidrio, se debe utilizar una porción de 1.5 a 2.0 g y luego hacer pequeños hilos con un diámetro de alrededor de 3mm y este no debe fisurarse hasta llegar al diámetro requerido anteriormente. La normativa deja en claro algunas indicaciones como el tiempo estimado de enrollar sea de 2 minutos y durante este tiempo los movimientos sean de alrededor de 80-90 por minuto.

Figura 8
Ensayo de límite plástico



Nota: En esta figura se evidencia la realización del ensayo de límite plástico con ayuda de la placa vidrio y el dispositivo de acrílico para el respectivo rodado.

En cada ensayo de límite líquido se tomaron 4 especímenes con diferente número de golpes dentro de los rangos establecidos por la normativa y por otro lado en el límite plástico realizado se tomaron 3 especímenes, de esta manera se llevaron al horno por un día a 110 grados centígrados, todo esto para lograr llegar a un análisis más puntual con un grado de asertividad mayor a la hora de exponer los resultados.

Todos los respaldos de los ensayos se encontrarán en el Anexo B.

Seguido de los ensayos de Límites líquido y plástico continuaremos con el ensayo de Proctor esperando clasificar nuestras muestras.

Ensayo de Proctor

El ensayo de proctor es una prueba destinada para determinar la relación entre el contenido de humedad y densidad de los suelos a la hora de ser compactados mediante un molde de un tamaño determinado y un martillo o pisón de 4.54 kg (10 lb) caído desde una altura de 457 mm (18 in). Este ensayo se respalda en la normativa T180-22 Standard Method of Test for Moisture–Density Relations of Soils Using a 4.54-kg (10-lb) Rammer and a 457-mm (18-in.) Drop (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2022c), la cual proporciona cuatros procedimientos como alternativas a seguir para el desarrollo correcto del ensayo.

En esta investigación se adoptó el Método D, el cual establece un conjunto de especificaciones técnicas a seguir para la compactación y análisis de suelos. Se empleó un molde con un diámetro de 152.40 mm (6 pulgadas), en el cual el material de ensayo fue previamente tamizado, seleccionándose la fracción pasante a través del tamiz de 3/4 pulgadas.

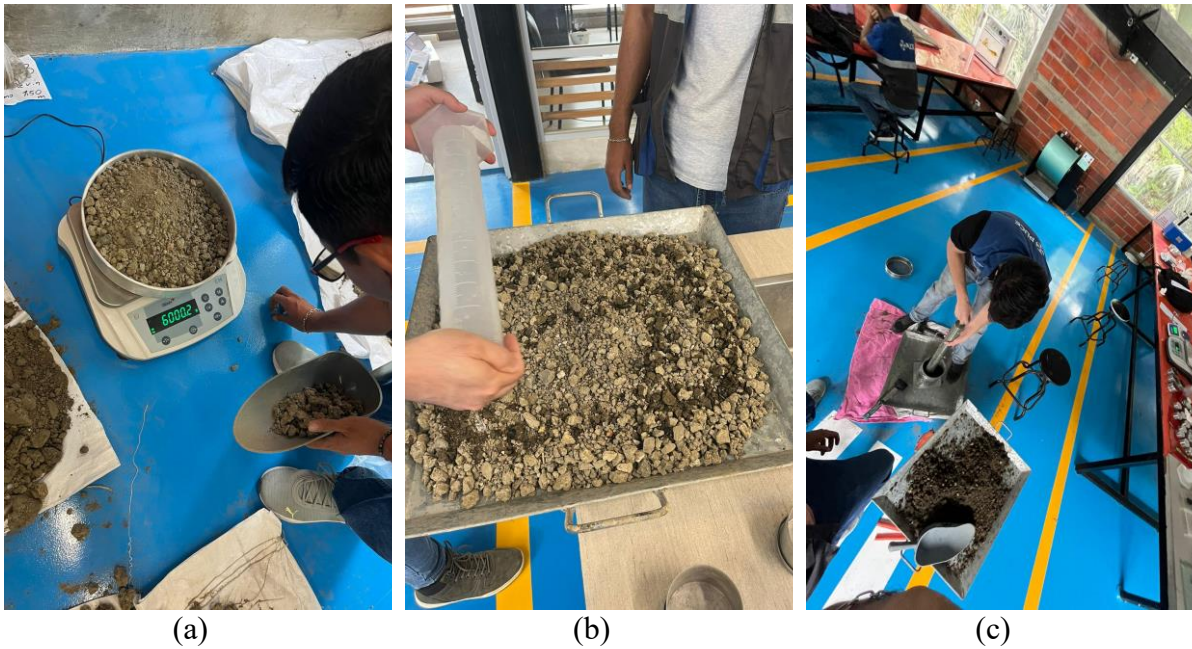
Se recolectaron cuatro muestras de aproximadamente 6000 g por cada calicata, lo que resultó en un total de 12 muestras. A cada una de estas muestras se les añadió agua en

diferentes proporciones, siguiendo un rango de humectación del 4%, 8%, 12% y 16% con respecto al peso de las muestras.

Posteriormente, se procedió con la compactación de las muestras utilizando un molde provisto de collarín. El suelo fue compactado en 5 capas, aplicándose 56 golpes de compactación con un martillo estándar en disposición espiral para cada capa. Tras la compactación, se retiró el collarín para medir la masa de la muestra compactada y determinar el incremento de peso producto de la absorción de agua.

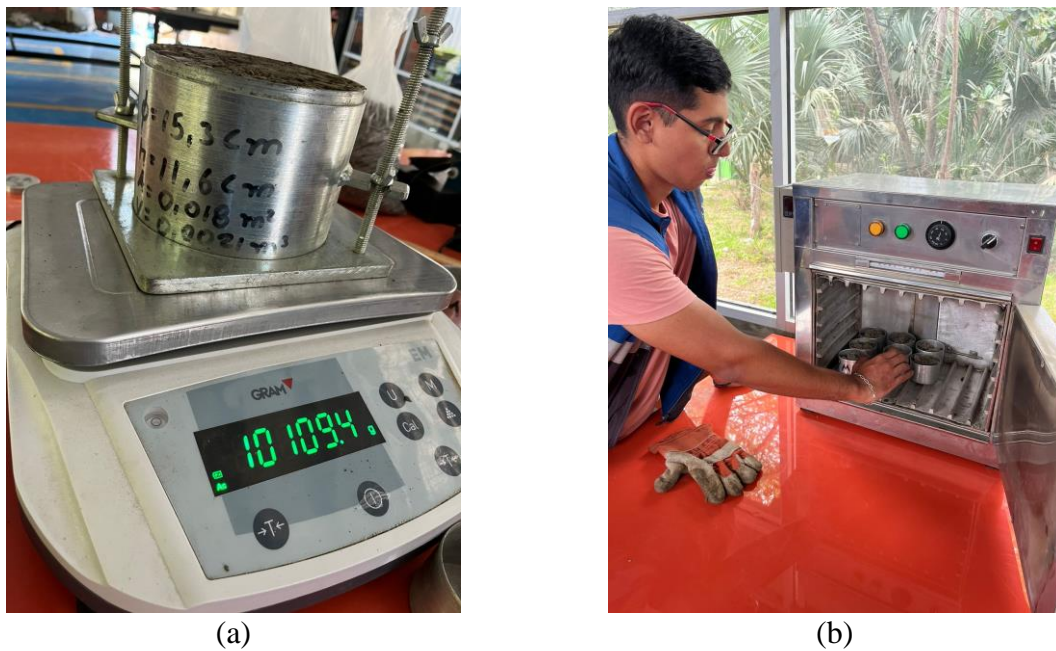
Finalmente, se extrajeron dos especímenes de cada muestra compactada, obteniéndose un total de 8 especímenes por calicata. Cada espécimen fue sometido a un proceso de secado en horno a 110°C durante 24 horas para determinar su contenido de humedad. Este procedimiento permitió obtener una relación precisa entre la humedad y la densidad de las muestras de suelo analizadas, proporcionando datos fundamentales para el estudio geotécnico.

Figura 9
Ensayo Proctor



Nota: En la figura (a) se expone el proceso de pesaje de la muestra que era de alrededor de 6000g. (b) Proceso de humectación de la muestra teniendo como referencia los porcentajes de agua a utilizar. (c) Proceso de compactación de la muestra en los cilindros utilizando el martillo.

Figura 10
Proceso final ensayo Proctor



Nota: (a) Determinación de la masa de la muestra en el molde posterior a la compactación. (b) Se evidencia el proceso de secado especímenes utilizando el horno del laboratorio de suelos

Todos los respaldos de los ensayos se encontrarán en el Anexo B.

Seguido del ensayo de proctor continuaremos con el ensayo de CBR esperando clasificar nuestras muestras.

Ensayo CBR (California Bearing Ratio)

El ensayo de CBR se llevó a cabo siguiendo los lineamientos establecidos en la normativa T-193-22 California Bearing Ratio (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2022d), la cual define este ensayo como un procedimiento para evaluar la resistencia potencial de los materiales utilizados en las capas de subrasante, subbase y base de los pavimentos de carreteras. Este ensayo es una herramienta clave en el diseño de pavimentos en carreteras, ya que proporciona un índice para caracterizar la capacidad portante de los materiales sometidos a condiciones de carga similares a las del servicio real.

Para la ejecución del ensayo, se determinaron inicialmente las humedades naturales presentes en las muestras, con base en los valores obtenidos del contenido de agua y densidad seca máxima a partir del ensayo de compactación Proctor Modificado T-180-22. Este paso es esencial para asegurar que las condiciones originales de las muestras recolectadas representen las condiciones reales del material de campo en su estado natural.

Luego se tomaron tres especímenes de cada una de las calicatas lo que nos representó un total de nueve muestras con masas uniformes de 7000 g cada una. Antes de desarrollar el proceso de compactación, se cumplió en lo que la normativa establece que todas las muestras sean sometidas a un proceso de tamizado por medio del tamiz de $\frac{3}{4}$ de pulgada (19 mm), todo esto para garantizar una adecuada granulometría y mitigar el paso de partículas con un tamaño mayor en los resultados del ensayo.

El ensayo de CBR se desarrolló en base a procedimientos técnicos normados que resaltaba cada paso, siendo uno de los primeros pasos la compactación de las muestras en tres capas. La primera compactación se la realizo con 10 golpes, seguido de 30 golpes y finalmente la última compactación de 65 golpes por cada capa, esto se generó para evaluar el efecto de la energía en cada compactación, siendo esto crucial para más adelante su interpretación mediante los resultados en el cálculo del ensayo.

Cabe señalar que antes del proceso de compactación se aplicó un peso calibrado el cual fue cubierto por papel filtrante para de esta manera garantizar una respectiva uniformidad en el proceso y poder evitar la adherencia del material, logrando preservar la muestras en un correcto estado.

En el proceso de este ensayo se registraron las distintas masas de cada uno de los cilindros antes y después de colocar las muestras en su interior, en donde se pudo observar una variación en la masa de los cilindros entre 5600 y 6300 gramos, dicha variación fue considerada a la hora de ajustar los cálculos en el apartado de densidad seca.

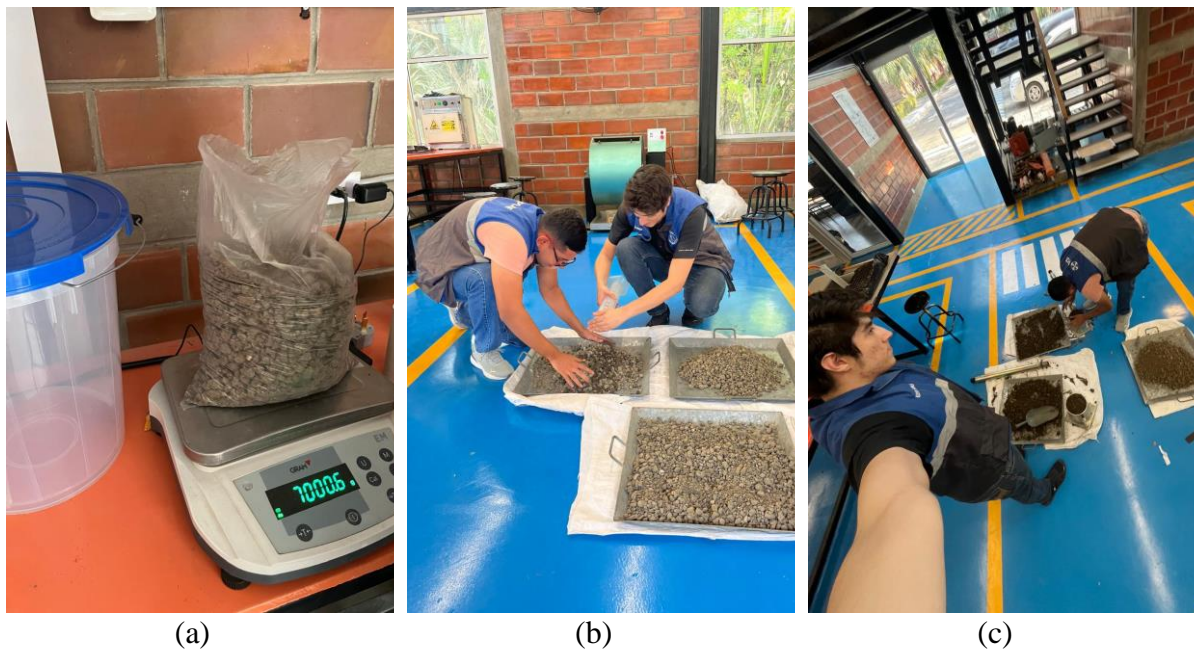
Posteriormente al tener nuestras muestras compactadas dentro de los cilindros, estos fueron llevados a la piscina con agua del laboratorio en donde fueron sumergidos durante un periodo de cuatro días, con la finalidad de simular condiciones de saturación total en la que se puede encontrar nuestro suelo a futuro. Este paso es de vital importancia en el ensayo de CBR ya que por medio de este paso nos permite evaluar el comportamiento del suelo bajo condiciones significativas de humedad máxima, ya que se busca replicar escenarios de servicio en campo.

Finalmente se procedió al análisis de cada una de las muestras mediante la aplicación de una prensa de carga para ensayos de CBR, la cual nos permitió obtener valores de esfuerzo que poseía nuestro suelo, todo esto por medio de las lecturas que nos proporcionó el dial.

Estos valores encontrados fueron aplicados para comprender la respuesta del material frente a cargas aplicadas y de esta manera verificar su correspondiente grado de saturación alcanzado después de la inmersión en agua. Este procedimiento rectifica la validez de los resultados obtenidos y brinda datos confiables para desarrollar su evaluación sobre la capacidad portante del material en condiciones controladas.

Figura 11

Proceso del ensayo CBR



Nota: En la figura (a) se evidencia el pesaje de las muestras con una cantidad aproximada de 7000 g. (b) Evidencia del proceso de humectación de las muestras. (c) Se evidencia el desarrollo del ensayo de Cbr, en el paso de compactar el suelo dentro de los moldes con ayuda del martillo.

Figura 12
Ensayo de cilindros CBR



(a)



(b)

Nota: En la figura (a) se muestran los cilindros sumergidos bajo agua. (b) Se expone el proceso final del ensayo de CBR con la prensa de carga.

Todos los respaldos de los ensayos se encontrarán en el Anexo B.

Seguido del ensayo de CBR continuaremos con el diseño de nuestro pavimento rígido, basándonos en los datos obtenidos a través de los ensayos de campo y la toma de muestras de tráfico en la calle de estudio y de la condición actual de la calle mediante la aplicación de la metodología PCI.

Diseño de Pavimentos Modelos AASHTO 93

El modelo de diseño en pavimentos más utilizado y considerado el más pertinente para el entorno local ecuatoriano, es el modelo de diseño según la AASHTO 93, que inicialmente fue realizada para diseñar carreteras en los Estados Unidos de Norte América, por la adecuada metodología constructiva aplicada, es una de las más utilizadas a nivel mundial, con las distintas adecuaciones previas que se realizan según la zona geográfica donde se aplique (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993).

Método PCI (Pavement Condition Index)

El método PCI, o Índice de Condición del Pavimento, es un procedimiento que se basa en la evaluación visual para determinar el estado del pavimento. Este método involucra inspecciones visuales que permiten identificar las fallas y clasificarlas con respecto a su clase, severidad y cantidad de fallas presentes en el pavimento. Esta metodología se destaca por tener un enfoque que resalta su facilidad a la hora de implementarse, prescindiendo de herramientas especializadas. El desarrollo de este método se lo llevó a cabo entre 1974 y 1976 por el centro de Ingeniería de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, con la finalidad de constituir un sistema de gestión de mantenimiento para pavimentos rígidos y flexibles (ASTM International, 2023).

Esta metodología es renombrada por ser integra y objetiva a la hora de desarrollar una respectiva evaluación de pavimentos lo que ha permitido que se la considere como un proceso aceptado y estandarizado. Diferentes instituciones entre ellas el Departamento de los Estados Unidos y la Asociación Americana de Obras Públicas (APWA), lo han incorporado como una herramienta estándar. También la ASTM lo ha publicado como un método de análisis y aplicación con el de Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos (ASTM International, 2023).

El cálculo del Índice de Condición del Pavimento (PCI) se desarrolló bajo un proceso sistemático el cual se basó en la identificación y registro de fallas presentes en la calle Pasaje. Este análisis se lo realizó segmentando la vía en 11 tramos, cada uno con una longitud de 100 metros. La recopilación de estos datos se la realizó utilizando equipos manuales, como el odómetro y cintas métricas, lo que nos permitió inspeccionar y medir con mayor precisión las áreas y longitudes de las fallas identificadas en cada uno de los tramos.

Este procedimiento en el cual la vía fue segmentada por tramos nos facilitó la elaboración de un inventario detallado de las fallas logrando categorizarlas según su ubicación específica en la vía. Posteriormente se realizó una clasificación de las fallas halladas según su tipo, severidad y frecuencia. Esta metodología permitió identificar las secciones de la calle que se encuentran con un mayor deterioro, donde a la vez se consideró factores externos como las cargas vehiculares y las condiciones climáticas a las que se encuentra expuesta la calle Pasaje.

La información obtenida a partir de este análisis minucioso resultó de gran relevancia para evaluar el estado estructural y funcional de la vía, proporcionando una base técnica sólida para la planificación en intervenciones de mantenimiento y rehabilitación, en donde el enfoque sea la optimización de recursos para la mejora de la infraestructura vial de la calle Pasaje.

El PCI se expresa como un índice numérico que varía de cero (0), indicando un pavimento en mal estado o fallado, a cien (100), representando un pavimento en perfecto estado (ASTM International, 2023).

Tabla 1
Índice de condición del pavimento

Índice de condición del pavimento	Clasificación
86 - 100	Excelente
70 - 86	Muy bueno
56 - 70	Bueno
40 - 56	Regular
25 - 40	Malo
10 - 25	Muy malo
0 - 10	Fallado

Nota: Tabla de condición del pavimento teniendo en cuenta su estado funcional.

Fuente: (ASTM International, 2023)

Condición del pavimento.

Es la narración verbal que describe la condición del pavimento en relación con el valor del Índice de Condición del Pavimento, el cual experimenta variaciones en función de su clasificación, que va desde excelente hasta fallado (ASTM International, 2024) Cabe destacar que todo pavimento, durante su período de operación, experimenta diversas condiciones de servicio a lo largo de su vida útil. Aunque los daños pueden ser mínimos al inicio de su funcionamiento, con el tiempo, si no se llevan a cabo las labores necesarias de conservación y mantenimiento, es probable que se vuelvan más graves, afectando su estado de servicio. (ASTM International, 2023)

Tabla 2
Clasificación del PCI

Clasificación del PCI	Intervención en el pavimento
100 - 85	Mantenimiento Preventivo
85 - 65	Mantenimiento Preventivo - Rutinario - Periódico
60 - 40	Mantenimiento correctivo
40 - 25	Rehabilitación - refuerzo estructural
Menor a 25	Rehabilitación - Reconstrucción

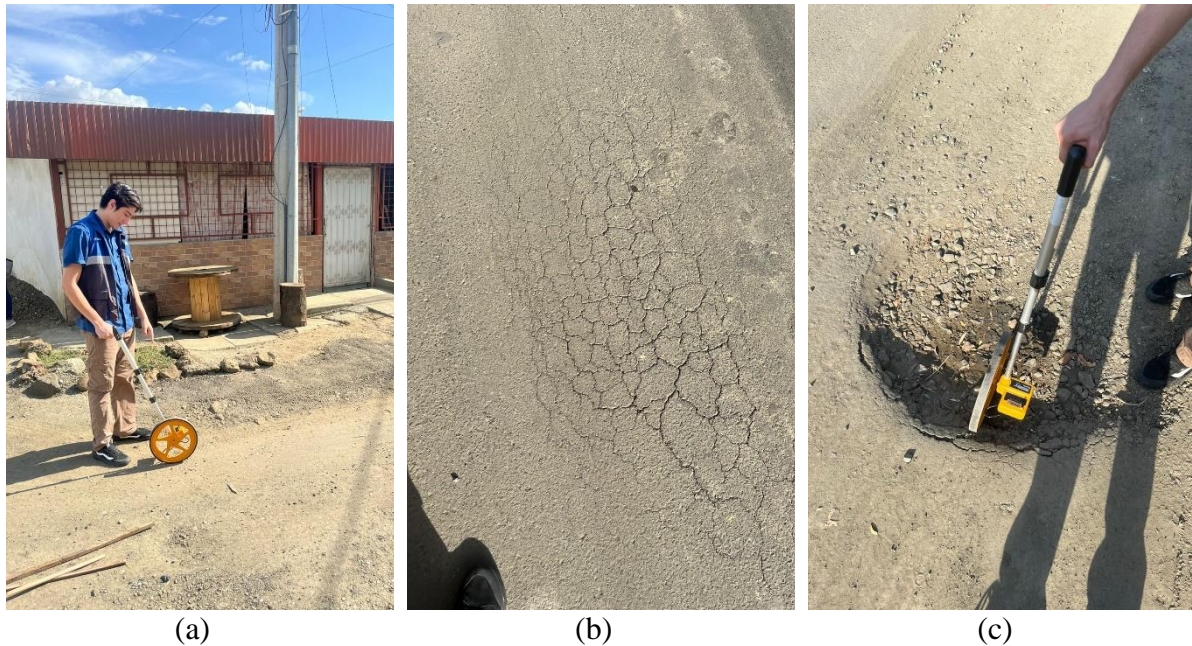
Nota: Esta tabla representa la clasificación de intervención según el estado actual de estudio de la vía.

Fuente:

ASTM International. (2023). *Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys*. Washington DC: ASTM.

Figura 13

Evaluación del estado de la vía



Nota: En la figura (a) se muestra la modalidad que se utilizó para evaluar el estado de la calle. (b) Se expone una falla de piel de cocodrilo en una sección de la calle. (c) Se muestra la medición de un bache mediante el odómetro.

Todos los respaldos de los ensayos se encontrarán en el Anexo C.

Pavimento Rígido

Un pavimento de concreto o rígido se compone principalmente de una losa de concreto simple o armado que descansa directamente sobre una base o subbase. Debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, la losa de concreto absorbe la mayor parte de las fuerzas aplicadas sobre el pavimento donde distribuye eficientemente las cargas de las ruedas hacia la subrasante generando tensiones mínimas en esta misma. Por el contrario, en los pavimentos flexibles que por naturaleza son menos rígidos, las fuerzas se transfieren hacia las capas inferiores, dando como resultado tensiones mayores en la subrasante (AASHTO 93).

Los elementos que conforman un pavimento rígido son: subrasante, subbase y la losa de concreto

Subrasante: La subrasante se refiere al terreno natural o preparado que se compacta para servir como una respectiva base para el proceso constructivo de un pavimento. Su rol principal es proporcionar un soporte uniforme y estable, en donde se evite cambios repentinos en su capacidad de soporte. Es crucial evitar la expansión del suelo para mantener la estabilidad de la subrasante (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993).

Subbase: La subbase es una parte esencial en la estructura de un pavimento rígido, se encuentra ubicada entre la subrasante y la losa rígida. Está compuesta por una o varias capas compactadas de material granular o estabilizado. Una de sus principales funciones es evitar el fenómeno de bombeo en suelos finos. Se requiere la presencia de subbase en situaciones donde la combinación de suelos, agua y tráfico pueda provocar el bombeo, siendo común en el diseño de pavimentos para carreteras principales y áreas con tráfico pesado (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993).

Además de sus roles principales, también se espera que la subbase cumpla con las siguientes funciones:

- Garantizar uniformidad, estabilidad y soporte consistente.
- Aumentar el módulo (K) de reacción de la subrasante.
- Reducir los efectos perjudiciales causados por las heladas.
- Ofrecer drenaje adecuado en caso de ser necesario.
- Servir como una superficie de trabajo para los equipos de construcción.

Losa de hormigón

La losa está compuesta de concreto de cemento Portland. Se determina el factor mínimo de cemento mediante pruebas de laboratorio y experiencias anteriores en cuanto a

resistencia y durabilidad. En casos donde sea necesario resistir el deterioro superficial debido a ciclos de hielo-deshielo, la presencia de sales, o para mejorar la manejabilidad de la mezcla, se utilizará concreto con aire incorporado (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993).

El diseño de pavimento rígido es un proceso crucial que implica considerar diversos factores para

garantizar la durabilidad y resistencia de la estructura, algunos aspectos relevantes incluyen el tipo de suelo, el tráfico esperado, el espesor de la losa, la resistencia del hormigón y la capacidad de carga del pavimento. Además, el método AASHTO se utiliza para el diseño de pavimentos rígidos involucrando cálculos detallados para determinar el espesor de la losa, el módulo de reacción efectivo de la subrasante, la confiabilidad y desviación estándar, entre otros aspectos.

La capa subrasante es fundamental en el diseño de pavimentos rígidos, ya que proporciona la cimentación del pavimento y soporta las cargas transmitidas. La calidad de esta capa influye en el espesor del pavimento y en los costos asociados al proyecto (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993).

Aplicación de Software para Diseño de Pavimento Rígido.

La creación de programas de software para facilitar y optimizar los procesos de cálculo en el diseño estructural, especialmente en la determinación del espesor de losa en pavimentos rígidos, convierte en una herramienta de gran importancia en la actualidad, basándonos en este principio, en la presente investigación se aplicó el uso de programas especializados para optimizar los tiempos y generar un trabajo donde los procesos sean eficientes, teniendo en cuenta esto, se implementó el uso de software AASHTO 93, para el

cálculo del espesor de la losa de concreto, donde se consideró una serie de parámetros previamente determinados y respaldados por normativas técnicas.

El primer paso fue ingresar los valores obtenidos mediante el ensayo de CBR (California Bearing Ratio) de la subrasante y de la base, adicional a esto se incluyeron datos primordiales como el tráfico de diseño calculado en función de los ESSALS (Ejes Simples Equivalentes a Carga Estándar), los cuales se determinaron por medio del análisis del volumen de tráfico y la distribución de los ejes equivalentes de los vehículos con mayor peso.

De igual manera se incluyeron los valores de índice de servicio inicial y final proyectados para la vía, todo esto basado en tablas numéricas estandarizadas que definen la serviciabilidad esperada en función del tipo de pavimento correspondiente. Cabe destacar que todos estos parámetros se encuentran alineadas con los parámetros establecidos por la normativa AASHTO 93.

Se introdujeron más datos en el software como lo fueron la confiabilidad esperada de la calle, la desviación estándar del diseño, el coeficiente de transmisión de carga, y el coeficiente de drenaje, todos estos datos respaldados por tablas y valores de referencia proporcionados por la misma normativa. Adicionalmente, se añadieron especificaciones técnicas del concreto, tales como su resistencia a compresión, el módulo de elasticidad, y el módulo de rotura, parámetros necesarios para garantizar la precisión en el diseño estructural del pavimento rígido.

Luego, con el diseño preliminar obtenido se llevó a cabo el respectivo análisis para conocer las deformaciones y tensiones que podría experimentar la vía durante su vida útil. Para esta etapa fue necesario la aplicación del software EverFE, el cual permite desarrollar modelaciones y a su vez evaluar el comportamiento mecánico del diseño de pavimento rígido bajo las condiciones de cargas definidas anteriormente. Este análisis facilitó la validación de

la propuesta inicial y poder ajustar en caso de que sea necesario los valores de diseño para cumplir con los requerimientos funcionales y de durabilidad del pavimento.

En síntesis, esta sección de la metodología se estructuró en dos fases principales: el diseño del espesor de la losa mediante el AASHTO 93, basándose en parámetros técnicos y normativas, y la segunda fase en el análisis y verificación de las deformaciones y tensiones que podría presentar nuestro pavimento mediante la simulación computacional del software EverFE. Esto asegura un enfoque integral y una planificación precisa para el diseño del pavimento rígido en la vía de estudio.

Todos los respaldos de los ensayos se encontrarán en el Anexo D

Resultados

Los resultados alcanzados durante el proceso de toma y análisis de muestras en campo fueron satisfactorios, de esta manera se pudo interpretar de manera precisa las características de la zona de estudio, especialmente de la calle Pasaje. Este análisis permitió profundizar el grado de importancia que posee esta conexión vial en el contexto del crecimiento acelerado del sector urbano en el que se encuentra.

A través de los datos obtenidos, se logró ejecutar un análisis detallado del tipo de suelo presente en el área, lo cual fue posible mediante una serie de ensayos exhaustivos llevados a cabo en el laboratorio de suelos de la Universidad. Simultáneamente, se evaluó el volumen de tráfico vehicular que transcurre por esta calle, en especial en los horarios de mayor flujo vehicular registrados como horas pico. Esta información fue crucial para luego ser complementada con la respectiva evaluación técnica del estado actual de la vía, donde se pudo clasificar las fallas existentes según diversos factores, empleando como marco metodológico el Pavement Condition Index (Vásquez Varela, 2024).

La realización de estos estudios brindó una base técnica sólida para diseñar un modelo estructural de pavimento rígido que no solo satisfaga las demandas funcionales de la vía, sino que también se ajuste a las necesidades específicas de seguridad, eficiencia y comodidad de los usuarios. Este enfoque integral garantiza que la intervención propuesta sea sostenible y acorde a los requerimientos presentes y futuros de esta importante arteria vial.

Uno de los aspectos clave abordados en esta investigación fue el análisis exhaustivo del tráfico vehicular en la zona de estudio. Este proceso permitió medir y categorizar los volúmenes de tránsito, diferenciando entre vehículos livianos y pesados que transitan por la calle analizada en periodos de tiempo previamente definidos. La información obtenida brindó datos cuantitativos esenciales para comprender los patrones de movilidad y su efecto en la

vía. Los resultados de este análisis se presentan detalladamente en la Tabla 3, donde se resume la distribución y frecuencia del tráfico vehicular en los intervalos evaluados.

Tabla 3
Análisis de tráfico calle Pasaje

TIPO DE VEHÍCULO	DIARIO	SEMANAL	MENSUAL	ANUAL
VEHICULOS LIVIANOS	1834	12838	51352	616224
BUSES URBANOS	27	189	756	9072
CAMIONES PEQUEÑOS 2 EJES (2DA)	87	609	2436	29232
CAMIONES GRANDES 2 EJES (2DB)	24	168	672	8064

Nota: Esta tabla representa los vehículos y la cantidad que transita en un periodo determinado.

En la tabla presentada se evidencia de manera precisa la clasificación de los diversos tipos de vehículos que transitan por la calle de estudio, basándose en la información recolectada en los horarios de mayor afluencia vehicular durante el día, lo que permitió conocer el comportamiento del flujo vehicular de la zona en especial de la calle Pasaje. A este análisis se le incluyó la aplicación de factores de mayoración, para poder extrapolar los datos obtenidos a periodos de tiempo más amplios, tales como mensual y anual, de esta manera logró obtener un modelo predictivo del tránsito vehicular de dicha calle.

Es importante señalar que esta calle se ubica en una zona cercana a instituciones importantes para la población como lo son centros de educación, centros de atención médica, registro civil, comando policial, entre otros; lo cual constituye un factor determinante en la evolución del flujo vehicular a futuro. A partir de este análisis, se logró interpretar las tendencias actuales de la zona considerando además las proyecciones de desarrollo urbano, los cuales interpreta que el flujo vehicular aumentara de manera exponencial en los próximos años. Este comportamiento anticipado está estrechamente relacionado con el crecimiento

demográfico y económico del sector, así como con el incremento esperado en la densidad habitacional y la actividad comercial. Como se evidencia en la Figura número 1.

La información derivada de este estudio no solo proporciona una visión detallada del estado actual del tráfico, sino que también establece una base técnica fundamental para la planificación y diseño de infraestructura vial que responda a la funcionalidad y sostenibilidad a largo plazo.

Posteriormente, se obtuvieron los resultados correspondientes a los distintos ensayos realizados, destacándose entre ellos el análisis granulométrico. Este ensayo fue aplicado a las muestras recolectadas en las tres calicatas excavadas, considerando las tres profundidades previamente establecidas para cada una de ellas. Los datos obtenidos proporcionaron una primera aproximación al comportamiento y características texturales del suelo en las diferentes capas analizadas, constituyendo un insumo clave para las siguientes fases del estudio.

A pesar de las diferencias identificadas tras realizar los ensayos granulométricos, se hallaron similitudes significativas que permitieron caracterizar el tipo de suelo presente en la zona de estudio. Una de las principales similitudes fue que el material, en su mayoría, es granular y presenta una elevada proporción de partículas que pasan por el tamiz N4. Los valores obtenidos oscilaron entre 1596,6 g y 8214,6 g, siendo la mayoría cercanos a 2500 g.

La muestra con menor peso (1596,6 g) provino de la calicata 3 a una profundidad de 1,5 m, mientras que la de mayor peso (8214,6 g) se obtuvo en la calicata 2 a una profundidad de 0,5 m. En la calicata 3 predominó el material grueso, principalmente grava, mientras que en la calicata 2 el material presentó mayor humedad y rastros de materia orgánica, como vegetación.

El análisis detallado del material de la calicata 3 permitió clasificar el suelo de esta ubicación como un elemento clave para el estudio. A 1,0 m de profundidad, la composición granulométrica mostró un 81,7% de grava, un 5,0% de arena y un 13,3% de material fino. A 1,5 m de profundidad, los porcentajes variaron a un 65,0% de grava, un 10,2% de arena y un 24,7% de material fino.

En cuanto a los valores de humedad, se realizó una diferenciación entre material grueso y material fino. En el material grueso los valores de humedad oscilaron entre un mínimo de 1,57% y un máximo de 18,57%. Por otro lado, en el material fino, los valores variaron entre un mínimo de 7,73% y un máximo de 23,58%.

Estos resultados permitieron obtener una información relevante para la caracterización del suelo en las diferentes profundidades y zonas de estudio, destacando primordialmente las variaciones en la granulometría y humedad como factores claves para la interpretación de las propiedades del terreno. Esto se puede percibir en la figura 14.

Figura 14
Resultados granulométricos calicata 2-0,5m

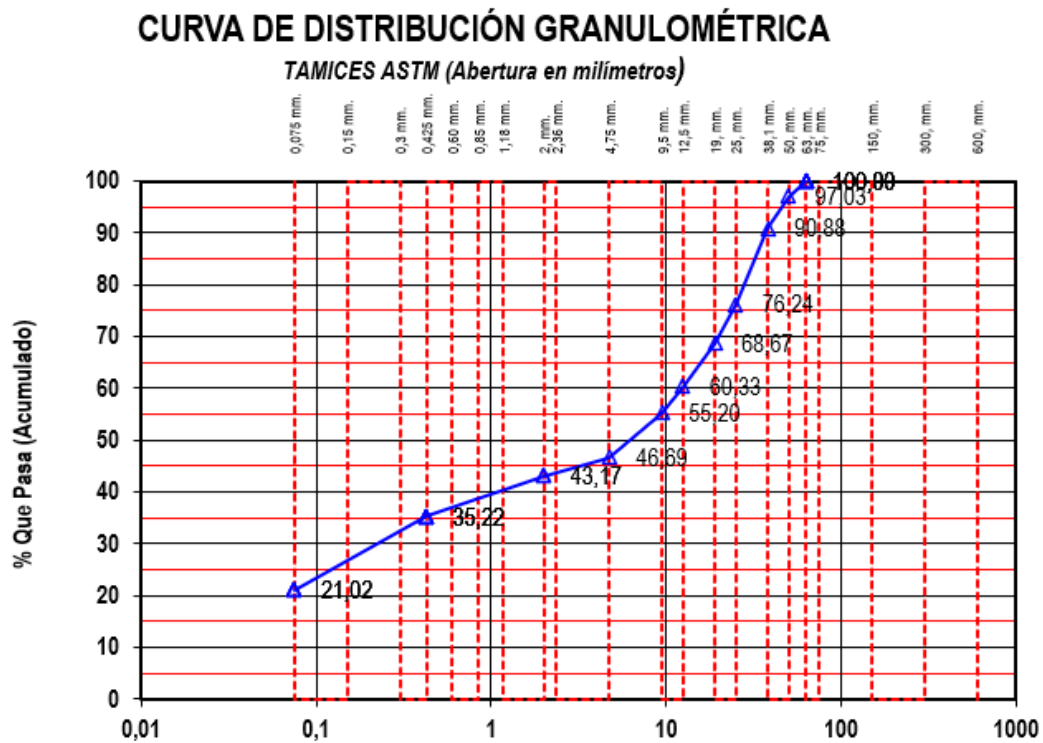
Ensayo de Contenido de Humedad	Material Serie	
	Gruesa	Fina
Recipiente N°	P	A
Masa de Recipiente + Muestra Húmeda (P1)	5710,20	252,20
Masa de Recipiente + Muestra Seca (P2)	5311,50	213,90
Masa de Agua (P3 = P1 - P2)	398,70	38,30
Masa del Recipiente (P4)	149,70	51,50
Masa de Muestra Seca (P5 = P2 - P4)	5161,80	162,40
% de Humedad (W = P3 × 100 ÷ P5)	7,72	23,58

SERIE GRUESA			
Tamiz ASTM Abertura / N°.	Masa Retenida		% Pasante Acumulado
	Parcial	Acumulada	
600, mm. 24 "			
300, mm. 12 "			
150, mm. 6 "			
75, mm. 3 "			
63, mm. 2 ½ "	0	0,0	100,0
50, mm. 2 "	455,1	422,5	97,0
38,1 mm. 1 ½ "	944,1	1298,9	90,9
25, mm. 1 "	2245	3382,9	76,2
19, mm. ¾ "	1160,4	4460,1	68,7
12,5 mm. 1/2 "	1279	5647,4	60,3
9,5 mm. 3/8 "	787,1	6378,1	55,2
4,75 mm. No. 4	1303,9	7588,5	46,7
Pasa No. 4	8214,6	6646,990732	

(a)

<i>Distribución del Tamaño de las Partículas</i> <i>Valores expresados en Porcentajes</i>			
Pedron Rodado			0,0
Canto Rodado			0,0
Grava	Gruesa	31,3	53,3
	Fina	22,0	
Arena	Gruesa	3,5	25,7
	Media	8,0	
	Fina	14,2	
Finos			21,0

(b)



(c)

Nota: En la figura (a) se aprecian los valores obtenidos tras tamizar la muestra en los diferentes tamices. (b) Clasificación del material de muestra. (c) Curva de distribución granulométrica de la muestra estudiada.

Figura 15
Resultados granulométricos calicata 3-1,0m

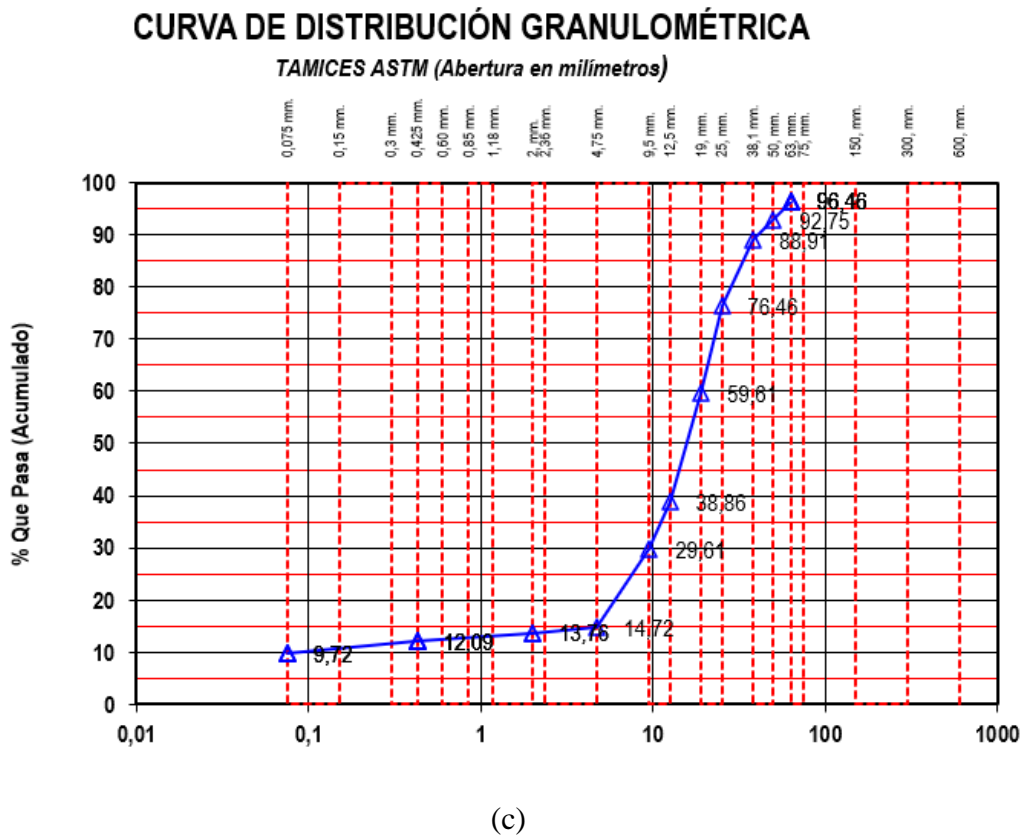
Ensayo de Contenido de Humedad	Material Serie	
	Gruesa	Fina
Recipiente N°	P	A
Masa de Recipiente + Muestra Húmeda (P1)	5434,10	252,61
Masa de Recipiente + Muestra Seca (P2)	4606,90	214,70
Masa de Agua (P3 = P1 - P2)	827,20	37,91
Masa del Recipiente (P4)	152,10	51,24
Masa de Muestra Seca (P5 = P2 - P4)	4454,80	163,46
% de Humedad (W = P3 × 100 ÷ P5)	18,57	23,19

SERIE GRUESA			
Tamiz ASTM Abertura / N°	Masa Retenida		% Pasante Acumulado
	Parcial	Acumulada	
600, mm. 24 "			
300, mm. 12 "			
150, mm. 6 "			
75, mm. 3 "			
63, mm. 2 ½ "	369,1	311,3	96,5
50, mm. 2 "	387,7	638,3	92,8
38,1 mm. 1 ½ "	401	976,5	88,9
25, mm. 1 "	1299,9	2072,8	76,5
19, mm. ¾ "	1759,1	3556,4	59,6
12,5 mm. ½ "	2165,8	5383,0	38,9
9,5 mm. ⅜ "	965,8	6197,6	29,6
4,75 mm. No. 4	1554,7	7508,8	14,7
Pasa No. 4	1596,7	1296,104594	

Distribución del Tamaño de las Partículas			
Valores expresados en Porcentajes			
Pedrón Rodado			0,0
Canto Rodado			0,0
Grava	Gruesa	36,9	81,7
	Fina	44,9	
Arena	Gruesa	1,0	5,0
	Media	1,7	
	Fina	2,4	
Finos			13,3

(a)

(b)



(c)

Nota: En la figura (a) se aprecian los valores obtenidos tras tamizar la muestra en los diferentes tamices. (b) Clasificación del material de muestra. (c) Curva de distribución granulométrica de la muestra estudiada.

A continuación de los ensayos de granulometría se llevaron a cabo los ensayos de humedad natural con el objetivo de determinar el porcentaje de agua presente en el material de estudio. Estos resultados obtenidos fueron fundamentales para analizar la capacidad del suelo en relación con su contenido de humedad.

Los datos obtenidos mostraron valores relativamente similares, sin variaciones significativas. En las tres calicatas evaluadas a una profundidad de 0,5 m, la humedad natural osciló entre 9,49% y 16,41%. Para una profundidad de 1,00 m, los valores de humedad

natural se encontraron entre 15,79% y 20,01%. Finalmente, a una profundidad de 1,50 m, los resultados oscilaron entre 20,70% y 30,65%.

Se observó que el mayor porcentaje de humedad se registró en la calicata 1 a una profundidad de 1,50 m, con un valor de 30,65%. Cabe destacar que durante la excavación de esta calicata se encontró un nivel freático a dicha profundidad, lo cual dificultó tanto el proceso de excavación como la obtención de muestras debido a que el material granular presentaba un exceso de humedad.

Figura 16

Resultado de humedad natural calicata1-1,50m

<i>Recipiente Nº</i>	<i>Masa de Muestra Húmeda + Recipiente</i>	<i>Masa de Muestra Seca + Recipiente</i>	<i>Masa de Agua</i>	<i>Masa del Recipiente</i>	<i>Masa de Muestra Seca</i>	<i>% de Humedad Natural</i>	<i>% de Humedad Promedio</i>
	4.326,20	3.381,50	944,70	299,00	3.082,50	30,65	30,65

Nota: En esta figura se muestran los valores obtenidos del material de muestra de la calicata 1 a una profundidad de 1,50 m.

Los ensayos de límite líquido y límite plástico se realizaron utilizando equipos de laboratorio como el dispositivo de Casa Grande, la placa de vidrio, la placa de acrílico y el horno. Estos ensayos permitieron caracterizar el comportamiento del suelo en cada uno de sus límites y a su vez clasificarlos conforme con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Esta información fue crucial para el desarrollo posterior del diseño debido a que se obtuvo un conocimiento detallado de las propiedades del material evaluado.

En cuanto al límite líquido los resultados presentaron una variación moderada, con un valor mínimo de 32,19 y un máximo de 46,13, este último valor se registró en la calicata 1 a una profundidad de 1,5 m, donde se evidenció la presencia de un nivel freático. Por su parte, el límite plástico mostró un rango más estrecho, con valores entre 21,12 y 32,70. Finalmente,

el índice de plasticidad presentó una variación más significativa, con un valor mínimo de 5,25 y un máximo de 16,92.

A pesar de las diferencias en los valores obtenidos, todas las muestras presentaron similitudes suficientes para clasificarse de manera consistente. Según la clasificación SUCS, los suelos evaluados se identificaron como CL (arcilla de baja plasticidad) y ML (limo de baja plasticidad con mezclas de arena y grava), ambos pertenecientes al grupo de suelos finos.

Estos resultados facilitaron la caracterización del material y proporcionaron una base sólida para las etapas posteriores del proyecto como se evidencia en la figura.

Tabla 4
Resultados de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad

Número	Profundidad	L. Líquido	L. Plástico	I. Plasticidad	Clasificación (SUCS)
Calicata 1	-0,50	35,45	22,79	12,66	CL
	-1,00	43,89	26,97	16,92	ML
	-1,50	46,13	31,64	14,48	ML
Calicata 2	-0,50	34,21	26,69	7,52	ML
	-1,00	37,77	22,26	15,51	CL
	-1,50	37,95	32,70	5,25	ML
Calicata 3	-0,50	33,48	24,59	8,89	ML
	-1,00	32,19	22,92	9,26	CL
	-1,50	32,92	21,12	11,80	CL

Nota: En la tabla se evidencia los resultados obtenidos posterior a realizar los ensayos de Límite líquido, límite plástico y de índice de plasticidad de las tres calicatas.

Posterior se llevó a cabo la evaluación de las muestras mediante los ensayos Proctor y CBR, limitando los análisis a una profundidad de 1,5 m en las tres calicatas.

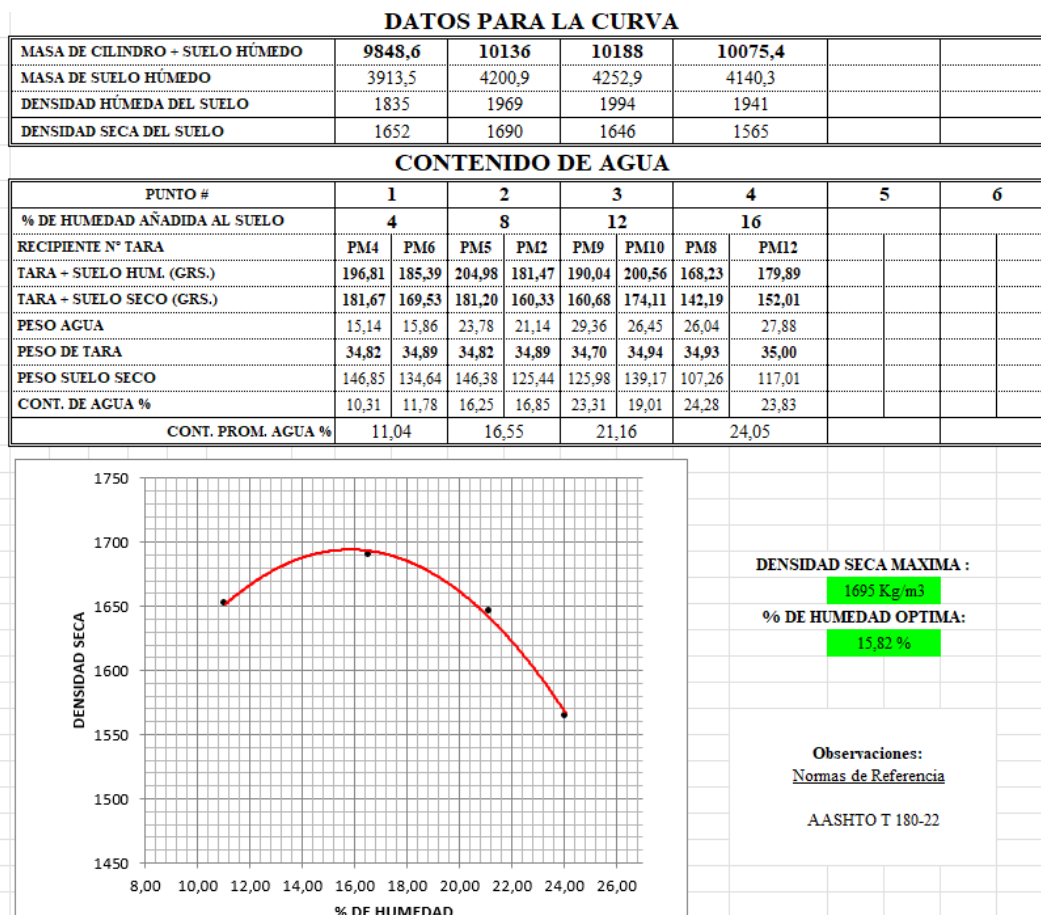
En el ensayo Proctor, los resultados obtenidos mostraron similitudes significativas tanto en la masa de las muestras compactadas en el cilindro como en los valores finales de densidad seca máxima y contenido de humedad óptimo. La densidad seca máxima se situó en

un rango de 1594 kg/m³ a 1695 kg/m³, siendo la calicata 1 la que presentó el mayor valor, mientras que la calicata 3 obtuvo el menor. En cuanto al contenido de humedad óptimo, los valores oscilaron entre 15,82% y 21,25%, observándose el menor porcentaje en la calicata 1 y el mayor en la calicata 3.

Estos valores expresan que el suelo estudiado presenta una homogeneidad relativa en cuanto a sus características físicas. En general puede clasificarse como un suelo de granos finos s (arcillas o limos) mezclados con partículas más gruesas, como grava y arena. Adicionalmente se evidencian indicios de que el material ha sido sometido a intervenciones parciales de mejora en ciertas áreas, aunque no ha sido completamente estabilizado o tratado en su totalidad.

Estos hallazgos proporcionan una base importante para comprender las propiedades mecánicas del suelo y poder orientar su respectivo manejo en futuras etapas de intervención, diseño y construcción.

Figura 17
Resultados obtenidos del ensayo Proctor C1



Nota: En la figura se expone el trabajo de cálculo y el resultado final de la densidad seca máxima y el porcentaje de humedad óptimo de la calicata 1, mostrando su respectiva curva.

El ensayo CBR permitió evaluar la capacidad del suelo para resistir esfuerzos bajo condiciones de humedad controladas, en donde se empleó el dial y la prensa de carga como instrumentos principales además de los cilindros y el martillo para su compactación. s. Los resultados obtenidos a una profundidad de 1,5 m en las tres calicatas no mostraron variaciones significativas, con valores de CBR que oscilaron entre 7,23% y 9,70%, el menor valor correspondió a la calicata 3, mientras que el mayor se registró en la calicata 2.

Estos resultados reflejan un comportamiento mecánico relativamente uniforme del suelo en lo que respecta a su capacidad de soporte, lo que indica que el material es adecuado

Nota: En la figura (a) se expone los valores del contenido de humedad de la calicata 2. (b) Se evidencia los resultados de las lecturas con el dial de los diferentes cilindros con diferentes números de golpes. (c) Se expone el resultado final de la curva y el valor de CBR hallado.

Se evaluó el estado actual de la calle en estudio utilizando la metodología PCI (Índice de Condición del Pavimento). Para asegurar una mayor precisión en los resultados, la vía se dividió en secciones, lo que permitió realizar un análisis más detallado de las condiciones particulares de cada tramo.

Los resultados obtenidos del cálculo reflejan un estado crítico del pavimento, con una clasificación general de muy pobre (rango de 10 a 25) y, en ciertos tramos, de fallido (rango de 0 a 10). Estos valores evidencian la necesidad de intervenciones significativas, como reconstrucción y restauración, para asegurar la funcionalidad de la vía y su capacidad de soportar de manera eficiente el actual volumen de tráfico. Asimismo, las acciones de rehabilitación proyectadas priorizan el confort y la seguridad como aspectos clave.

Tabla 5
Condición del Pavimento tramo 1

PCI	CONDICIÓN
85-100	Excelente
70-85	Muy bueno
55-70	Bueno
40-55	Regular
25-40	Pobre
10-25	Muy pobre
0-10	Fallado

Valor de condición de pavimentos: 0

Nota: Esta tabla expone el valor de condición del pavimento en el tramo 1, clasificándolo con una condición fallida.

Los resultados finales de la evaluación obtenidos mediante la aplicación de la metodología PCI (Pavement Condition Index) indicaron los valores de condición que se detallan en la tabla adjunta. Estos resultados confirman la necesidad de una intervención integral para restaurar el estado funcional óptimo de esta vía.

Tabla 6
Resultados de la evaluación PCI

EVALUACIÓN PCI			
TRAMO	VALOR	CONDICIÓN	
0+100	0	FALLADO	0-10
100+200	0	FALLADO	0-10
200+300	0	FALLADO	0-10
300+400	0	FALLADO	0-10
400+500	20	MUY POBRE	10-25
500+600	39	POBRE	25-40
600+700	30	POBRE	25-40
700+800	12	MUY POBRE	10-25
800+900	17	MUY POBRE	10-25
900+1000	49	REGULAR	40-55
1000+1107	15	MUY POBRE	10-25

Nota: En esta tabla se evidencian los valores obtenidos de la condición del pavimento en cada uno de sus tramos, además de la clasificación que se les otorga a los valores obtenidos.

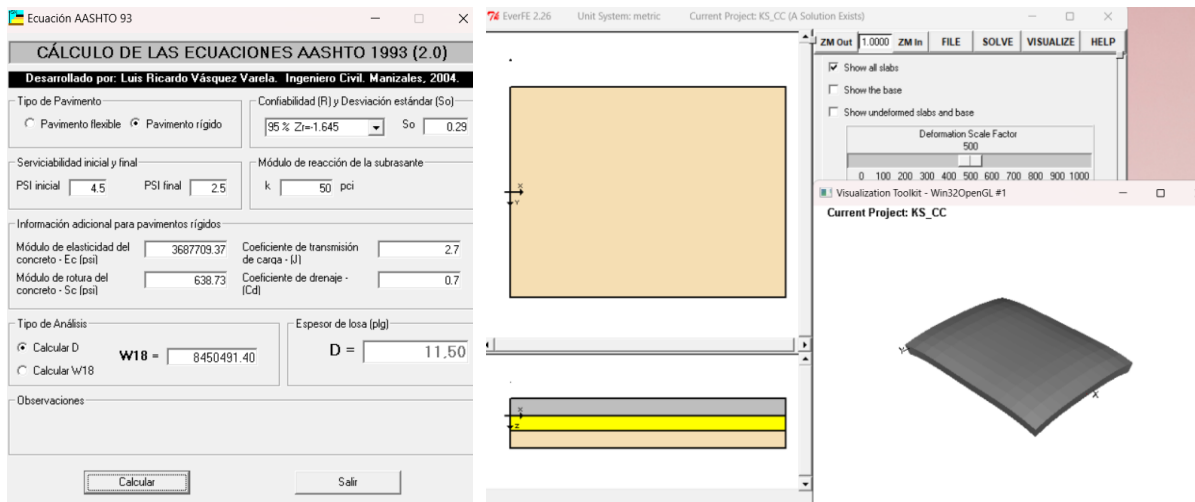
Los resultados obtenidos del diseño de pavimento y del proceso de cálculo permitieron identificar las principales condiciones y necesidades a las que está expuesta la vía en estudio. Uno de los factores críticos que se pudo detectar es la circulación de camiones tipo 2DB, los cuales representan las cargas más pesadas que transitan regularmente por esta calle. Este tipo de carga tiene un impacto significativo en la resistencia estructural del pavimento generando tensiones adicionales que pueden comprometer su durabilidad y en

consecuencia afectar negativamente la circulación de vehículos livianos, que constituyen el tráfico predominante en la zona.

Teniendo en cuenta este escenario, el diseño del pavimento se enfocó en asegurar que la estructura soporte de manera adecuada las cargas generadas por los camiones tipo 2DB, considerándolas como la carga crítica para el análisis. Esto permitió establecer un modelo de diseño más robusto teniendo en cuenta las condiciones reales de operación. Además, para simplificar el análisis y garantizar la representatividad de las condiciones del terreno se optó por trabajar con un único valor de CBR (California Bearing Ratio) promedio, el cual fue obtenido a partir de los estudios realizados en la subrasante a lo largo de la vía. Este valor promediado permitió uniformar el diseño estructural evitando segmentaciones complejas y asegurando la consistencia en el modelo.

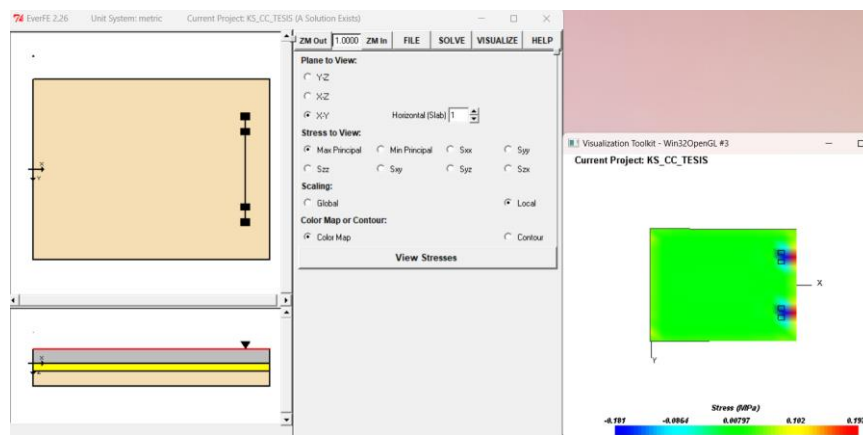
Como resultado final el diseño determinó un espesor óptimo de 29,21 cm para la losa de concreto, complementado con una base granular de 30 cm. Este espesor de losa está diseñado para soportar las tensiones y deformaciones provocadas por el tráfico pesado, cumpliendo con los criterios de resistencia y durabilidad establecidos en las normativas aplicadas. Cabe destacar que se buscó que el diseño no solo cumpliera con las especificaciones técnicas, sino que también fuera viable en términos constructivos y económicos.

Figura 19
Aplicación de software



(a)

(b)



(c)

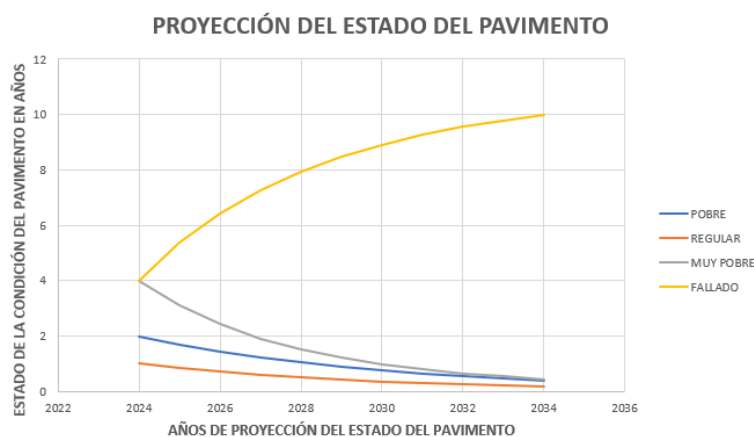
Nota: En la figura (a) se expone el uso del software Ecuación AASHTO 93 para determinar nuestro espesor de losa. (b) Se evidencia el paño de losa de nuestro pavimento rígido mediante el software Ever Fe. (c) Se expone el resultado final del diseño de losa para el pavimento rígido y los puntos críticos donde va a estar más expuesta a la carga..

El diseño planteado se adapta eficazmente a las demandas de carga identificadas en la vía, asegurando un rendimiento óptimo tanto para el tránsito pesado como para los vehículos livianos. Además, el enfoque utilizado en el análisis y cálculo permite optimizar los recursos disponibles, garantizando al mismo tiempo la funcionalidad y seguridad de la calle a lo largo de su vida útil proyectada.

Se optó por emplear la metodología de cadenas de Markov para modelar y predecir el comportamiento del pavimento de la calle en análisis en un escenario sin intervenciones de restauración ni acciones correctivas. Esta técnica permite evaluar la probabilidad de cambio entre distintos estados de condición del pavimento a lo largo del tiempo, considerando el deterioro progresivo. Los resultados obtenidos muestran que, si no se implementan medidas correctivas, la vía alcanzaría un estado crítico o fallido en aproximadamente 10 años. Esta proyección resalta la necesidad de aplicar estrategias de mantenimiento preventivo y rehabilitación oportuna para preservar su funcionalidad y extender su vida útil.

Figura 20

Proyección del estado del pavimento



Nota: Esta gráfica expone el comportamiento a futuro de nuestra calle de estudio sin intervenciones de restauración.

El estudio de los deterioros presentes en la calle Pasaje del Sitio El Negrital pone en evidencia la importancia de abordar el estado del pavimento de manera integral. Las evaluaciones realizadas a través del Índice de Condición del Pavimento (PCI) determinaron que la vía se encuentra en una condición crítica, con varios tramos calificados como “muy pobre” o “fallido”. Estos resultados reflejan la necesidad de llevar a cabo intervenciones urgentes para asegurar la operatividad de esta importante vía, que, según los ensayos realizados, presenta variaciones significativas en su composición granulométrica, humedad y

capacidad de soporte (CBR). Adicionalmente, el estudio del tráfico vehicular evidenció una mayor presencia de vehículos livianos; sin embargo, las cargas más críticas, generadas por los camiones tipo 2DB, afectan de manera significativa la resistencia del pavimento. Estos aspectos resaltan la importancia de un diseño estructural que no solo atienda las exigencias del tráfico pesado, sino que también tome en cuenta las características mecánicas del suelo y las proyecciones de expansión urbana. De este modo, se garantiza una solución vial eficiente, segura y sostenible a largo plazo.

Discusión

En el trabajo de titulación desarrollado por (Ocaña Ávila, 2019), se describe que la ciudad de Portoviejo presenta de manera general suelos con predominancia de características limoso-arcillosas acompañados por una presencia puntual de arenas y gravas. Este comportamiento se reconoce como una característica distintiva del tipo de suelo de la región. Además, Ocaña resalta que la influencia del río Portoviejo que atraviesa de manera central el valle, tiene un impacto significativo en la tipología y la mecánica de los suelos en esta área. Este fenómeno es importante para comprender las condiciones geotécnicas frente a diferentes usos tanto en el sector agrícolas como en lo constructivo.

Por su parte, (Narváez Poveda, 2019), en un estudio previo explica que los suelos de Portoviejo son caracterizados por tener un nivel freático superficial distribuido en el territorio lo que resulta en un drenaje moderado, además resalta que este tipo de suelo es predominante de naturaleza limo-arcillosa, presenta una composición con inclusión de arenas, gravas y material orgánico, esta composición hace que el suelo sea apto para las actividades agrícolas el cual hace que sea relativamente fácil de compactar, aunque resalta que el mejoramiento del suelo sea una alternativa viable y el cual se recomienda para garantizar las condiciones óptimas de seguridad ayudando al cumplimiento de las normativas en la construcción.

El análisis y la evaluación de las muestras de suelo realizadas en el presente trabajo tiene una coincidencia significativa con los hallazgos descritos por Ocaña y Narváez, los valores obtenidos en los ensayos se encuentran dentro de los rangos que respaldan la conclusión de ambos estudios ayuda a la interpretación confiable de las condiciones del suelo del área estudiada.

Durante el desarrollo de los ensayos se presentaron ciertos desafíos relacionados a la aplicación de las normativas técnicas especialmente las asociadas a la AASHTO. Entre las

principales dificultades destaca el acceso limitado a las normativas especificadas lo que requirió una interpretación detallada de los procedimientos y la adaptación a los recursos disponibles en el laboratorio. Adicionalmente la carencia de algunos materiales e insumos mencionados en dichas normativas obligo a implementar sustituciones y ajustes metodológico lo cual incluyó al cronograma establecido a la realización de los ensayos. Además, el laboratorio enfrento inconveniente con el horno utilizado para el secado de especímenes debido a los cortes de energía lo que requirió la distribución de las muestras a diferentes hornos y una supervisión constante para mantener la temperatura adecuada.

El ensayo de CBR se presentaron inicialmente limitaciones debido a la falta de experiencia en el uso de la prensa de carga, herramienta esencial para evaluar la resistencia de los cilindros compactados. El cual conlleva a un periodo de adaptación y aprendizaje en el manejo correcto de la maquina como lo es la toma precisa de las lecturas con el dial para obtener resultados confiables.

En la implementación de la metodología PCI para evaluar el estado funcional de la calle Pasaje se llevó a cabo con la ayuda de un odómetro manual y cinta métrica. Sin embargo, la falta inicial de disponibilidad de un odómetro en el laboratorio genero retrasos en el desarrollo del trabajo, teniendo en cuenta la experiencia limitada del manejo del odómetro represento un reto adicional al momento de la lectura precisas de longitudes y áreas lo que requirió un periodo de adaptación para lograr resultados confiables.

En resumen, el resultado obtenido en este trabajo nos ayuda a confirmar la validez de las características geotécnicas previamente documentados por otros autores, también nos ayuda a destacar las limitaciones y retos prácticos a la aplicación de metodologías específicas bajo las condiciones de laboratorio con recursos limitados. Esto nos ayuda a tener en cuenta

lo importante que es una planificación adecuada y de la capacitación en el manejo de instrumentos especializados para futuros estudios en estas áreas.

Conclusiones

En relación con el objetivo específico número uno, se logró desarrollar la evaluación del estado funcional de la calle Pasaje mediante la aplicación de la metodología PCI (Pavement Condition Index). Los resultados revelaron que la calle presenta un estado crítico, oscilando entre los rangos "regular" y "fallido". Este análisis permitió identificar que la mayor parte de los tramos evaluados se encuentran en condiciones críticas. La evaluación también permitió identificar fallas comunes en cada tramo destacando la urgencia de una intervención inmediata para evitar el agravamiento de la situación actual.

En relación con el objetivo específico número dos, se implementó una propuesta estructural para un diseño de pavimento rígido basada en un análisis de las características del suelo de la zona. Mediante el uso de ensayos de laboratorio realizados conforme a la normativa AASHTO, se logró determinar las propiedades físicas del terreno que influyen en el diseño del pavimento. Este proceso incluyó el conteo vehicular, un paso esencial para dimensionar adecuadamente la estructura del pavimento. El diseño estructural se realizó empleando herramientas computacionales como AASHTO 93 y EverFE, las cuales permitieron determinar el espesor óptimo de las capas y analizar las tensiones y deformaciones que el pavimento rígido enfrentaría, considerando como carga de diseño el camión tipo 2DB, en base a esto llegamos a un espesor óptimo de losa de 29,21 cm.

En relación con el objetivo específico número tres, el trabajo concluyó con la proyección del comportamiento de la calle mediante la metodología de la cadena de Markov. Este análisis permitió prever que, de no realizarse una intervención inmediata, el estado funcional de la calle continuará deteriorándose, alcanzando niveles aún más críticos. Actualmente, la vía presenta un nivel de serviciabilidad preocupantemente bajo, lo que afecta significativamente tanto la seguridad como el confort de los residentes y conductores que utilizan esta conexión vial en sus actividades diarias.

La propuesta de intervención: en base a los hallazgos obtenidos, se propone la implementación de un pavimento rígido estructural diseñado específicamente para las características del suelo y el tránsito vehicular de la zona. Este diseño considera los espesores óptimos y materiales que garantizarán una mayor durabilidad y resistencia a las cargas vehiculares proyectadas. La ejecución de esta intervención permitirá no solo restaurar la funcionalidad de la calle, sino también evitar futuros deterioros, contribuyendo a la seguridad, la movilidad eficiente y el bienestar de los usuarios.

En resumen, el presente trabajo de titulación refuerza la urgencia de realizar acciones correctivas basadas en soluciones estructurales bien fundamentadas, que no solo aborden el deterioro actual, sino que también prevengan futuros problemas mediante una infraestructura vial sostenible y duradera.

Referencias bibliográficas

- American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). *AASHTO guide for design of pavement structures, 1993 (etc.)*.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2022a). *Standard Method of Test for Determining the Liquid Limit of Soils*.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2022b). *Standard Method of Test for Determining the Plastic Limit and Plasticity Index of Soils*.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2022c). *Standard Method of Test for Moisture-Density Relations of Soils Using a 4.54-kg (10-lb) Rammer and a 457-mm (18-in.) Drop*.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2022d). *Standard Method of Test for The California Bearing Ratio*.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2022e). *T 265-22 Standard Method of Test for Laboratory Determination of Moisture Content of Soils*.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2022f). *T88-22 Standard Method of Test for Particle Size Analysis of Soils*.
- <https://www.osha.gov/dsg/annotated-pels/>
- ASTM International. (2024). *Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys D6433-24*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D6433-24>
- El Diario. (2024, agosto). *La vialidad de Manabí necesita una evaluación general*. <https://www.eldiario.ec/otros/opinion-otros/la-vialidad-de-manabi-no-atravesia-por-su-mejor-momento-lo-que-amerita-una-evaluacion-urgente-por-las-autoridades-nacionales/>.

Narváez Poveda, A. A. (2019). *DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ACOGIDA PARA LOCALIZACIÓN DE ALBERGUES MULTIPROPÓSITO EN CASO DE DESASTRES NATURALES MEDIANTE TÉCNICAS DE EVALUACIÓN MULTICRITERIO. CASO DE ESTUDIO: PARROQUIA PORTOVIEJO*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Ocaña Avila, D. S. (2019). *IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO DE CALIBRACIÓN DE LA ENERGÍA DE PENETRACIÓN DINÁMICA SEGÚN LA NORMATIVA ASTM D4366-16, CON APLICACIÓN AL ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE LICUEFACCIÓN EN SUELOS GRANULARES EN UNA ZONA ESPECÍFICA DE MANABÍ*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Radio Pichincha. (2024, octubre). *Sectores de la construcción e inmobiliario piden al Gobierno solución a la crisis energética*. <https://www.radiopichincha.com/construccion-inmobiliario-gobierno-solucion-crisis-energetica/>.

Vásquez Varela, L. R. (2024). *Índice de Condición del Pavimento*. Universidad Nacional de Colombia.

Anexos



Registro fotográfico

