



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Evaluación de la estructura del pavimento en el tramo del Malecón de Puerto Bolívar

**LUCAS LUCAS MARCOS DANIEL
INGENIERO CIVIL**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**Evaluación de la estructura del pavimento en el tramo del Malecón
de Puerto Bolívar**

**LUCAS LUCAS MARCOS DANIEL
INGENIERO CIVIL**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTOS TÉCNICOS

**Evaluación de la estructura del pavimento en el tramo del Malecón
de Puerto Bolívar**

**LUCAS LUCAS MARCOS DANIEL
INGENIERO CIVIL**

CABRERA GORDILLO JORGE PAUL

**MACHALA
2024**

TESIS LUCAS-TEXTO-VERIFICADA

2%
Textos sospechosos



8% Similitudes (ignorado)
0% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
2% Idiomas no reconocidos

Nombre del documento: TESIS LUCAS-TEXTO-VERIFICADA.docx
ID del documento: 7eb04a4a95220424c7fda7177e7957e3c2adec3f
Tamaño del documento original: 87,55 kB
Autores: []

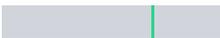
Depositante: JORGE PAUL CABRERA GORDILLO
Fecha de depósito: 7/2/2025
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 7/2/2025

Número de palabras: 6172
Número de caracteres: 39.433

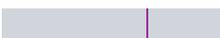
Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 construneic.com > Sistema de Clasificación AASHTO - Importancia y tipos de suelo https://construneic.com/mecanica-de-suelos/sistema-de-clasificacion-aashto/	1%		Palabras idénticas: 1% (111 palabras)
2	 dialnet.unirioja.es Resumen de Materiales granulares tratados con emulsión asfált... https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7635291&info=resumen 5 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (75 palabras)
3	 www.dspace.espol.edu.ec Propuesta temática histórico-socioeconómica para la re... http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/1634/3/3238.pdf.txt 2 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (72 palabras)
4	 hdl.handle.net Evaluación del proceso constructivo de losas cortas en pavimentos ... https://hdl.handle.net/20.500.12990/5703 1 fuente similar	1%		Palabras idénticas: 1% (68 palabras)
5	 metergroup.com ¿Qué es la humedad del suelo? La ciencia detrás de la medición - ... https://metergroup.com/es/measurement-insights/what-is-soil-moisture-the-science-behind-the-...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (67 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 repositorio.ues.edu.sv https://repositorio.ues.edu.sv/bitstreams/097fd7b0-5af4-4061-a982-39937936c07f/download	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (21 palabras)
2	 hdl.handle.net Evaluacion del deterioro y analisis de agrietamiento por fatiga tipo ... https://hdl.handle.net/20.500.12692/39640	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (17 palabras)
3	 es.slideshare.net Peso específico y peso unitario de agregados finos PDF https://es.slideshare.net/slideshow/peso-especifico-y-peso-unitario-de-agregados-finos/75742448	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (10 palabras)

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, LUCAS LUCAS MARCOS DANIEL, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado Evaluación de la estructura del pavimento en el tramo del Malecón de Puerto Bolívar, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

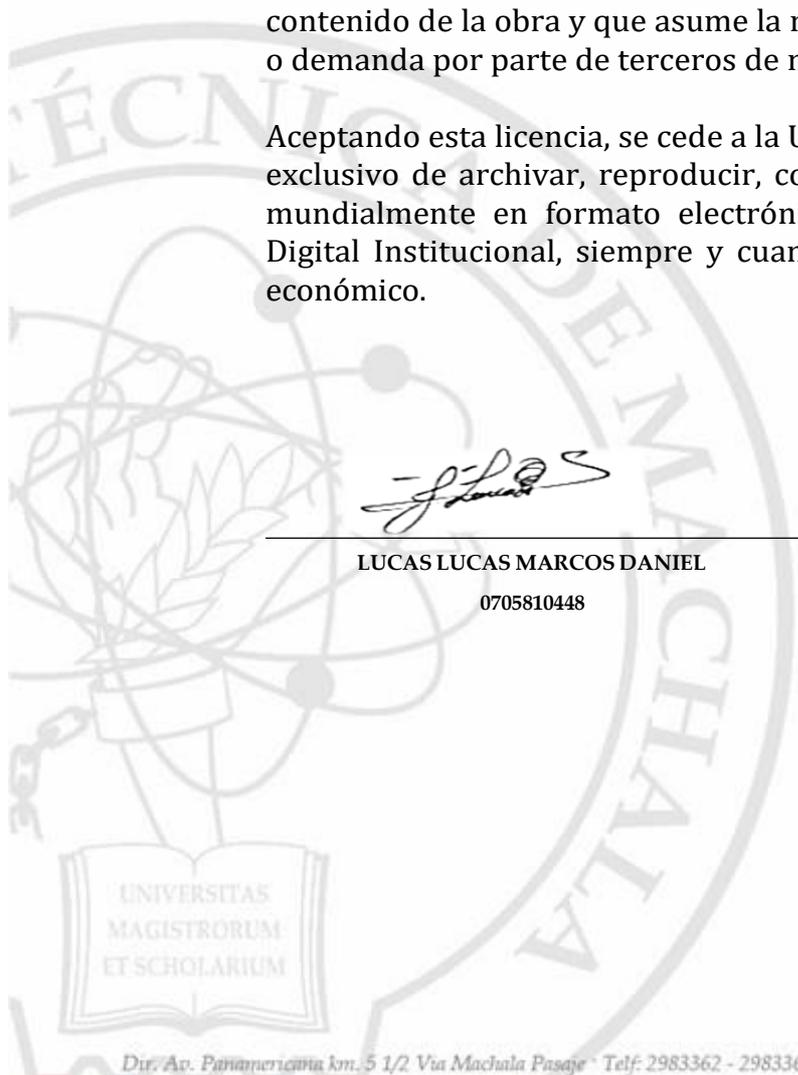
El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



LUCAS LUCAS MARCOS DANIEL

0705810448



UNIVERSITAS
MAGISTRO-
RUM
ET SCHOLAR-
IUM

DEDICATORIA

A lo largo de la carrera de ingeniería civil se ha vivido varias experiencias unas buenas como otras malas, pero a pesar de todo en el transcurso del recorrido de la carrera me lleno de orgullo por seguir adelante en la mejor carrera que tiene la UTMACH, la carrera de Ingeniería civil es por eso que este trabajo de titulación está dedicado primeramente a Dios, porque sin él no somos nada, por otra parte, quisiera considerar todo el esfuerzo y sacrificio que han realizado mi madre Agustina Lucas junto a mi hermana Verónica Lucas, por ser mis pilares fundamentales en esta vida, por creer en mí hasta el final y poder llevar a cabo este logro de poder ser un ingeniero civil, Aquellos amigos y docentes que he conocido dentro del salón de clases que han sido parte fundamental en el crecimiento estudiantil y personal de mi vida.

A todas las personas que me ayudaron a lo largo de la carrera es dedicado este trabajo de titulación, por la invaluable paciencia y enseñanza que me brindaron en esta maravillosa etapa de la vida.

Con mucho amor y cariño...

Marcos Daniel Lucas Lucas

AGRADECIMIENTO

Quiero considerar de lo más profundo de mi vida un eterno agradecimiento a Papá Dios por ser mi protector y proveedor en cada momento de mi vida, agradezco invaluablemente el amor que tiene a cada uno de nosotros, porque por su gracia y misericordia estoy cumpliendo este sueño de ser un profesional en la carrera de ingeniería civil.

A mi madre y mi hermana por considerarme y llenarme de buenos consejos y valores lo que se ven reflejado hoy en día en el tipo de persona que he logrado ser en el transcurso de esta vida.

A los amigos de aula que Dios me permitió conocer en la vida universitaria, por su gran amistad y momentos vividos de alegría y sufrimientos que nos dejaba cada semestre, sin duda alguna se los considera a cada uno de ellos en el fondo de mi corazón.

A mis docentes por los conocimientos brindados en cada semestre, aunque son bien estrictos, pero a pesar de aquello siempre nos han forjado por el mejor camino con sus consejos y enseñanzas. Un agradecimiento especial a mi tutor de tesis el Ing. Jorge Paul Cabrera Gordillo, por su guía, apoyo incondicional, por su profesionalismo en este trabajo de titulación, por lo que me motiva hacer siempre las cosas bien en cada circunstancia de la vida.

Agradezco a una persona que se alejó de mi vida, pero fue parte esencial en este recorrido, por sus múltiples dadas que estableció en los momentos más importantes de mi vida.

Marcos Daniel Lucas Lucas

RESUMEN

Se dice que las infraestructuras viales son de gran importancia, ya que facilita la calidad de vida de la población, debido a que es una herramienta fundamental y esencial para el desarrollo social y sostenible de una población que busca expandirse mediante el comercio. A lo largo de los años las carreteras han evolucionado que han tenido un impacto crucial en la sociedad, ya que se puede recalcar que las carreteras se han construidos mediante la finalidad de conectar lugares, con el objetivo de intercambiar bienes, productos y alimentos entre los lugares vecinos. Así mismo se puede mencionar que en la actualidad las carreteras en nuestro país no cuentan con el adecuado sistema de vial. Por esta razón es que se ha determinado llevar a cabo el estudio estructural de la vía del tramo del malecón de Puerto Bolívar, con la finalidad de conocer el estado actual de la vía y así generar una propuesta de espesores conforme a las Normativas establecidas, generando un adecuado estudio en la estructura del pavimento.

La vía del malecón de Puerto Bolívar tiene una extensión de 0.95 kilómetro de longitud cabe mencionar que esta vía posee un pavimento asfáltico como capa de rodadura, además se considera que el estudio realizado en la subrasante a una profundidad de 1.50 m se obtuvo un CBR de 6.01% por lo que se determinó que según la norma AASHTO 93 lo clasifica como una subrasante POBRE, por otra parte se analizó las bases granulares de las muestras extraídas a profundidad de 0.5 m y a 1 m, presentan inconsistencias en estas capas, ya que su suelo es ARENA (SP), que significa arena pobremente graduada, donde la falta de compactación y cohesión de este material afectó la capacidad del suelo para soportar las cargas existentes. Además, la determinación del paquete estructural es de 80 cm, además se tiene una subbase de 60 cm, es decir, se indica proponer 30 cm de mejoramiento y 20 cm de subbase clase II con la finalidad de reducir los costos para nuestro diseño.

Palabras claves.

Evaluación estructural, pavimentos flexibles, cálculo de espesores.

ABSTRACT

Road infrastructure is said to be of great importance, as it facilitates the quality of life of the population, because it is a fundamental and essential tool for the social and sustainable development of a population that seeks to expand through trade. Over the years, roads have evolved and have had a crucial impact on society, since it can be emphasized that roads have been built with the purpose of connecting places, with the objective of exchanging goods, products and food between neighboring places. Likewise, it can be mentioned that currently the roads in our country do not have the adequate road system. For this reason, it has been determined to carry out the structural study of the road section of the Puerto Bolívar boardwalk, in order to know the current state of the road and thus generate a thickness proposal in accordance with the established regulations, generating an adequate study of the pavement structure.

The Puerto Bolívar boardwalk road has an extension of 0.95 kilometers in length. It should be mentioned that this road has an asphalt pavement as a tread layer. In addition, it is considered that the study carried out on the subgrade at a depth of 1.50 m obtained a CBR of 6.01%, which is why it was determined that according to the AASSHTO 93 standard it is classified as a POOR subgrade. On the other hand, the granular bases of the samples extracted at a depth of 0.5 m and 1 m were analyzed. They present inconsistencies in these layers, since its soil is SAND (SP), which means poorly graded sand, where the lack of compaction and cohesion of this material affected the capacity of the soil to support existing loads. In addition, the determination of the structural package is 80 cm, and there is also a sub-base of 60 cm, that is, it is indicated to propose 30 cm of improvement and 20 cm of class II sub-base in order to reduce the costs for our design.

Keywords.

Structural evaluation, flexible pavements, thickness calculation.

INDICE

Contenido

CAPÍTULO I	10
1.Planteamiento del problema.	10
1.1 Tema de investigación.	10
1.2 Línea Base del Proyecto	10
1.3 Descripción de la situación problemática.	11
1.4 Árbol de problemas.....	12
1.5 Delimitación del objeto de estudio.....	13
1.6 Justificación	14
1.7 Objetivos.	16
CAPITULO II	16
2 MARCO TEÓRICO.....	16
2.1 Antecedentes contextuales.	16
2.2Antecedentes conceptuales.....	18
2.3 Antecedentes referenciales.....	25
CAPITULO III	28
3 Metodología.....	28
3.1 Modalidad básica de la investigación.....	28
3.2 Tipo de investigación.....	28
3.3 Descripción de la población y muestra.....	29
3.4 Métodos con los materiales utilizados.....	29
CAPITULO IV	41
4 ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	41
4.1 ENSAYOS DE CONTENIDOS DE HUMEDAD	41
4.2 LIMITES DE CONSISTENCIA.....	42
4.3 LIMITE LIQUIDO Y PLASTICO	42
4.4 GRANULOMETRIA.....	43
4.5 CLASIFICACION SUCS.....	44
4.6 CLASIFICACIÓN ASSTHO	46
4.7 PROCTOR	48
4.8 CBR	49
4.9 DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLE EMPLEANDO EL METODO AASTHO-93.....	50
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
5.1 Conclusiones	63

5.2 Recomendaciones	64
6. Bibliografía	65
7. ANEXOS	69
7.1 Anexo1: Ensayo de contenido de humedad.....	69
7.2 Anexo2: Ensayo de límites de consistencia	70
7.3 Anexo3: Ensayo de granulometría	73
7.4 Anexo4: Ensayo de Proctor	75
7.5 Anexo5: Ensayo de (CBR)	76
7.6 Anexo 6: Extracción de muestra asfáltica.....	77
7.7 Anexo7: Calculo de Trafico proyectado de 20 años	80
7.10 ANEXO 10: Perforación de calicatas	100
7.11 ANEXO 11: Mapa de ubicación.....	101
7.12 ANEXO 12: Categoría de la subrasante	101
7.13 ANEXO 13: Tabla de resultados de laboratorio	0

Tabla de Ilustraciones

Ilustración 1 : Árbol de problemas	12
Ilustración 2: Ubicación del proyecto	14
Ilustración 3 Sistema de clasificación de suelos	24
Ilustración 4 Propuesta metodológica.....	27
Ilustración 5 Estudio de subrasante	30
Ilustración 6: Curva tiempo-deformación, tiempo-deformación	36
Ilustración 7 Datos obtenidos de: Límites líquido y plásticos de la calicata 1, profundidad 1.5m.....	42
Ilustración 8 Clasificación S.U.C.S de la calicata 1 a profundidad de 1.5 m	44
Ilustración 9 Clasificación AASHTO	46
Ilustración 10 Clasificación AASHTO a 0.5 m	46
Ilustración 11 Curva de compactación.....	48
Ilustración 12 Grafica de carga unitaria en función a la penetración	49
Ilustración 13: Curva de CBR.....	50
Ilustración 14 Esquema estructural con espesores calculados.....	62

Tabla de ecuaciones

Ecuación 1 Expresión para calcular el número estructural.....	31
Ecuación 2 Expresión para calcular la pérdida de nivel de servicio.....	33
Ecuación 3 Expresión para calcular módulo resiliente para CBR < 3.....	33
Ecuación 4: Expresión de la longitud resultante de las bases granulares.	34
Ecuación 5 : Expresión de la pendiente resultante	34
Ecuación 6: Expresión del factor de pendiente.....	34
Ecuación 7: Expresión para calcular volumen de los sólidos.....	34
Ecuación 8: Expresión para calcular el volumen de vacíos.....	35
Ecuación 9: Expresión para calcular la porosidad efectiva máxima	35
Ecuación 10: Expresión para determinar la porosidad efectiva.....	35
Ecuación 11: Expresión para calcular el coeficiente de permeabilidad.....	35
Ecuación 12: Expresión para calcular la pendiente de drenaje.....	36
Ecuación 13: Expresión para el cálculo del tiempo de drenaje	36
Ecuación 14: Expresión del volumen de agua drenante	37
Ecuación 15: Expresión para calcular volumen remanente	37
Ecuación 16: Expresión para calcular el grado de saturación	37
Ecuación 17: Expresión de niveles de saturación del pavimento	38
Ecuación 18: Expresión de niveles de saturación sin nevada.....	38
Ecuación 19 Expresión para calcular el número estructural.....	39
Ecuación 20 Expresión para calcular el espesor de la capa asfáltica.....	39
Ecuación 21 Expresión para calcular el espesor de la base granular.....	39
Ecuación 22 Expresión para calcular el espesor de la subbase granular.	39
Ecuación 23 Expresión para calcular el numero estructural SN2.....	40
Ecuación 24 Expresión para calcular el espesor de la subbase granular.	40
Ecuación 25: Expresión para determinar espesores del pavimento en función al número estructural.....	61

INTRODUCCIÓN

Importancia del Tema

La red vial es de vital importancia, desde la antigüedad hasta la actualidad, su finalidad es brindar conexión a diferentes lugares garantizando el desarrollo económico, social y cultural. El estudio estructural del pavimento tiene una demanda en el progreso de las vías, ya que nos ofrece distintas características en la subrasante. Considerando como base fundamental la determinación de los espesores del pavimento según la Norma AASHTO-93, Por esta razón las carreteras se consideran una infraestructura que garantice seguridad, comodidad y conectividad. Así mismo se menciona que una red vial realizada en óptimas condiciones debe cumplir con el tiempo de serviciabilidad.

Actualidad de la problemática

Se considera que el pavimento es una estructura muy resistente a cargas gravitacionales, pero con el transcurso de los años, la estructura se va deteriorando por varios factores que influyen en la vida útil del pavimento, por esta razón se debe realizar un análisis en las capas de la estructura del pavimento, viendo como consecuencia las fallas en la capa de rodadura como hundimientos, piel de cocodrilo y ahuellamientos, etc. Estas fallas pueden hacer énfasis a problemas en la, base y subbase. De tal manera que estos impactos son negativos, ya que esto afecta al tránsito vehicular y la comunidad.

Estructura del trabajo

El contenido desarrollado se dividirá con el siguiente esquema:

En el capítulo I se detalla el planteamiento del problema, identificando si la vía es adecuada para soportar las cargas gravitacionales como es debido respecto a la normativa establecida.

El capítulo II compone el marco teórico que aborda el tema de estudio desde una perspectiva bibliográfica para identificar los antecedentes conceptuales y contextuales y la recopilación de información referencial que servirá de guía para la obtención de resultados en el producto final.

En el capítulo III se establece la información de la metodología que se establece en el trabajo de titulación conforme al tipo de investigación, ya sea documental, de campo o experimental, así mismo se considera una exhaustiva búsqueda de información.

Y finalmente el capítulo IV se presentará el análisis e interpretación de resultados, considerando las muestras receptadas en campo y analizadas en laboratorio.

CAPÍTULO I

1.Planteamiento del problema.

1.1 Tema de investigación.

Análisis de la estructura del pavimento en el tramo del malecón de Puerto Bolívar.

1.2 Línea Base del Proyecto

Actualmente, el crecimiento de la red vial se observa a mayor nivel considerando los diferentes estatus en las ciudades, es por eso que tiene una demanda a garantizar una población libre para poder movilizarse con seguridad, calidad y comodidad. (Pucha Aguinaca & Zárate Torres, 2020)

Realizar una evaluación de las carreteras implica evaluarlas técnica, funcional y estructuralmente. En la evaluación funcional se considera la superficie del pavimento, la cual determina las actividades de mantenimiento que se deben ejecutar superficialmente, tal como bacheos, parchados, tratamiento de fisuras y sellados. Además, da indicios para encontrar una solución estructural de acuerdo con la magnitud y tipo de falla que se encuentra en el pavimento. (Saad, 2022)

La zona de estudio se basa al crearse la Provincia de El Oro, Machala su capital, tenía como parroquias a Pasaje, El Guabo y Buenavista, posteriormente diferentes sitios fueron adquiriendo importancia y con el transcurrir del tiempo surgieron parroquias como Barbones, El Cambio, El Retiro, Puerto Bolívar, La Iberia, entre otras.(Rossana Maldonado Santacruz, 2009)

Puerto Bolívar es una parroquia urbana, además es un puerto marítimo que pertenece al cantón Machala de la provincia de El Oro, Ecuador. Es el segundo puerto de embarque de plátanos -solo por detrás del de Guayaquil, que maneja el 74% de la fruta- cuyo principal destino es Europa. El 26% de la producción bananera de Ecuador se embarca a

través de este puerto. Además, se considera que la población de la parroquia Puerto Bolívar es de 6.174 personas, siendo 3.235 hombres y 2.939 Mujeres, según el censo 2010.

Según (CUENCA, 2015) indica que la Parroquia Puerto Bolívar se encuentra ubicada a 15 minutos de la ciudad de Machala. El malecón es el lugar más importante de la parroquia por su ubicación estratégica y porque allí está el muelle de cabotaje que permite que turistas y la comunidad local se trasladen hacia las islas del Archipiélago de Jambelí, convirtiéndolo así en el centro de atracción turística y gastronómica más importante de la provincia.

Por lo tanto, el pavimento surge con el desarrollo socioeconómico de las comunidades, la necesidad de contar con las condiciones adecuadas para el transporte, comercio e interconexión de los lugares, lo cual implica en actividades económicas, cultural e incluso influencias políticas sobre la región.

1.3 Descripción de la situación problemática.

1.3.1 Descripción del problema.

La actual carretera del Malecón de la parroquia de Puerto Bolívar del cantón Machala se encuentra con un deficiente servicio vial, por lo que los usuarios están destinados a transitar por estas vías defectuosas, así mismo, se debe considerar que este problema influye con la mala visión que se genera en el ámbito turístico a referencia de la parroquia, ya que es su principal fuente de economía y de atracción y por lo tanto se ve afectado directamente el pavimento flexible del malecón de Puerto Bolívar.

Por lo consiguiente el aumento de tráfico produce un deterioro de la calzada generando un problema en el pavimento, por ende, la vía del Malecón de Puerto Bolívar puede llegar a tener distintos tipos de fallas superficiales, tales como: fisuras, grietas, parchados, ahuellamientos, hundimientos, pérdida de agregados, entre otros , por lo que se generaría costos de operación de los vehículos que transitan por esta vía, de tal manera que los usuarios ya no se movilizarían al sector de Puerto Bolívar y esto tendría un impacto negativo al turismo de la zona.

Además, se manifiesta el criterio que el desgaste gradual de la superficie de la capa de rodadura se involucra con el tráfico de los feriados y la zona por si queda colapsada, por

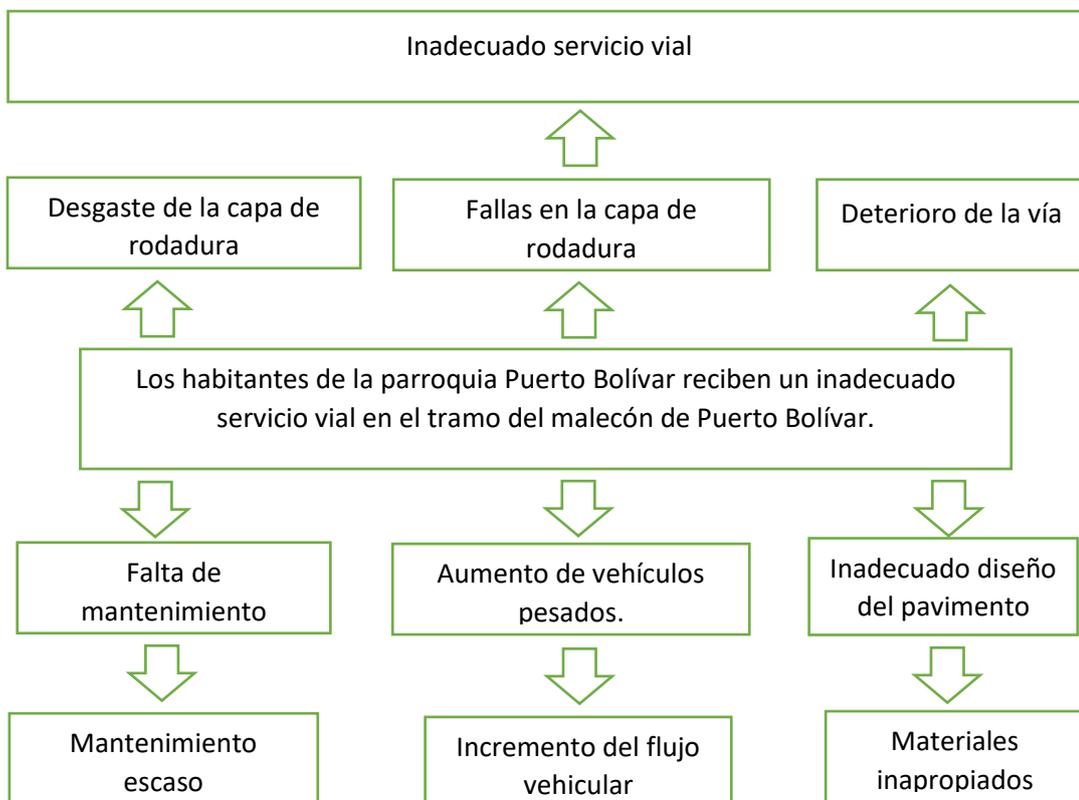
lo que implica que las capacidades de resistencias de las vías se superen hasta que se produzca la falla en el pavimento flexible.

En consideración el comportamiento estructural del pavimento se relaciona con la condición física de los problemas de la calzada, en este caso no solo tratará de las fallas superficiales, sino también de los factores externos que son los factores climáticos que afectan drásticamente a nuestra zona de estudio, así mismo se da a conocer que las inundaciones y agujajes que se producen en Puerto Bolívar, perjudican a la vida útil del pavimento, sobre todo no cuentan con un servicio de drenaje eficiente.

La vida útil del pavimento se ve afectada por distintos tipos de factores que se ven en el día a día, lo cual manifiesta una gran problemática en los diseños establecidos por los profesionales, donde la carencia de la vida útil del pavimento se ve afectada por las causas y efectos que se mostraran a continuación en la ilustración 1.

1.4 Árbol de problemas

Ilustración 1 : Árbol de problemas



Fuente: AASHTO

- En vista a la problemática que pasan los transeúntes del sector de Puerto Bolívar en el tramo del malecón se ha logrado identificar las pautas para realizar un estudio estructural de pavimentos, por lo cual se realizaran varios ensayos en el laboratorio de la universidad técnica de Machala, así mismo se especificará el procedimiento que se desarrollará:
- Realizar calicatas en la zona de estudio.
- Ensayo de contenido de humedad.
- Ensayo de límites de consistencia. (Límite líquido y Límite Plástico)
- Ensayo de granulometría.
- Ensayo de Proctor.
- Ensayo de CBR.
- Cálculo de los espesores de la estructura del pavimento.

1.4.1 Problema.

- ¿Los habitantes que transitan por la vía del malecón de Puerto Bolívar reciben un inadecuado servicio vial?

1.4.2 Problemas secundarios.

- ¿Cuáles son los métodos para realizar un estudio técnico en la estructura del pavimento en la vía del malecón de Puerto Bolívar?
- ¿Cuáles son las condiciones de la carretera donde se elaborará el proyecto?
- ¿Cuáles son las alternativas de rehabilitación en el pavimento que se implementa en la vía del malecón de Puerto Bolívar?

1.5 Delimitación del objeto de estudio.

En el presente trabajo se realizará una evaluación en la estructura del pavimento, el cual será para el desarrollo de la parroquia de Puerto Bolívar, por lo tanto, se ha seleccionado la vía del Malecón de Puerto Bolívar como zona de estudio, así mismo esta vía se caracteriza por formar parte de una zona turística, por ese motivo se ha implementado la respectiva investigación donde se manifestará un aporte a la sociedad y a los respectivos profesionales encargados en el estudio de pavimentos a continuación se da a conocer la ubicación de la zona , tal cual como se observa en la ilustración 2.

Esta carretera tiene una extensión de 0.95 km y consta de dos carriles, cada uno con un ancho de 3.75 m. Es una ruta muy transitada por comerciantes y turistas, especialmente los fines de semana.

Ilustración 2: Ubicación del proyecto



Fuente: AASHTO

1.6 Justificación

El presente trabajo se da a conocer para la obtención de mi título como ingeniero civil, de tal manera que el trabajo logra garantizar la relación con el PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTON MACHALA, Por lo que nuestro trabajo de investigación genera una conexión con el punto número nueve del componente de “ASENTAMIENTOS HUMANOS” el cual involucra que nuestro trabajo logre garantizar el 60% de implementación y gestión del tránsito, transporte terrestre y seguridad vial, con la finalidad de obtener una movilidad segura, ordenada y sostenible, así mismo tiene referencia el punto número 10, el cual consiste en la ejecución del 100% de la construcción del Malecón Turístico Cultural.(PDOT MACHALA, 2022)

Considerando el aporte que la falta de mantenimiento preventivo que no se ejecutan a su debido tiempo, ocasiona el daño en las vías, en ciertos casos depende de la falta de estudios de evaluaciones de fallas, como tampoco existe un análisis de su regularidad y

serviciabilidad, obteniendo estas evaluaciones permitiría ejecutar los mantenimientos y permitir cumplir con la vida útil del pavimento.

Uno de los principales problemas de las carreteras es la falta de confort y seguridad al transitar por sus vías generadas por irregularidad, depresiones, elevaciones, baches y fisuras que dificultan el tránsito normal ocasionando pérdida de tiempo y dinero al dañar vehículos que transitan por estas vías.

En este contexto, se debe proponer medidas sostenibles que permitan solucionar y controlar la vida útil del pavimento, en la que se plantea un estudio estructural del mismo, considerando los diferentes tipos de factores que influyen en la problemática de la calzada, para así minimizar el impacto que afectan directamente al pavimento.

Este trabajo se especializa a los profesionales y técnicos viales, donde se logrará garantizar varios modelos de evaluación de los pavimentos flexibles, planteamiento alternativas en consideración al tipo de fallas encontradas y de ello establecer una excelente mejora en el pavimento generando un adecuado servicio a los usuarios del Malecón de Puerto Bolívar.

Este trabajo está empleado con la finalidad de satisfacer información a los profesionales, en el ámbito vial, ya que es un apoyo para llevar a cabo la ejecución y control de un estudio estructural de pavimentos flexibles, ya que es una parte fundamental en la población, porque la infraestructura vial se considera muy importante en el desarrollo de la vida y con eso se tiene que realizarse una buena conservación y estabilidad en los pavimentos, dado que su mantenimiento también sea adecuado.

1.7 Objetivos.

1.7.1 Objetivo general.

Proponer una alternativa de rehabilitación vial mediante la evaluación de la estructura de pavimento para el tramo del malecón de Puerto Bolívar.

1.7.2 Objetivos específicos.

- Indagar métodos y técnicas para la evaluación de la estructura de pavimento mediante la revisión bibliográfica que permita brindar un adecuado servicio vial en el tramo del malecón de Puerto Bolívar.
- Evaluar la estructura del estado actual del pavimento, mediante métodos técnicos basados en normativa.
- Proponer espesores de la estructura del pavimento en el tramo de la carretera del malecón de Puerto Bolívar.

CAPITULO II 2 MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes contextuales.

2.1.1 Macro.

Según (Walubita et al., 2022) menciona que el método de diseño de Texas PP demostró durante un período de análisis de 50 años las estructuras del PP generaron menores costos de ciclo de vida (una mayor rentabilidad) que tanto para los pavimentos flexibles como los pavimentos rígidos.

Así mismo, la información relevante es la base para implementar este método de diseño a nuestra zona de estudio, para contribuir positivamente a nuestra comunidad.

En los últimos siglos, autoridades de transporte e ingenieros de carreteras en todo el mundo se han enfrentado a diferentes tipos de desafíos, los cuales son los desastres naturales, condiciones climáticas extremas, y fallo humano.

Como lo menciona el autor (Fani et al., 2024) el objetivo de este sistema es proponer un nuevo enfoque para considerar el riesgo y la incertidumbre en un problema de optimización de M&R de pavimentos. Para el modelado del problema se aplica una

programación entera estocástica de múltiples etapas que incluye restricciones de riesgo. El índice de Valor en Riesgo Condicional se aplica para minimizar las variables mencionadas y evitar riesgos inaceptables.

Este es el caso más importante de nuestra investigación, ya que se deben considerar los factores que influyen en la vida útil de nuestro pavimento, por lo que esta referencia se concentra directamente a las causas y efectos de nuestra investigación.

En Nigeria se considera un problema las fallas constantes en el pavimento, de tal manera, esto atribuye a varios factores como el uso de materiales deficientes, condiciones de subrasante inadecuadas, condiciones ambientales, carga de tráfico, falta de drenaje, y mano de obra deficiente, así lo afirma (estus Olusola Eebo & Obaloluwa Abiodun, 2021)

En Costa Rica se ha implementado un método para realizar el levantamiento de los deterioros en Universal a los pavimentos, donde se realiza mediante la metodología de la norma ASTM D6433-20 de auscultación visual, considerando el Índice de condición del pavimento y así emplear respuestas mediante a los diseños empleados. (Montes de Oca Hidalgo et al., 2021)

2.1.2 Meso

En la presente investigación se fundamenta según el autor (María Fabiola Ávila Martínez, 2023) que para la valoración de las propiedades de las mezclas asfálticas se utilizó el método Marshall donde se permitió concluir que estas mezclas asfálticas envejecidas en tiempo de 10 años presentan propiedades que cumplen con las especificaciones para carreteras según las normas ecuatorianas.

Según el autor (María Meza, 2019) señala que la utilización de bases y subbases tratadas con conglomerantes hidráulicos o ligantes asfálticos se está haciendo habitual en la construcción de carreteras, ya que mejoran su comportamiento, este estudio se lo realizó en las carreteras de la ciudad de Portoviejo, en Ecuador, y se logran buenos resultados añadiendo una emulsión asfáltica catiónica, incrementándose significativamente la resistencia a CBR tras inmersión y de resistencia conservada.

Además, a consideración de las ventajas técnico-económicas, se estima un impacto satisfactorio al medio ambiente el cual, representa el uso de emulsiones en la práctica constructiva del territorio.

Según (López Caiza, 2017) establece que el método se basa en la reutilización de escoria lo cual permite considerar como parte del agregado en la mezcla asfáltica, por lo que dio como resultado un adecuado mejoramiento en su aplicabilidad técnica y científica, contribuyendo al mejoramiento de sus características y, sobre todo, a su durabilidad. Además, se puede afirmar que el análisis del diseño se realizó con una mezcla asfáltica con determinación en caliente, así mismo se ha utilizado el método Marshall. Donde esta mezcla se plasmó con la finalidad de determinar las propiedades físicas y mecánicas.

2.1.3 Micro

Para (JORGE VERA, 2022) el proceso de evaluación del pavimento flexible se determina mediante dos fases. Primero se considera realizar una evaluación superficial utilizando el Método del Índice de Condición del Pavimento PCI (Pavement Condition Index), el cual determina la falla con relación a su gravedad. Además, se consideró realizar una evaluación estructural del pavimento flexible, el cual estableció el método conocido como Deflectometría, donde a partir de las deflexiones obtenidas este permite estimar el valor de CBR.

El diseño se llevará a cabo utilizando el método AASHTO 93, el cual contiene fórmulas, tablas y gráficos, estos se plantearán de forma adecuada según el diseño establecido con la finalidad de facilitar el cálculo de todo el paquete estructural, consiguiendo como resultados la determinación de los espesores de las diferentes capas, como la de subbase, base y capa de rodadura. (Brito Ordóñez, 2017)

2.2 Antecedentes conceptuales

Según el autor (Adepu et al., 2023) menciona que la evaluación estructural de pavimentos implica evaluar el desempeño y la condición de las secciones del pavimento para determinar su integridad estructural y su vida restante. Por otra parte (Morovatdar et al., 2023) indica que esta evaluación es importante para mantener y mejorar la capacidad de servicio y la calidad de conducción de los pavimentos.

Se utilizan varios métodos y técnicas para la evaluación estructural, incluidos experimentos de campo y de laboratorio, recopilación de datos de deflexión y análisis de características del pavimento como rugosidad, resistencia al deslizamiento y susceptibilidad a la humedad según lo manifiestan (Shah et al., 2023) y (Haridas et al., 2023)

Para (Park et al., 2024) indica que el objetivo es evaluar las propiedades funcionales y estructurales del pavimento y priorizar las acciones de mantenimiento y rehabilitación en función del nivel de necesidad. La evaluación estructural se puede hacer con diferentes enfoques, como técnicas de redes neuronales artificiales (ANN), modelos de redes neuronales profundas (DNN) y métodos empíricos. (Porras-Espinoza et al., 2018)

Estas evaluaciones ayudan a determinar el estado general de los pavimentos y a tomar decisiones aplicadas con respecto a la vida útil de la calzada.

Se puede considerar que cualquier estructura de pavimentos que se construya se dañará con tiempo. Por eso hay que evaluar las estructuras consistentemente y predecir las condiciones de la estructura, con la finalidad de garantizar un excelente sistema vial para las comunidades.

2.2.1 Carreteras.

Una carretera se considera una vía de comunicación terrestre transitable para vehículos automotrices en dominio del tráfico de vehículos, personas y mercancías, construida principalmente para la circulación de estos. Ésta, contiene aspectos generales como su clasificación, su estructura y sus especificaciones geométricas así lo menciona (Jorge A. Montaña De León, 2015)

2.2.2 Pavimentos.

Según el autor(De La Cruz Vega et al., 2022), menciona que un pavimento es un conjunto de capas superpuestas horizontalmente que se diseñan y se construyen técnicamente y con materiales idóneos y compactados, siendo esta estructura apoyada sobre la subrasante que ha de resistir adecuadamente las cargas continuas del tránsito.

2.2.3 Clasificación de los pavimentos.

Los pavimentos se clasifican en: pavimentos flexibles, pavimentos rígidos, pavimentos semirrígidos y pavimentos articulados.

2.2.4 Pavimentos flexibles.

Se considera que un pavimento flexible está constituido en una estructura compuesta por varias capas de materiales, diseñada para soportar cargas dinámicas, como las de los vehículos y otros tipos de carga. Además, su superficie debe ser uniforme, antideslizante, impermeable y capaz de resistir las condiciones climáticas y el desgaste ambiental. (Roberto Xavier Triviño Molina, 2022)

2.2.5 Subrasante.

Según (Zamora Chávez, 2023) determina que la "subrasante" se refiere a la capa de suelo natural ubicada debajo de la estructura de una carretera, pavimento o plataforma de construcción, así mismo se puede considerar que su principal función es proporcionar una base estable y resistente para la estructura, con la finalidad de soportar las cargas y evitando asentamientos o deformaciones.

Se menciona que la subrasante es la capa de terreno la cual debe soportar el paquete estructural, ya que se extiende hasta una profundidad en la cual no influyen las cargas de tránsito. Esta capa puede estar formada en corte o relleno, dependiendo de las características del suelo encontrado. Una vez compactada, debe tener las propiedades, secciones transversales y pendientes especificadas de la vía. El espesor del pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de estabilidad, incompresibilidad y resistencia a la expansión y contracción por efectos de la humedad.

2.2.6 Subbase granular.

La subbase está conformada por una capa de material con un espesor determinado según lo establecido en el diseño, cuya función es brindar soporte a la base y a la capa de rodadura. Además, esta actúa como una capa de drenaje y ayuda a controlar la capilaridad del agua, así como lo menciona. (Campos Quispe, 2020a)

2.2.7 Base granular.

La base granular es una capa estructural del pavimento formada por materiales como grava, piedra triturada o arena, los cuales se compactan para brindar soporte y estabilidad a las capas superiores. Su principal función es distribuir las cargas del tránsito hacia las capas subyacentes, aumentar la resistencia del pavimento y permitir un adecuado drenaje del agua para evitar daños estructurales. Esta capa se ubica entre la subrasante (terreno natural) y la capa de rodadura, que es la superficie en contacto con los vehículos.

2.2.8 Carpeta asfáltica.

La capa asfáltica se basa en la parte superior de un pavimento y puede estar compuesta por un material flexible. Su función principal es soportar de manera directa el tránsito vehicular, de acuerdo con lo establecido (Higuera - Sandoval, 2023)

2.2.9 Deterioro de los pavimentos flexibles.

Las imperfecciones en los pavimentos flexibles son un desafío recurrente a nivel mundial. El incremento del número de vehículos, la expansión de las redes viales, la falta de personal calificado y la carencia de un plan adecuado para el mantenimiento y conservación de la red han ocasionado diversas fallas en los pavimentos, tanto superficiales como estructurales. Un plan de mantenimiento es crucial, ya que su propósito principal es conservar en buen estado la capa de rodadura y sus componentes, lo cual contribuye a extender la vida útil de estos elementos hasta alcanzar su duración prevista en el diseño. (Campos Quispe, 2020)

2.2.10 Método de evaluación de la estructural del pavimento.

Se manifiesta que la evaluación de la estructura de un pavimento se la identifica cuando existe un mantenimiento inadecuado de la vía, así mismo se puede recurrir por la mala calidad de materiales utilizados en la obra de la vía, por lo tanto, se manifiesta que las condiciones que afectan al pavimento pueden generar irregularidad en la carretera, en función de su accesibilidad, seguridad, viabilidad y confort. Por esta razón los pavimentos se evalúan de la siguiente manera:

- Ensayos destructivos.

En este trabajo se proyecta utilizar la evaluación de ensayos destructivos, por lo que se necesita realizar calicatas en la zona de estudio, con la finalidad de utilizar esas muestras en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Técnica de Machala, en la Facultad de Ingeniería Civil, así mismo determinando los resultados de esa vía y generar una alternativa sostenible para dicha vía.

2.2.11 Factores agresivos.

Este es el problema más grande que tienen los ingenieros civiles al momento de realizar mantenimientos o diseñar una vía, ya que el deterioro de la calzada es reconocido a nivel mundial ya que es una amenaza directa que pone en riesgo la vida útil de la estructura de la vía.

Además, se puede contribuir que el pavimento está expuesto a diferentes factores climáticos, los cuales establecen un deterioro en la calzada, como la temperatura, la humedad, la lluvia, además el pavimento se somete a cargas vehiculares, donde es propenso a deformaciones.

2.2.12 Contenido de humedad

Según el autor El contenido gravimétrico de agua es la masa de agua por masa de suelo (es decir, gramos de agua por gramo de suelo). Es el método principal para medir el contenido de agua del suelo porque la cantidad de agua del suelo se mide directamente midiendo la masa. Se calcula pesando el suelo húmedo muestreado en el campo, secándolo en un horno y pesando después el suelo seco.(Hopkins, 2023)

2.2.13 Límites de consistencias

Los límites de Atterberg, que comprenden el límite líquido (LL) y el límite plástico (LP), son parámetros esenciales en la caracterización de las propiedades físicas de los suelos. Estos límites ofrecen información crucial sobre la cohesión, plasticidad y consistencia del suelo, lo que a su vez influye en su comportamiento bajo diversas condiciones de carga y humedad.(Gutiérrez Rodríguez, 2023)

2.2.14 Granulometría.

La granulometría consiste en agitar una serie de tamices que va de mayor a menor abertura, es decir del Tamiz de 4 pulgadas hasta el tamiz #200, donde el material más grueso queda atrapado en los tamices de mayor abertura y deja caer las partículas más finas a los tamices de menor abertura. Además, el autor(María Meza, 2019) realizó un análisis interesante en el que afirma que al examinar los materiales que componen la estructura del pavimento, como las bases y subbases, a menudo se encuentran discrepancias en las características requeridas por las normas, especialmente en cuanto a la granulometría y plasticidad. Las especificaciones técnicas para carreteras exigen alta calidad en los materiales granulares, ya que estos materiales deben soportar las tensiones generadas por las cargas de los vehículos debido a su alta resistencia.

2.2.15 Proctor

El Proctor es un ensayo que se realiza en los laboratorios de mecánica de suelos, donde se utiliza para establecer la relación entre la densidad seca y el contenido de humedad de acuerdo con la compactación en los materiales destinados a explanadas y capas granulares de firmes. Los resultados obtenidos en este ensayo sirven como referencia para el control de calidad de la compactación durante la ejecución de la obra, así como lo menciona el autor.(López Maldonado, 2020)

2.2.16 California Bearing Ratio (CBR).

La prueba de relación de soporte California (CBR) es una prueba de resistencia simple que compara la capacidad de carga de un material con la de una piedra triturada bien graduada.(Portilla Yandún, 2022)

Se puede considerar que el CBR describe el resultado en porcentaje representando la relación entre la carga que soporta el material y la carga que soporta un material de referencia.

2.2.17 Sistema de clasificación AASTHO.

Los suelos comprendidos en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales de granulares donde 35% o menos de las partículas pasan por el tamiz N° 200 y aquellos en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 son suelos de los que más del 35% pasan por el tamiz N° 200.

El sistema de clasificación AASHTO (para suelos A-1 al A-7) se presenta en la siguiente tabla. Nótese que el grupo A-7 incluye dos tipos de suelos. Para el tipo A-7-5, el índice de plasticidad es menor o igual que el límite menos que 30. Para el tipo A-7-6, el índice de plasticidad es mayor que el límite líquido menos 30.

Ilustración 3 Sistema de clasificación de suelos

SISTEMA DE CLASIFICACION AASHTO											
Clasificación General	Suelos granulares ($\leq 35\%$ pasa 0,08 mm)						Suelos finos ($>35\%$ Bajo 0,08 mm)				
Grupo	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Sub-grupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6*	A-2-7*				A-7-5** A-7-6**
2 mm	≤ 50										
0,5 mm	≤ 30	≤ 50	≥ 51								
0,08 mm	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35				≥ 36			
WL				≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41
IP	≤ 6		NP	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11
Descripción	Gravas y Arenas		Arena fina	Gravas y arenas Limosas o Arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
	** A-7-5 : $IP \leq (WL-30)$						A-7-6 : $IP > (WL-30)$				
	$IG = (F-35)(0,2 + 0,005(WL-40)) + 0,01(F-15)(IP-10)$ * Para A-2-6 y A-2-7 : $IG = 0,01(F-15)(IP-10)$ Si el suelo es NP $\rightarrow IG = 0$: Si $IG < 0 \rightarrow IG = 0$										

Fuente: AASHTO

2.2.18 Serie AST.

Tamiz #10 – 2 mm

Tamiz #40 – 0.5 mm

Tamiz #200 – 0.08mm

2.3 Antecedentes referenciales.

Para un estudio estructural de pavimentos, se consideran varias técnicas y métodos que se tratarán en determinados laboratorios, donde se verificarán los resultados del pavimento a evaluar, además de establecer especificaciones técnicas de diseño y con esto determinar las condiciones del pavimento estudiado.(Macea-Mercado et al., 2016)

Considerando la zona de estudio se puede definir que hay un suelo salitroso, con problemas de saturación de agua salada, por lo que el asfalto reacciona con el agua salada al sufrir daños por humedad y cambios en sus propiedades químicas y reológicas. Cuando el asfalto se expone a solutos de agua, ciertos compuestos se disuelven y se eliminan, lo que reduce la fracción de compuestos saturados y aumenta la cantidad de asfáltenos. La adición de solutos acuosos, en particular una solución de pH 11, provoca daños más graves en los aglutinantes asfálticos debido a la humedad. La influencia del agua salada en el asfalto depende de la concentración y la duración de la exposición. El agua salina reduce las propiedades a bajas temperaturas y la resistencia a la fatiga del asfalto envejecido.(Pang et al., 2018)

Como menciona el autor(Rojas Carrizales et al., 2021) En un breve período de envejecimiento, se puede determinar que, en entornos con alta exposición a concentraciones de sal y agua, como el agua de mar o zonas inundadas, la estabilidad del pavimento flexible disminuye, al igual que el flujo. Esto sugiere que las mezclas asfálticas tienden a volverse más rígidas y menos dúctiles con el tiempo.

El tráfico sobre el pavimento es un factor clave en el diseño y la vida útil del pavimento, donde varios estudios han investigado el impacto de la carga de tráfico en el desempeño del pavimento. Jiang, descubrió que los dispositivos piezoeléctricos tienen una alta precisión en la percepción del estado de carga del tráfico, incluidos parámetros como la velocidad de conducción, el número de ejes, la distancia entre ejes y el peso total del vehículo. (Jiang et al., 2023)

Así mismo otro investigador menciona que exploraron el uso de transductores piezoeléctricos para recolectar energía de las ondas de choque de la carga del tráfico, demostrando el potencial de la micro generación de energía en las aceras de las carreteras (Heller et al., 2023). De igual manera (Hashim et al., 2023), concluye que los deterioros

del pavimento afectan significativamente el desempeño operativo del tráfico, y que la condición del pavimento tiene un impacto mayor que la geometría de la carretera.

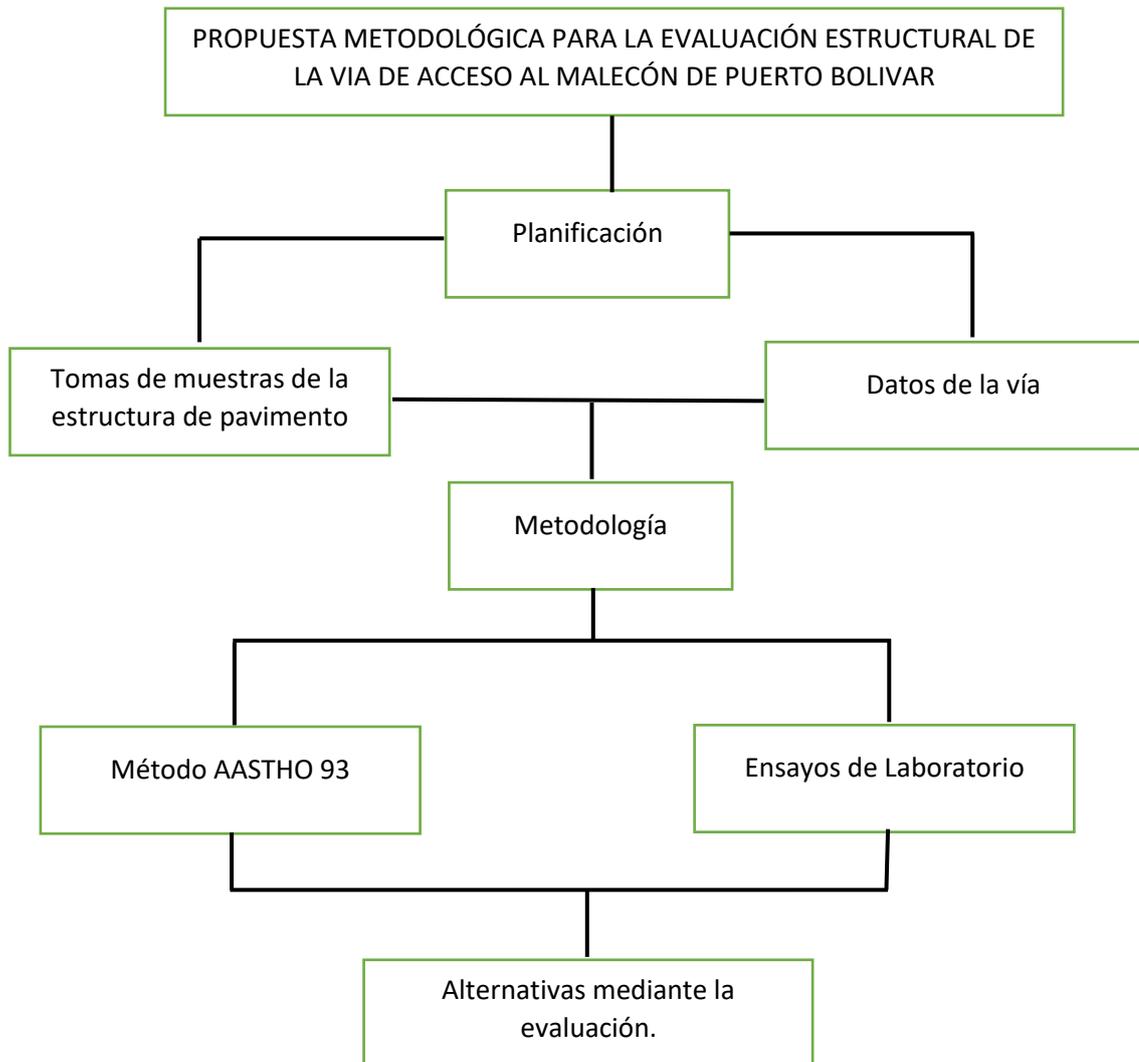
Según los autores (Sinanmis & Woods, 2023) investigaron la influencia de la canalización en el surco del pavimento asfáltico y descubrieron que el grado de canalización del tráfico contribuye al progreso del surco. Por otra parte (Yao et al., 2023). estudiaron los efectos de la secuencia de carga del tráfico en el rendimiento de agrietamiento del pavimento y encontraron que cargas de tráfico más intensas en las primeras etapas pueden perjudicar el rendimiento a largo plazo.

Para llevar a cabo una evaluación de pavimentos, es importante tener en cuenta que estas estructuras están proyectadas para proporcionar seguridad y comodidad a los conductores. Por lo que implica que la vía logra garantizar un adecuado servicio a la comunidad. También se considera de implementar medidas apropiadas de reparación y mantenimiento. Estas acciones buscan extender la vida útil del pavimento, por lo que es esencial realizar una evaluación precisa y acorde a las condiciones de la zona en la que se encuentra, así como lo menciona el autor. (Cárdenas Resines et al., 2023)

La evaluación de pavimentos es crucial, porque esta permite identificar los deterioros en la superficie, por lo que se lleva a cabo las correcciones necesarias para garantizar un adecuado servicio vial al usuario. Además, se logra realizar evaluaciones periódicas del pavimento, lo cual facilita la predicción de la vida útil de una red o un proyecto. Asimismo, esta evaluación contribuye a optimizar los costos de rehabilitación, pues atender los daños en sus primeras etapas ayuda a extender la vida del pavimento y a reducir gastos significativos en el futuro.

2.3.1 Propuesta metodológica

Ilustración 4 Propuesta metodológica



Fuente: Autor

CAPITULO III

3 Metodología.

3.1 Modalidad básica de la investigación.

-De campo. –Este proyecto se basa en un estudio in situ, para realizar los respectivos ensayos destructivos, con el fin de analizar las muestras en el laboratorio de la UTMACH, de la Facultad de Ingeniería civil.

-Documental – Se basa en la búsqueda exhaustiva de información con rigor científico, generando un excelente trabajo.

3.2 Tipo de investigación.

El presente trabajo se lo realizó mediante tres tipos de investigaciones: documental, campo y descriptiva.

3.2.1 Investigación Documental.

Hace unos treinta años, la investigación documental en las ciencias sociales se entendía como un proceso centrado específicamente en la consulta de documentos impresos, principalmente libros, tesis e informes. De hecho, solía denominarse investigación bibliográfica.(Fidias Arias, 2023) . Esta investigación es fundamental para mi tema de estudio, ya que parte de información bibliográfica para determinar los conocimientos de Normativas, para poder darle rigor científico al presente trabajo de titulación.

3.2.2 Investigación de campo.

Este tipo de investigación se lleva a cabo directamente en el campo, permitiendo la recolección de información suficiente para respaldar una comprensión teórica sólida. Incluye métodos como observaciones personales, observación participante, entrevistas, registro en diarios, mediciones de rastreo, evaluación ambulatoria, y observación tanto de la población como de situaciones y características en su contexto real. La investigación de campo es esencial para profundizar en nuestra comprensión sobre cómo identificar, reducir o prevenir los efectos de las actividades humanas en los sistemas biológicos, así lo menciona (Ríos-Saldaña et al., 2023).

3.2.3 Investigación experimental.

La investigación experimental se caracteriza por la manipulación intencionada de la variable independiente y el análisis de su impacto sobre una variable dependiente, así lo menciona (Ramos-Galarza, 2021).

Este tipo de investigación, también llamado método científico experimental, se realiza con un enfoque científico. A través de la experimentación, se recopilan datos que luego se comparan con variables constantes para identificar las causas y efectos del fenómeno en estudio.

3.3 Descripción de la población y muestra

3.3.1 Población.

Diseño estructural de las vías de pavimento flexibles.

3.3.2 Muestra.

Diseño estructural de pavimento flexible en la vía del tramo del malecón de Puerto Bolívar.

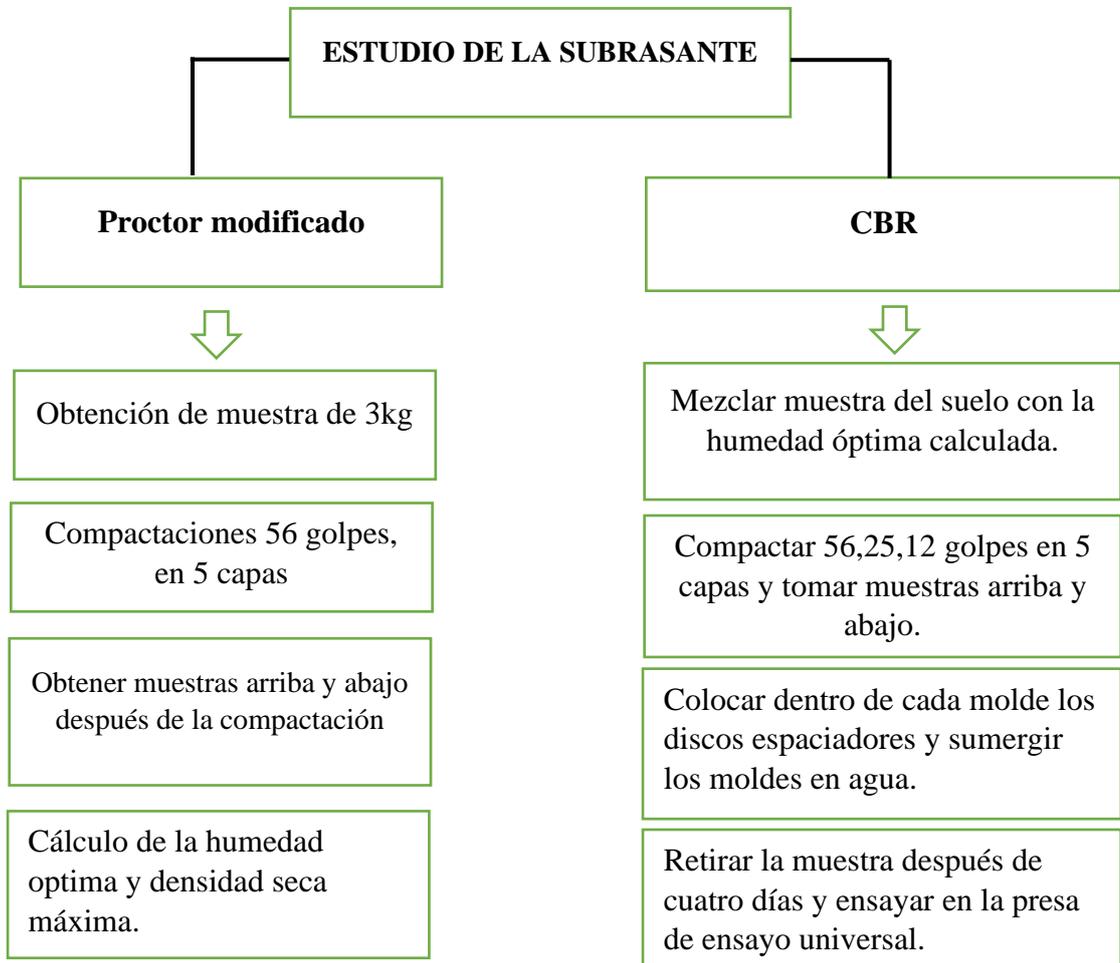
3.4 Métodos con los materiales utilizados

3.4.1 Estudio de la subrasante

Las capas que conforman el paquete estructural de una carretera se apoyan en el suelo natural o subrasante, y los pavimentos cumplen la función de distribuir las cargas del tráfico vehicular hacia la subrasante, lo cual permite mantener la resistencia al deslizamiento. La mayoría de las fallas estructurales en el pavimento suelen originarse debido a las deformaciones que se producen en la subrasante, provocadas por la combinación de las cargas del tráfico y factores ambientales, climáticos o geotécnicos. La resistencia de la subrasante se determina mediante el ensayo de relación de soporte de California (CBR). El valor obtenido en el ensayo CBR tiene una gran influencia en el diseño de una carretera, ya que de él depende el espesor y la profundidad del pavimento, además de ayudar a estimar si la subrasante requiere mejoramiento o si puede soportar el paquete estructural, lo que impacta significativamente en los costos de construcción. (Ospina-García et al., 2020)

A continuación, se presenta el diagrama de flujo donde se detalla el procedimiento para determinar el estudio del Proctor y CBR.

Ilustración 5 Estudio de subrasante



Fuente: Autor

Es fundamental señalar que los procesos indicados en el diagrama de flujo anterior representan los procedimientos principales que deben llevarse a cabo. No obstante, antes y después de cada uno de estos, existen subprocesos adicionales necesarios para poder obtener el valor del CBR.

3.4.2 Diseño de pavimentos flexibles.

Este trabajo de titulación se centrará en el método AASHTO, el cual actúa como una guía que define los procedimientos básicos actualmente utilizados para el dimensionamiento adecuado de pavimentos tanto flexibles como rígidos. Sin embargo, es importante aclarar

que este estudio se enfocará exclusivamente en pavimentos flexibles. La metodología establecida por AASHTO es de tipo empírico y se basa en los resultados del ensayo vial AASTHO, involucrando un proceso que combina la iteración de algoritmos matemáticos con la selección manual de diversos parámetros a través de tablas, gráficos, entre otros.(Vásquez-Varela & García-Orozco, 2020)

El método utiliza el número estructural como mecanismo para el diseño de pavimentos flexibles. Este valor se emplea para definir los espesores adecuados de las capas que soportarán las cargas de tráfico a lo largo del período de diseño, considerando ciertas condiciones ambientales y un índice de serviciabilidad específico al final de la vida útil del pavimento. Para calcular el número estructural necesario, el método AASHTO proporciona la siguiente fórmula.(AASHTO, 1993)

Numero estructural. (SN) – El número estructural se lo determina a partir de la ecuación N°1, como se visualiza más adelante.

Ecuación 1 Expresión para calcular el número estructural

$$\log(W18) = Z_r \cdot S_o + 9,36 * \log(SN_1 + 1) - 0,20 + \left[\frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,50}\right)}{0,40 + \left(\frac{1094}{(SN_1 + 1)^{5,19}}\right)} \right] + 2,32 * \log(Mr)$$

Fuente: AASHTO 93

Donde:

W18= número de aplicaciones de cargas de 8.2 Toneladas.

Zr= abscisa correspondiente a un área igual a la confiabilidad R en la curva de distribución normalizada. **So** = desvío estándar de las variables

ΔPSI = pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño

Mr. = módulo resiliente de la subrasante.

Parámetros de diseño

Nivel de confiabilidad (R). – Se define a la confiabilidad como la probabilidad que existe para que el pavimento se comporte de manera satisfactoria a lo largo de su vida útil, el

mismo que se encuentra ligado al desempeño del pavimento bajo la acción de cargas, condiciones climáticas y diferentes fallas superficiales y estructurales. (AASHTO, 1993)

3.4.3 Desviación normal estándar (Zr).

No existe una similitud entre la curva del comportamiento del pavimento y la curva que fue diseñada por la AASHTO, entonces se produce un error que se debe corregir. La guía AASHTO utiliza la ley de distribución normal con una desviación típica S_o para ajustar estas curvas, por medio de la distribución se puede obtener el valor de Z_r asociado a la confiabilidad. El valor de desviación estándar normal, se lo puede obtener en la siguiente tabla, la cual está en función del nivel de confianza.(AASHTO, 1993).

Tabla 1 Nivel de confiabilidad AASHTO-93

R	ZR	R	ZR
50 %	0	80 %	0,84
60 %	0,25	90 %	1,28
70 %	0,53	95 %	1,65

Fuente: AASHTO 93

3.4.4 Desviación estándar (So).

A partir de este factor se pueden evaluar los datos que conforman la curva de comportamiento del pavimento. La AASHTO establece rangos para este valor, a continuación, se presenta una tabla con los rangos definidos para S_o .

Tabla 2 Desviación estándar

Condicion de Diseño	Desvio Estándar (S_o)	
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores de tránsito	0,34	(Pavimentos Rígidos)
	0,44	(Pavimentos Flexibles)
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores de tránsito	0,39	(Pavimentos Rígidos)
	0,49	(Pavimentos Flexibles)

Fuente: AASHTO 93

3.4.5 Pérdida de nivel de servicio. (ΔPSI)

Es la representación del estado del pavimento, y viene dado por la siguiente expresión.(AASHTO, 1993)

Ecuación 2 Expresión para calcular la pérdida de nivel de servicio

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

Fuente: AASHTO 93

3.4.6 Índice de serviciabilidad inicial (P_o).

La guía AASHTO, establece que este índice se encuentra en función del diseño y calidad del pavimento, para pavimentos flexibles este índice es igual a 4.2.(AASHTO, 1993)

3.4.7 Índice de serviciabilidad final (P_t).

Este parámetro se encuentra en función del tipo de carretera, en donde representa el valor más bajo de la condición del pavimento. A continuación, se muestran los valores establecidos por la AASHTO.

Tabla 3 Índice de serviciabilidad final

Serviciabilidad	
Tipo de vía	Serviciabilidad final
Autopistas	2,5 - 3
Carreteras	2 - 2,5

Fuente: AASHTO 93

3.4.8 Módulo resiliente de la subrasante. (M_r)

La guía de diseño AASHTO 93 propone correlaciones que determinan el módulo resiliente en función del ensayo CBR. A continuación, se muestran las expresiones para determinar el módulo resiliente.

Ecuación 3 Expresión para calcular módulo resiliente para $CBR < 3$

$$M_r = 1500 * CBR(\text{psi})$$

Fuente: AASHTO 93

3.4.9 Cálculos correspondientes para encontrar el coeficiente de drenajes de nuestras bases granulares.

Este análisis se lo realiza en las dos bases granulares por lo que, solo se presentará una sola vez por el hecho que es el mismo procedimiento para ambos.

Longitud resultante de la subbase

Ecuación 4: Expresión de la longitud resultante de las bases

$$LR = W \left[\left(\frac{S}{S_x} \right)^2 + 1 \right]^{0.5}$$

Fuente: **Fuente:** AASHTO 93

Pendiente resultante de la sub-base:

Ecuación 5 : Expresión de la pendiente

$$SR = (S^2 + S_x^2)^{0.5}$$

Fuente: AASHTO 93

Factor de pendiente:

Ecuación 6: Expresión del factor de pendiente

$$St = \frac{LR * SR}{H}$$

Fuente: AASHTO 93

3.4.10 Cálculo de las propiedades drenantes

Volumen de los sólidos:

Ecuación 7: Expresión para calcular volumen de los sólidos

$$Vs = \frac{Ws}{Gs}$$

Fuente: AASHTO 93

VOLUMEN DE VACÍOS:

Ecuación 8: Expresión para calcular el volumen de vacíos

$$V_v = V_t - V_s$$

Fuente: AASHTO 93

POROSIDAD EFECTIVA MÁXIMA:

Ecuación 9: Expresión para calcular la porosidad efectiva máxima

$$n = \frac{V_v}{V_t}$$

Fuente: AASHTO 93

Tabla 4: Tabla para determinar el factor C

CANTIDAD DE AGUA QUE PUEDE DRENAR POR GRAVEDAD. CANTIDAD DE FINOS									
MATERIAL PREDOM.	< 2.5 %			5%			10%		
	Tipos de finos			Tipos de finos			Tipos de finos		
	Filler	Limo	Arcilla	Filler	Limo	Arcilla	Filler	Limo	Arcilla
Grava	70	60	40	60	40	20	40	30	10
Arena	57	50	35	50	35	15	25	18	8

Fuente: AASHTO 93

Porosidad Efectiva

Ecuación 10: Expresión para determinar la porosidad efectiva

$$N_e = \frac{N_e \text{ máx} * C}{100}$$

Fuente: AASHTO 93

Cálculo del Coeficiente de permeabilidad.

Ecuación 11: Expresión para calcular el coeficiente de permeabilidad

$$K = \frac{6,214 * 10^5 * D_{10}^{1.478} * n^{6.654}}{F_{200}^{0.597}} = \text{pies / dias}$$

Fuente: AASHTO 93

DE DONDE:

- K = Coeficiente de permeabilidad
- D₁₀ = Tamaño efectivo de las partículas
- n = Porosidad efectiva máxima
- F₂₀₀ = % Pasante del tamiz # 200

CÁLCULO DE LA PENDIENTE DE DRENAJE

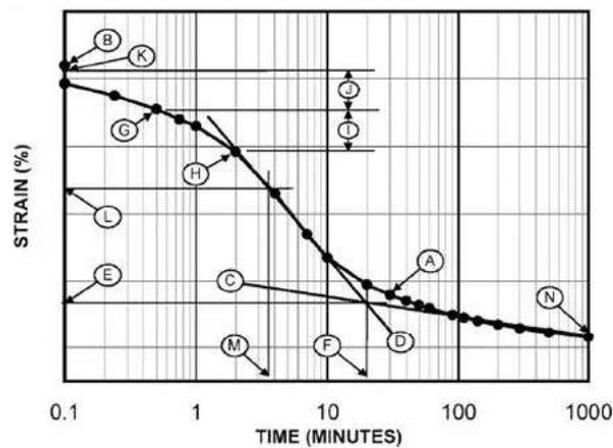
Ecuación 12: Expresión para calcular la pendiente de drenaje

$$m = \frac{Ne}{H} * \frac{LR^2}{K}$$

Fuente: AASHTO 93

Calculamos el factor de tiempo para un drenaje al 50% (T50) por monogramas
calculamos el grado de drenaje (U). Por monogramas

Ilustración 6: Curva tiempo-deformación.



Cálculo del tiempo de drenaje

Ecuación 13: Expresión para el cálculo del tiempo de drenaje

$$t = m * T_{50} * 24 \text{ horas}$$

Fuente: AASHTO 93

Tabla 5 Valores de drenaje respecto a saturación en función al tiempo:

CALIDAD DE DRENAJE	50% DE SATURACIÓN EN:	85% DE SATURACIÓN EN:
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	Mas de 10 horas
Muy Pobre	El agua no drena	Mucho más de 10 horas

Fuente: AASHTO 93

3.4.11 Calculamos el agua drenante

Volumen de agua drenante

Ecuación 14: Expresión del volumen de agua drenante

$$V = N_e * U$$

Fuente: AASHTO 93

CALCULAMOS EL VOLUMEN REMANENTE:

Ecuación 15: Expresión para calcular volumen

$$VR = N_{e \text{ máx}} - N_e * U$$

Fuente: AASHTO 93

CÁLCULO DEL GRADO DE SATURACIÓN (S)

Ecuación 16: Expresión para calcular el grado de saturación

$$S = \frac{VR = N_{e \text{ máx}} - N_e * U}{n}$$

Fuente: AASHTO 93

porcentaje del tiempo en que el pavimento permanece en niveles próximos a la saturación

Ecuación 17: Expresión de niveles de saturación del pavimento

$$P = \left(S + R \right) * \frac{100}{365}$$

DE DONDE:

S = días de deshielo en primavera

R = días de lluvia al año

Para nuestro estudio no consideramos S porque en nuestro medio no hay nevadas:

Ecuación 18: Expresión de niveles de saturación sin nevada

$$P = R * \frac{100}{365}$$

Fuente: AASHTO 93

TABLA: % DE TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTA EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD PRÓXIMOS A LA SATURACION

Tabla 6 Coeficiente de drenaje

CALIDAD DE DRENAJE	% DE TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTA EXPUESTO A NIVLES DE HUMEDAD PRÓXIMOS A LA SATURACION			
	< 1%	1 – 5 %	5 – 25 %	> 25 %
Excelente	1,40 - 1,35	1,35 - 1,30	1,30 - 1,20	1,20
Bueno	1,35 - 1,25	1,25 - 1,15	1,15 - 1,00	1,00
Regular	1,25 - 1,15	1,15 - 1,05	1,00 - 0,80	0,80
Pobre	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80 - 0,60	0,60
Muy Pobre	1,05 - 0,95	0,95 - 0,75	0,75 - 0,40	0,40

Fuente: AASHTO 93

3.4.12 Cálculo del espesor carpeta asfáltica, base granular, subbase granular. El cálculo del espesor de las capas estructurales viene dado por las siguientes expresiones.

Capacidad portante. Una vez determinado el número estructural para cada capa con su espesor correspondiente, se procede a determinar si el conjunto de capas cuyos espesores combinados, proporcionan la capacidad portante correspondiente al número estructural. A continuación, se muestra la fórmula establecida por la AASHTO.

Ecuación 19 Expresión para calcular el número estructural.

$$SN = a_1xD_1 + a_2xD_2xm_2 + a_3xD_3xm_3$$

Fuente: AASHTO 93

Donde:

a1= coeficiente estructural de la capa de rodadura.

D1 = espesor de la capa de rodadura.

a2= coeficiente estructural de la capa de base.

mi= coeficientes de drenaje (m2 = m3)

D2 = espesor de la capa de base.

a3= coeficiente estructural de la capa de subbase.

D3 = espesor de la capa de subbase

Espesores mínimos de capas. A continuación, se muestran los espesores mínimos establecidos por la AASHTO.

Ecuación 20 Expresión para calcular el espesor de la capa asfáltica

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1}$$

Fuente: AASHTO 93

Ecuación 21 Expresión para calcular el espesor de la base granular.

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN_1}{a_2xm_2}$$

Fuente: AASHTO 93

Ecuación 22 Expresión para calcular el espesor de la subbase granular.

$$D_3 = \frac{SN^3 - SN_{2n}}{a_3 \cdot m_3}$$

Fuente: AASHTO 93

Ecuación 13 Expresión para calcular el numero estructural SN1

$$SN_1 = a_1 * D_1$$

Fuente: AASHTO 93

Ecuación 23 Expresión para calcular el numero estructural SN2.

$$SN_2 = a_2 * D_2 * m_2$$

Fuente: AASHTO 93

Ecuación 24 Expresión para calcular el espesor de la subbase granular.

$$SN_3 = a_3 * D_3 * m_3$$

Fuente: AASHTO 93

Tabla 7 Espesores mínimos

Nº DE EJES EQUIVALENTES(ESAL'S)	CONCRETO ASFÁLTICO	BASE GRANULAR
<50,00	1	4
50,001 - 150,000	2	4
150,001-500,000	2,5	4
500,001-2'000,000	3	6
2'000,001-7'000,000	3,5	6
>7'000,000	4	6

Fuente: AASHTO 93

CAPITULO IV

4 ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 ENSAYOS DE CONTENIDOS DE HUMEDAD

A continuación, se mostrarán los datos obtenidos en el laboratorio de Mecánica de suelos de la Universidad Técnica de Machala, de la facultad de Ingeniería civil, donde se realizó primeramente el ensayo de contenido de humedad, el cual consiste, en determinar la razón entre peso del agua y peso del suelo seco de las muestras recolectadas en la zona de estudio. Se expresa en porcentaje:

Tabla 8 Datos obtenidos del contenido de humedad m1, profundidad 0.5 m

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS	
MUESTRA: M1	PROFUNDIDAD: 0,5m
CONTENIDO DE HUMEDAD(W%)	5,50%

Fuente: Autor

Tabla 9 Datos obtenidos del contenido de humedad m1, profundidad

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS	
MUESTRA: M1	PROFUNDIDAD: 1m
CONTENIDO DE HUMEDAD(W%)	13,50%

Fuente: Autor

Tabla 10 Datos obtenidos sobre el contenido de humedad m1, profundidad 1.5m

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS	
MUESTRA: M1	PROFUNDIDAD: 1,50m
CONTENIDO DE HUMEDAD(W%)	59,57%

Fuente: Autor

4.2 LIMITES DE CONSISTENCIA

En el laboratorio de Mecánica de suelos de la Universidad Técnica de Machala, se han realizaron los ensayos de límites de consistencia los cuales constan de los Limite Liquido y Limite plástico.

Nuestras calicatas a profundidad de 0.5 m y 1 m según su clasificación de suelo son Arenas SP, arenas pobremente graduadas, por lo cual, no es posible realizar los ensayos con este tipo de suelo, es decir, sus valores de limite líquido y limite plástico es igual a cero, ya que el material no tiene plasticidad.

Por otra parte, se considera que en la muestra 1 a profundidad de 1.50 m si fue posible realizar los ensayos de límites de consistencia.

4.3 LIMITE LIQUIDO Y PLASTICO

En estos ensayos se obtuvieron resultados de nuestras muestras a profundidad de 1.50 m, los cuales se muestran a continuación:

Ilustración 7 Datos obtenidos de: Limites líquido y plásticos de la calicata 1, profundidad 1.5m

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS	
MUESTRA: M1	PROFUNDIDAD: 1,50m
LÍMITE LIQUIDO(LL)	71,93%
LÍMITE PLÁSTICO(LP)	31,16%
INDICE DE PLÁSTICIDAD(IP)	40,77%

Fuente: Autor

4.4 GRANULOMETRIA

En este apartado se detallan los valores obtenidos a través del ensayo de granulometría de las muestras que se analizaron en el laboratorio de mecánica de suelos a profundidad de 0.5 m, 1.0 m y 1.5 m de profundidad

Tabla 11: Valores de granulometría a 0.5 m

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS		
GRANULOMETRÍA		
MUESTRA: M1	PROFUNDIDAD: 0,5m	
MALLA		% QUE PASA
Nº10	2 mm	78,34%
Nº40	0,425 mm	37,81%
Nº200	0,075 mm	23,52%

Fuente: Autor

Tabla 12: Valores de granulometría a 1 m

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS		
GRANULOMETRÍA		
MUESTRA: M1	PROFUNDIDAD: 1m	
MALLA		% QUE PASA
Nº10	2 mm	78,84%
Nº40	0,425 mm	38,55%
Nº200	0,075 mm	21,53%

Fuente: Autor

Tabla 13: Valores de granulometría a 1.5 m

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS		
GRANULOMETRÍA		
MUESTRA: M1	PROFUNDIDAD: 1,5m	
MALLA		% QUE PASA
Nº10	2 mm	95,55%
Nº40	0,425 mm	82,53%
Nº200	0,075 mm	94,43%

Fuente: Autor

4.5 CLASIFICACION SUCS

Se observan los valores identificados mediante la clasificación SUCS, según las muestras tratadas en el laboratorio de mecánica de suelos de la UTMACH de la facultad de Ingeniería civil.

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS UNIFICADO "U.S.C.S."

DIVISIONES PRINCIPALES		Símbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACION DE LABORATORIO			
SUELOS DE GRANO GRUESO	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz número 4 (4,76 mm)	Gravas limpias (sin o con pocos finos)	GW Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue: <5% → GW, GP, SW, SP. >12% → GM, GC, SM, SC. 5 al 12% → casos límite que requieren usar doble símbolo.	$CU = D_{60}/D_{10} > 4$ $Cc = (D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3		
			GP Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.		No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW.		
		Gravas con finos (apreciable cantidad de finos)	GM Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.		Límites de Atterberg debajo de la línea A o $IP < 4$.	Encima de línea A con IP entre 4 y 7 son casos límite que requieren doble símbolo.	
			GC Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.		Límites de Atterberg sobre la línea A con $IP > 7$.		
		ARENAS Más de la mitad del material retenido en el tamiz número 200	Arenas limpias (pocos o sin finos)		SW Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.	Límites de Atterberg debajo de la línea A o $IP < 4$. Límites de Atterberg sobre la línea A con $IP > 7$.	$CU = D_{60}/D_{10} > 6$ $Cc = (D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3
					SP Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW.
	Arenas con finos (apreciable cantidad de finos)		SM Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan de símbolo			
			SC Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.				
	SUELOS DE GRANO FINO	Limos y arcillas: Límite líquido menor de 50	ML Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosas, o limos arcillosos con ligera plasticidad.	<p>Abaco de Casagrande</p>			
			CL Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.				
OL Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.							
Limos y arcillas: Límite líquido mayor de 50		MH Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.					
		CH Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.					
		OH Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada, limos orgánicos.					
		Suelos muy orgánicos	PT Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.				

En las muestras a profundidad de 0.5 m y 1 m, según su tipo de suelo obtenido es arena SP, por lo que son arenas pobremente graduadas, con baja o nula plasticidad, así mismo se define con una alta permeabilidad y que es difícil de ser compactada por la falta de cohesión.

Tabla 14: Clasificación de suelo SUCS a 0.5 – 1m

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS	
CLASIFICACIÓN DE SUELOS SUCS	
MUESTRA: M1	PROFUNDIDAD: 0,5 -1 m
TIPO DE SUELO	
ARENAS(SP)	
POBREMENTE GRADUDADA	

Fuente: Autor

En la muestra a profundidad de 1.50 se determinó una clasificación del suelo, mediante la clasificación SUCS, es decir, un suelo arcilloso orgánico (CH) de alta plasticidad.

Tabla 15: Clasificación de suelo SUCS a 1.50 m

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS	
CLASIFICACIÓN DE SUELOS SUCS	
MUESTRA: M1	PROFUNDIDAD: 1,5 m
TIPO DE SUELO	
ARCILLAS DE ORGANICAS(CH)	
ALTA PLASTICIDAD	

Fuente: Autor

4.6 CLASIFICACIÓN ASSTHO

Esta clasificación se basa en verificar el porcentaje de pasante N.º 200, considerando también el límite líquido y límite plástico del material, aplicando así un índice de grupo y una clasificación adecuada según el tipo de material.

En este caso se hará el ejemplo con los valores de una profundidad de 0.5 m y 1.0 m.

Ilustración 9 Clasificación AASHTO

CLASIFICACION GENERAL	Material Granular (35 % o menos del total pasa el tamiz N.º. 200)						Material Limo - arcillosos (más del 35 % del total pasa el tamiz N.º. 200)				
CLASIFICACION DE GRUPO	A - 1		A - 2				A - 3	A - 4	A - 5	A - 6	A - 7
	A-1-a	A-1-b	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7					A-7-5 A-7-6
Porcentaje de material que pasa el tamiz N.º. 10 N.º. 40 N.º. 200	50 máx 30 máx 15 máx	50 máx 25 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	51 min 10 máx	36 min	36 min	36 min	36 min
Características de la fracción que pasa el tamiz N.º. 40 Límite líquido L I Índice Plástico Ip			40 máx 10 máx	41 min 10 máx	40 máx 11 min	41 min 11 min		40 máx 10 máx	41 min 10 máx	40 máx 11 min	41 min 11 min
Índice de Grupo	0		0		4 máx		0	8 máx	12 máx	16 máx	20 máx
tipo de materiales significativos	fragmento piedra grava y arena		grava y arena limosa o arcillosa				arena fina	suelos limosos		suelos arcillosos	
calificación general como subbase	excelente a buena						Regular a pobre				

Ilustración 10 Clasificación AASHTO a 0.5 m

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS		
CLASIFICACION ASSHTO		
MUESTRA: M1	PROFUNDIDAD: 0,5m	
MALLA		% QUE PASA
Nº10	2 mm	78,34%
Nº40	0,425 mm	37,81%
Nº200	0,075 mm	23,52%
LIMITE LIQUIDO		0,00%
LIMITE PLASTICO		0,00%
IP		0,00%
IG		0
A3 (0)		

Fuente: Autor

Tabla 16: Clasificación AASHTO a 1 m

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS		
CLASIFICACION ASSHTO		
MUESTRA: M1	PROFUNDIDAD: 1m	
MALLA		% QUE PASA
N°10	2 mm	78,84%
N°40	0,425 mm	38,55%
N°200	0,075 mm	21,53%
LIMITE LIQUIDO		0,00%
LIMITE PLASTICO		0,00%
IP		0,00%
IG		0
A3 (0)		

Fuente: Autor

Tabla 17: Clasificación AASHTO a 1.5 m

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS		
CLASIFICACION ASSHTO		
MUESTRA: M1	PROFUNDIDAD: 1,5m	
MALLA		% QUE PASA
N°10	2 mm	95,55%
N°40	0,425 mm	82,53%
N°200	0,075 mm	94,43%
LIMITE LIQUIDO		71,93%
LIMITE PLASTICO		31,16%
IP		40,77%
IG		8
A7-5 (8)		

Fuente: Autor

4.7 PROCTOR

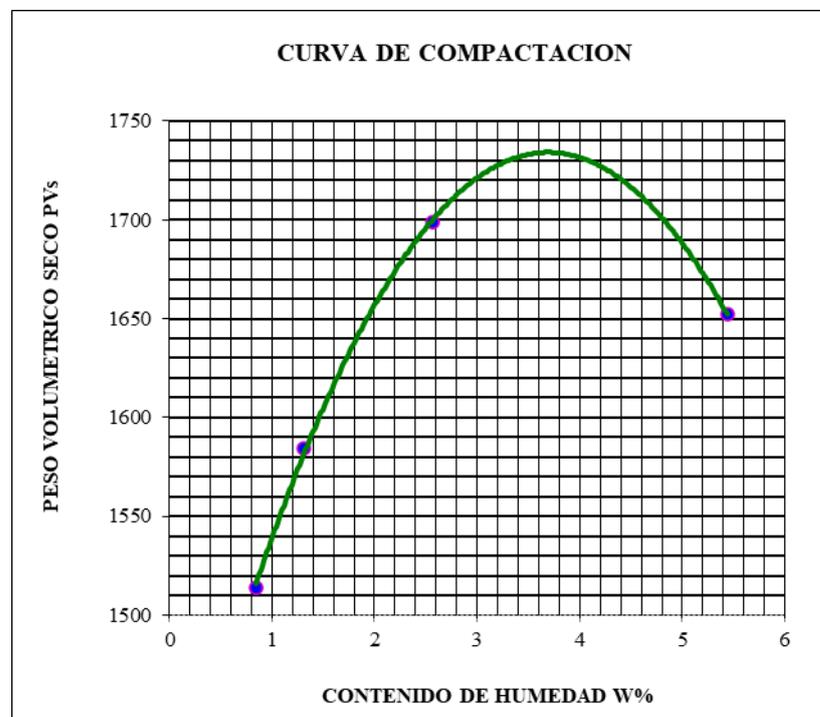
Los valores obtenidos del ensayo del Proctor se manifiestan mediante la determinación de la máxima densidad seca que llega alcanzar el suelo mediante una determinada cantidad de compactación de la muestra a 1.5 m de profundidad.

Tabla 18: Valores obtenidos mediante el ensayo de Proctor

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS	
PROCTOR	
MUESTRA: M1	PROFUNDIDAD: 1,5 m
DENSIDAD SECA MAXIMA	1732 Kg/m ³
HUMEDAD OPTIMA	3,75%

Fuente: Autor

Ilustración 11 Curva de compactación



Fuente: Autor

4.8 CBR

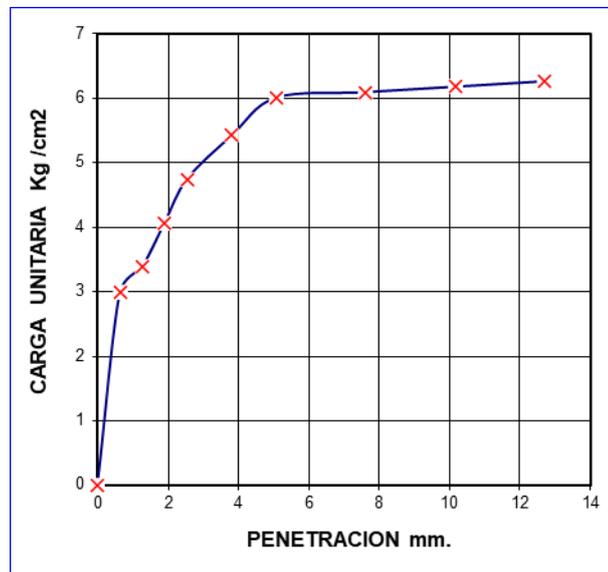
Los valores analizados en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Técnica de Machala, en la Facultad de Ingeniería Civil, demuestra que a través de la prueba de CBR se obtuvieron los valores mostrados en la tabla 17.

Tabla 19: Valores obtenidos mediante el ensayo de CBR

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS	
CBR	
MUESTRA: M1	PROFUNDIDAD: 1,5 m
DENSIDAD SECA MAXIMA	1732 Kg/m ³
HUMEDAD OPTIMA	3,75%
ESPONJAMIENTO	0,55%
PENETRACIÓN	5,08 mm
CARGA	113Kg / cm ²
VALOR DE CBR	6,01%

Fuente: Autor

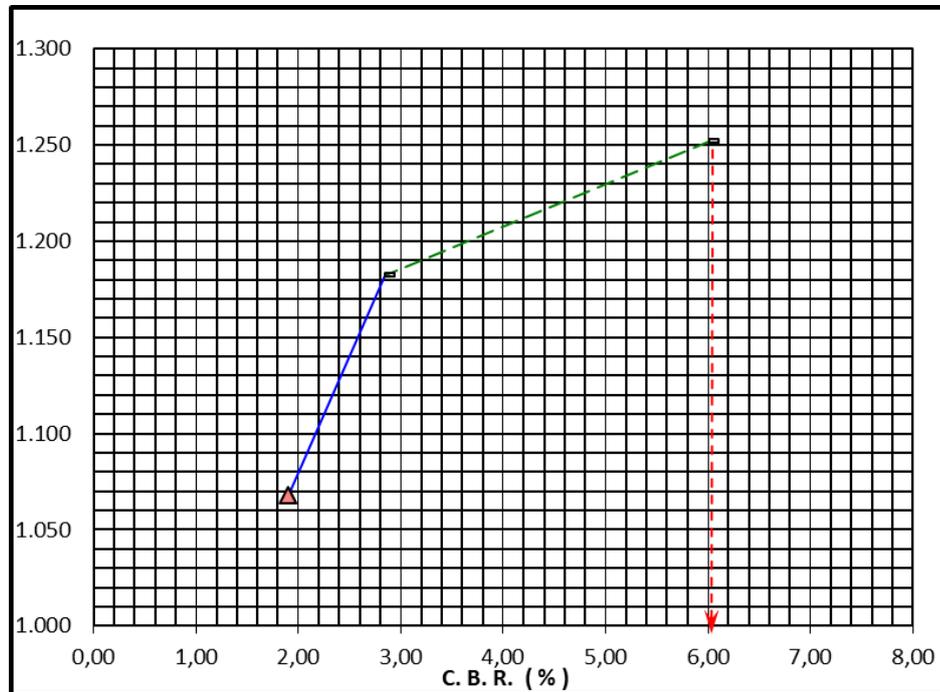
Ilustración 12 Grafica de carga unitaria en función a la penetración



Fuente: Autor

En la siguiente ilustración se verifica el valor de CBR, donde se puede visualizar que la recta cae en el valor de CBR en 6.01 %

Ilustración 13: Curva de CBR



Fuente: Autor

4.9 DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLE EMPLEANDO EL METODO AASTHO-93

4.9.1 Trafico proyectado a 20 años

En este apartado se realiza una proyección del tráfico a futuro, donde se considera un índice de crecimiento, un tráfico desarrollo en conjunto al tráfico generado, donde estos cálculos llevan a cabo a un tráfico futuro de 1872. Por lo que ese valor se utilizó para determinar el diseño del pavimento.

4.9.2 Nivel de confiabilidad

Para el proceso del cálculo se consideró un nivel de confiabilidad del 70%, este valor depende de la probabilidad de desempeño del pavimento ante las cargas previstas. Se consideró en base a la Norma AASTHO 93.

Tabla 20 Nivel de confiabilidad(R)

R	ZR	R	ZR
50 %	0	80 %	0,84
60 %	0,25	90 %	1,28
70 %	0,53	95 %	1,65

Fuente: AASHTO 93

4.9.3 Desviación Estándar

En este apartado se considera otra variable la cual es la desviación estándar, esta manifiesta la condición del diseño un pavimento según el tipo de pavimento a realizarse. En nuestro caso se diseña para un pavimento flexible con una predicción de comportamiento del pavimento con errores de tránsito como se muestra en la siguiente ilustración.

Tabla 21 Tabla de desviación estándar

Condición de Diseño	Desvio Estándar (So)
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores de tránsito	0,34 (Pavimentos Rígidos)
	0,44 (Pavimentos Flexibles)
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores de tránsito	0,39 (Pavimentos Rígidos)
	0,49 (Pavimentos Flexibles)

Fuente: AASHTO 93

4.9.4 C.B.R DE DISEÑO.

En el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Técnica de Machala (UTMACH), de la Facultad de Ingeniería Civil, se obtuvo el valor del CBR de diseño, el cual está definido en el estudio de suelos de calicatas, el cual nos da un CBR de diseño de 6,01%

4.9.5 Módulo resiliente de la subrasante.

$$M_{Rsub} = 1500 \times CBR$$

$$M_{Rsub} = 1500 \times 6.01 = 9015 \text{ psi}$$

En la tabla 20, se da a conocer el valor de los números estructurales asumidos para el diseño de pavimentos.

Tabla 22: cuadro de resumen considerando el Numero estructural

NUMERO ESTRUCTURAL ASUMIDO		
SN = 3	SN = 4	SN = 5
2,44	2,45	2,45

Fuente: AASHTO

En este apartado se muestran los valores obtenidos de la norma del MTOP, de lo cual, se establecen valores referenciales que se necesitan para seguir con el diseño.

Tabla 23: Valores de referencia

PENDIENTE LONGITUDINAL	PENDIENTE TRANSVERSAL	ESPELOR DE LA CAPA DRENANTE	ANCHO DE LA SUB BASE PERMEABLE
S= 5% = 0,05	Sx=2%=0,02	H= 0,40 m	W= 15,0 m

Fuente: AASHTO 93

4.9.6 CANTERA EL COLORADO

A continuación, se presenta valores de la cantera “el colorado”, dichos valores son importantes en el cálculo que se necesita a continuación en función al coeficiente de drenaje de dicho material con la finalidad de reconocer las características de ese material que se utilizara como subbase.

Tabla 24: Valores de cantera "EL COLORADO" para subbase

"CANTERA EL COLORADO"		
LIMITE LIQUIDO	(LL)	25,00
LIMITE PLASTICO	(LP)	19,21
INDICE PLASTICO	(IP)	5,79
INDICE DE GRUPO	(IG)	0,00
MAT. PASANTE DEL #200		13,70
D10		0,25
COEF. DE CURVATURA	(CC)	0,53
COEF. DE UNIFORMIDAD	(CU)	87,0
CLASIFICACION ASSTHO		A 1-a
CLASIFICACION SUCS		CL
DENSIDAD MAXIMA		2167 Kg/m ³
HUMEDAD OPTIMA		8,40
CBR DEL ENSAYO AL 100%		78,00

En esta sección se determinan los valores referentes al suelo de la cantera “El Colorado”, así tal cual se muestra en la tabla #23.

Tabla 25: Valores obtenidos según la muestra de la subbase

GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SÓLIDOS:	PESO DEL SUELO SECO:	VOLUMEN DE LA MUESTRA:
G _s = 2,516 g/cm ³	W _s =4897 gr	V _m = 2684 cm ³

Fuente: AASHTO 93

En función a los valores que se establecen en relación con la subbase, se ha determinado el calculo de la longitud, la pendiente, el factor de pendiente y el factor tiempo como se muestra en la tabla #24.

Tabla 26: Valores referente a la subbase

LONGITUD RESULTANTE DE LA SUB BASE:	PENDIENTE RESULTANTE DE LA SUB BASE:	FACTOR DE PENDIENTE:	FACTOR TIEMPO:
LR= 40,39 m	SR= 0,054	St= 5,44	T50 = 0.54

Fuente: AASHTO 93

En este apartado se ha calculado el valor de las propiedades drenantes que establece la cantera el colorado para la subbase.

Tabla 27: Valores de las propiedades drenantes de la subbase

VOLUMEN DE LOS SÓLIDOS:	VOLUMEN DE VACÍOS:	POROSIDAD EFECTIVA MÁXIMA:
V _S = 0,71%	772 Cm ³	n= 0,29=Ne máx

Fuente: AASHTO 93

A continuación, se determinará el coeficiente de pérdida de agua en función al valor anterior de la Porosidad efectiva máxima (Ne máx).

Tabla 28: Tabla de valores en función a la porosidad efectiva máxima.

CANTIDAD DE AGUA QUE PUEDE DRENAR POR GRAVEDAD. CANTIDAD DE FINOS									
	< 2.5 %			5%			10%		
MATERIAL PREDOM.	Tipos de finos			Tipos de finos			Tipos de finos		
	Filler	Limo	Arcilla	Filler	Limo	Arcilla	Filler	Limo	Arcilla
Grava	70	60	40	60	40	20	40	30	10
Arena	57	50	35	50	35	15	25	18	8

Fuente: AASHTO 93

Con el porcentaje de finos (pasante del tamiz #200) y con el tipo de material predominante obtenemos de la tabla el coeficiente de perdida de agua C.

$$C=40$$

Tabla 29: Porosidad efectiva

POROSIDAD EFECTIVA
Ne= 0,115

Fuente: AASHTO 93

En esta sección se mostrará los valores obtenidos del cálculo del coeficiente de permeabilidad, cálculo de la pendiente de drenaje y el cálculo de tiempo de drenaje, de acuerdo con la cantera para la subbase.

Tabla 30: Valores referente al drenaje.

CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD	CÁLCULO DE LA PENDIENTE DE DRENAJE	CÁLCULO DEL TIEMPO DE DRENAJE
K= 20,02m/dias	m= 23,43	0,56 horas= 0,02 dias

Fuente: AASHTO 93

Se determinará en la tabla la calidad de drenaje en función “hora”, esta selección depende de acuerdo con el tiempo de drenaje que se realizó en el cálculo de la tabla #27. Por ende, nuestro valor correspondiente es de 0.56 horas, lo que dictamina una calidad de drenaje excelente de acuerdo con nuestra cantera el colorado.

Tabla 31: Tabla de la calidad de drenaje para la subbase

CALIDAD DE DRENAJE	50% DE SATURACIÓN EN:	85% DE SATURACIÓN EN:
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	Mas de 10 horas
Muy Pobre	El agua no drena	Mucho más de 10 horas

Fuente: AASHTO- HEC22

Siguiendo con el proceso de cálculo para la determinación del coeficiente de drenaje, se determinará el cálculo de volumen de agua drenante con su respectivo volumen remanente.

Tabla 32: Valores de Volúmenes

VOLUMEN DE AGUA DRENANTE	VOLUMEN REMANENTE
V=0,0529	VR=0,23466

Fuente: AASHTO 93

4.9.7 Cálculo del grado de saturación

Tabla 33: Tabla de resumen de acuerdo con el cálculo de saturación

U	t	T ₅₀	Ne * U	VR = Ne max - Ne * U	S = (Vv - Ne * U)/Ne máx * 100
0,46	1 horas	0,001	0,0529	0,235	81,60

Fuente: AASHTO 93

Para el cálculo del grado de saturación y niveles de saturación se considera los valores establecidos en la tabla#30, es decir, los valores obtenidos se representan en función a porcentaje.

Tabla 34: Valores en función a la saturación

GRADO DE SATURACIÓN	PAVIMENTO EN NIVELES SATURACIÓN
S= 82%	P=0,19%

Fuente: AASHTO 93

4.9.8 Tabla: % de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación

Con esta tabla consideramos el coeficiente de drenaje respecto a todo el cálculo realizado anteriormente en consideración a los valores de nuestra cantera “El Colorado” con calidad de drenaje Excelente. Se procede a visualizar el porcentaje en niveles de saturación, que nos dio un valor de $P=0.19\% < 1\%$ por lo que se representa en la tabla el valor de 1.35.

Tabla 35: tabla para determinar el coeficiente de drenaje de la subbase

CALIDAD DE DRENAJE	% DE TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTA EXPUESTO A NIVLES DE HUMEDAD PRÓXIMOS A LA SATURACION			
	< 1%	1 – 5 %	5 – 25 %	> 25 %
Excelente	1,40 - 1,35	1,35 - 1,30	1,30 - 1,20	1,20
Bueno	1,35 - 1,25	1,25 - 1,15	1,15 - 1,00	1,00
Regular	1,25 - 1,15	1,15 - 1,05	1,00 - 0,80	0,80
Pobre	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80 - 0,60	0,60
Muy Pobre	1,05 - 0,95	0,95 - 0,75	0,75 - 0,40	0,40

Fuente: AASHTO 93

4.9.9 Coeficiente de drenaje para Subbase

Con el porcentaje de tiempo P y la calidad de drenaje EXCELENTE vamos a la tabla anterior y obtenemos el coeficiente de drenaje

4.9.10 Cálculo para la Base

Para el cálculo de la base se repite el mismo procedimiento que en la subbase, donde solo se representara la sistematización de datos.

Se determinarán por norma ASSHTO de acuerdo los valores de pendiente longitudinal, pendiente transversal, espesor de la capa drenante y el ancho de la base.

Tabla 36: Valores de referencia de Norma AASHTO

PENDIENTE LONGITUDINAL	PENDIENTE TRANSVERSAL	ESPESOR DE LA CAPA DRENANTE	ANCHO DE LA BASE PERMEABLE
S= 5% = 0,05	Sx=2%=0,02	H= 0,20 m	W= 15,0 m

Fuente: AASHTO 93

CANTERA “EL COLORADO”

Tabla 37: Valores de cantera "EL COLORADO" para base

CANTERA “EL COLORADO”		
LIMITE LIQUIDO	(LL)	21,36
LIMITE PLASTICO	(LP)	17,36
INDICE PLASTICO	(IP)	4,00
INDICE DE GRUPO	(IG)	0,00
MAT. PASANTE DEL #200		6,39
D10		0,37
COEF. DE CURVATURA	(CC)	4,68
COEF. DE UNIFORMIDAD	(CU)	69,2
CLASIFICACION ASSTHO		A 1-a
CLASIFICACION SUCS		CL
DENSIDAD MAXIMA		2210 Kg/m ³
HUMEDAD OPTIMA		7,00
CBR DEL ENSAYO AL 100%		89,00

Por otra parte, se considera el cálculo de los valores de gravedad específica de los sólidos, peso del suelo seco y el volumen de la muestra.

Tabla 38: Valores obtenidos según la muestra de la base

GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SÓLIDOS:	PESO DEL SUELO SECO:	VOLUMEN DE LA MUESTRA:
Gs= 2,551 g/cm ³	Ws=4876 gr	Vm= 2667 cm ³

Fuente: AASHTO 93

Por lo consiguiente se obtiene valores de la longitud de la base, de la pendiente de la resultante, el factor de pendiente y el factor de tiempo, así como se visualiza en la siguiente tabla.

Tabla 39: Valores referente a la base

LONGITUD RESULTANTE DE LA BASE:	PENDIENTE RESULTANTE DE LA BASE:	FACTOR DE PENDIENTE:	FACTOR TIEMPO:
LR= 40,39 m	SR= 0,054	St= 10,88	T50 = 0.020

Fuente: AASHTO 93

Para la determinación del cálculo de las propiedades drenantes, se necesita el valor de la porosidad efectiva máxima, se realizarán los cálculos del volumen de los sólidos y volumen de vacíos respecto a los valores establecidos de la cantera “El Colorado” para la determinación de la Base de nuestro diseño de pavimento.

Tabla 40: Valores de las propiedades drenantes de la base

CALCULO DE LAS PROPIEDADES DRENANTES		
VOLUMEN DE LOS SÓLIDOS:	VOLUMEN DE VACÍOS:	POROSIDAD EFECTIVA MÁXIMA:
VS= 0,72%	756 Cm ³	n= 0,28=Ne máx

Fuente: AASHTO 93

Con esta tabla se considerará el valor de acuerdo a la porosidad efectiva máxima en relación con el porcentaje que muestra en la tabla.

Tabla 41: Tabla de valores en función a la porosidad efectiva máxima para la base

CANTIDAD DE AGUA QUE PUEDE DRENAR POR GRAVEDAD. CANTIDAD DE FINOS									
MATERIAL PREDOM.	< 2.5 %			5%			10%		
	Tipos de finos			Tipos de finos			Tipos de finos		
	Filler	Limo	Arcilla	Filler	Limo	Arcilla	Filler	Limo	Arcilla
Grava	70	60	40	60	40	20	40	30	10
Arena	57	50	35	50	35	15	25	18	8

Fuente: AASHTO 93

Por lo tanto, el valor obtenido es el valor del coeficiente de pérdida de agua C

$$C= 30$$

De acuerdo con el valor C, se obtiene una porosidad efectiva de 0.0850.

Tabla 42: Valor de porosidad efectiva de la base

POROSIDAD EFECTIVA
Ne= 0,0850

Fuente: AASHTO 93

Para la determinación de los cálculos de acuerdo con la cantera conocida se obtendrán el cálculo de coeficiente de drenaje, cálculo de la pendiente resultante de la base para nuestro pavimento.

Tabla 43: Valores referente al drenaje de la base

CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE	CÁLCULO DE LA PENDIENTE DE	CÁLCULO DEL TIEMPO DE DRENAJE
K= 51,01m/días	m= 13,59	4,89 horas= 0,2 días

Fuente: AASHTO 93

Se determinará en la tabla la calidad de drenaje en función “hora”, esta selección depende de acuerdo con el tiempo de drenaje que se realizó en el cálculo de la tabla anterior. Por ende, nuestro valor correspondiente es de 4.89 horas, lo que dictamina una calidad de drenaje excelente de acuerdo con la cantera el colorado.

Tabla 44: Tabla de la calidad de drenaje para la base

CALIDAD DE DRENAJE	50% DE SATURACIÓN EN:	85% DE SATURACIÓN EN:
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	Mas de 10 horas
Muy Pobre	El agua no drena	Mucho más de 10 horas

Fuente: AASHTO 93

Así mismo se determinará el cálculo de agua drenante en función al volumen de agua drenante y volumen remanente de nuestra cantera con relación a nuestra base.

Tabla 45: Valores de Volúmenes en función a la base

CÁLCULO DEL AGUA DRENANTE	
VOLUMEN DE AGUA DRENANTE	VOLUMEN REMANENTE
V=0,0479	VR=0,23546

Fuente: AASHTO 93

Por otro lado, se determinará en términos de porcentajes el grado de saturación y los niveles próximos a la saturación de acuerdo con los valores obtenidos en el cálculo.

Tabla 46: Valores en función a la saturación para la base

GRADO DE SATURACIÓN	PAVIMENTO EN NIVELES
S= 83,11%	P=8,22%

Fuente: AASHTO 93

4.9.11 TABLA: % DE TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTA EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD PRÓXIMOS A LA SATURACION

Con esta tabla consideramos el coeficiente de drenaje respecto a todo el cálculo realizado anteriormente en consideración a los valores de nuestra cantera “El Colorado” con calidad de drenaje BUENO. Se procede a visualizar el porcentaje en niveles de saturación, que nos dio un valor de P=8.22 % por lo que se representa en la tabla el valor de 1.0.

Tabla 47; tabla para determinar el coeficiente de drenaje de la base

CALIDAD DE DRENAJE	% DE TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTA EXPUESTO A NIVLES DE HUMEDAD PRÓXIMOS A LA SATURACION			
	< 1%	1 – 5 %	5 – 25 %	> 25 %
Excelente	1,40 - 1,35	1,35 - 1,30	1,30 - 1,20	1,20
Bueno	1,35 - 1,25	1,25 - 1,15	1,15 - 1,00	1,00
Regular	1,25 - 1,15	1,15 - 1,05	1,00 - 0,80	0,80
Pobre	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80 - 0,60	0,60
Muy Pobre	1,05 - 0,95	0,95 - 0,75	0,75 - 0,40	0,40

Fuente: AASHTO 93

4.9.12 Coeficiente de drenaje para la base

Con el porcentaje de tiempo P y la calidad de drenaje BUENO vamos a la tabla anterior y obtenemos el coeficiente de drenaje

$$m_2=1$$

4.9.13 DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DEL PAVIMENTO

El cálculo de los espesores de la capa que conforman el paquete estructural se obtiene mediante la siguiente expresión que liga al número estructural (SN).

Ecuación 25: Expresión para determinar espesores del pavimento en función al número estructural

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3$$

Fuente: AASHTO -93

4.9.14 Información de la calidad del suelo a emplear

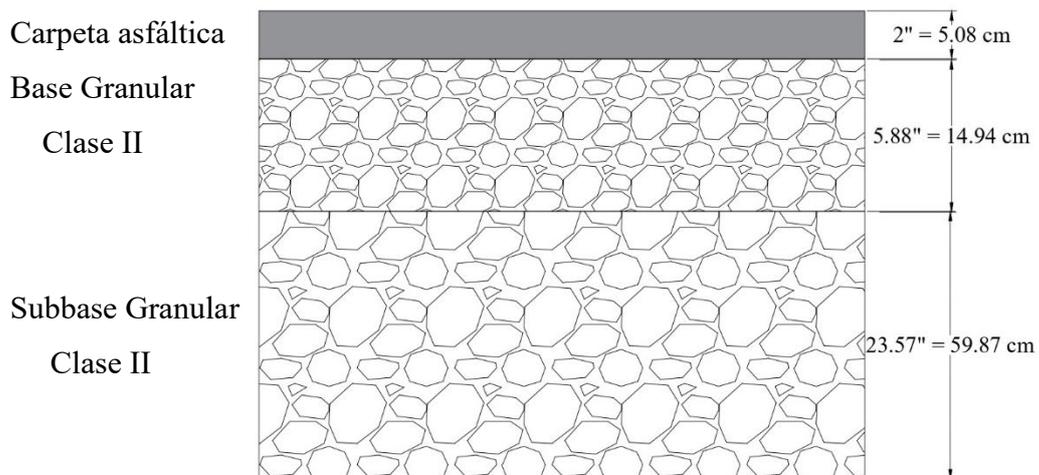
Para la sistematización de acuerdo con los datos obtenidos, se ha podido realizar la determinación del espesor del paquete estructural del pavimento.

Tabla 48 : Espesores del paquete estructural del pavimento

PAQUETE ESTRUCTURAL	ESPESOR (pulg)	ESPESOR (cm)
ESPESOR DE LA CARPETA ASFÁLTICA	D1=2,0 pulg	D1=5,08 cm
BASE GRANULAR CLASE II	D2=5,88 pulg	D2=14,94 cm
SUB BASE GRANULAR CLASE II	D3=23,57 pulg	D3=59,87 cm
ESPESOR TOTAL DEL PAQUETE ESTRUCTURAL		79,89= 80 cm

Fuente: Autor

Ilustración 14 Esquema estructural con espesores calculados



Fuente: Autor

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Luego que se ha realizado la evaluación de la estructura del pavimento en la vía del malecón de Puerto Bolívar se ha logrado llegar a concluir que:

De acuerdo con la búsqueda de información sobre métodos y técnicas para evaluar la estructura del pavimento, se logra identificar herramientas y enfoques efectivos para garantizar un adecuado servicio vial. Esto contribuye que se mejore la funcionalidad y durabilidad del tramo del malecón de Puerto Bolívar, favoreciendo su desarrollo urbano. Se ha identificado mediante la búsqueda exhaustiva de información en varios artículos científicos que el estudio de la estructura del pavimento es indispensable para poder diagnosticar la calidad del tipo de suelo que posee en la estructura del pavimento.

En base al análisis de las muestras que se recaudaron en el tramo de Puerto Bolívar, donde se logró evidenciar que las muestras a 0.5 m y 1 m son arenas SP (arenas mal graduadas) por lo que no fue posible realizar los ensayos de límites de consistencias, es decir, que el material tiene baja cohesión lo que hace que este suelo sea susceptible a la erosión y sea poco estable. Por otra parte, el resultado de nuestro CBR crítico fue de 6.01% lo que se determina un CBR regular según el manual de carreteras de pavimentos.

La propuesta de espesores existente en la estructura del pavimento en el tramo de la carretera del malecón de Puerto Bolívar no garantiza un diseño óptimo, ya que existen inconsistencias en su suelo natural.

5.2 Recomendaciones

Para fortalecer la investigación sobre la evaluación de la estructura del pavimento en el tramo del malecón de Puerto Bolívar, se recomienda indagar a profundidad todo tipo de métodos y técnicas de manera concisa, que le permitan obtener un rigor científico a los estudios ya sean estos nacionales o internacionales en los estudios experimentales y pruebas in situ. Métodos como la deflectometría de impacto (FWD), el ensayo de penetración estándar (SPT) y la evaluación con georradar (GPR) pueden determinar valores más concisos sobre la capacidad estructural del pavimento.

Se complementa que la evaluación de la estructura del pavimento no solo se la realice con pruebas o métodos destructivos, si no también implementar una línea base de pruebas no destructivas, con la finalidad de comparar los resultados y diagnosticar una evaluación a futuro que no dañe la vía esos métodos suele ser muy efectivos, y prácticos, por lo que estos sirven con la finalidad de obtener un análisis más preciso del estado estructural sin afectar la vía y priorizar intervenciones de mantenimiento de manera eficiente, optimizando recursos y prolongando la vida útil de la infraestructura vial.

Para nuestro diseño se obtuvo un paquete estructural de 80 cm, 5 cm de carpeta asfáltica, 15 cm de base clase II, y una subbase granular clase II de 60 cm, por lo que se establece considerar un análisis respecto al resultado de nuestros espesores, es decir, como tenemos una subbase clase II de 60 cm, donde vamos a colocar en obra 30 cm de mejoramiento y 20 cm de subbase para reducir costos.

6. Bibliografía

- AASHTO. (1993). *DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES*.
- Adepu, R., Varanasi, V., & Devavath, H. (2023). Assessment and Prioritization of Highway Stretch Deploying Functional and Structural Characteristics. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 17(3), 382–398. <https://doi.org/10.14525/JJCE.v17i3.02>
- Brito Ordóñez, H. O. (2017). Diseño estructural del pavimento flexible Avenida del Ejército intersección calle 3 de Noviembre y Pasaje en la ciudad El Guabo. *Repositorio UTMACH*. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/11252>
- Campos Quispe, A. (2020a). Deterioro prematuro de los pavimentos flexibles de la zona urbana de la ciudad de Chota. *Revista Nor@ndina*, 2(2), 96–105. <https://doi.org/10.37518/2663-6360X2020v2n2p96>
- Campos Quispe, A. (2020b). Deterioro prematuro de los pavimentos flexibles de la zona urbana de la ciudad de Chota. *Revista Nor@ndina*, 2(2), 96–105. <https://doi.org/10.37518/2663-6360X2020v2n2p96>
- Cárdenas Resines, C. L., Carrillo Sinche, J. L., Izarra Vargas, A. D., Murga Tirado, C. E., & Vásquez Salazar, A. G. (2023). Herramientas tecnológicas de evaluación de fallas en la superficie de pavimento flexible, una revisión sistemática. *Llamkasun*, 4(2), 10–23. <https://doi.org/10.47797/llamkasun.v4i2.121>
- CUENCA, M. (2015). *CREACIÓN DE UN MEDIO DIGITAL “PUERTO BOLÍVAR CONECTADO AL MUNDO” PARA LA COMUNIDAD DE PUERTO BOLIVAR*. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/3972/1/CD00330-2015-TRABAJO%20COMPLETO.pdf>
- De La Cruz Vega, S. A., Ibañez Ccoapaza, C. E., & Coaquira Cueva, D. Y. (2022). Determinación de índice de serviciabilidad y capacidad resistente. Caso práctico: pavimentos en Azángaro, Puno, Perú. *Infraestructura Vial*, 24(43), 1–8. <https://doi.org/10.15517/iv.v24i43.48563>
- estus Olusola Eebo & Obaloluwa Abiodun. (2021). INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA DE CAUSAS Y CARACTERÍSTICAS DE FALLAS DE CARRETERAS EN PARTE DE ILARA-IPOGUN, ESTADO DE ONDO, NIGERIA. *Globalscientificjournal*. https://www.researchgate.net/publication/354854124_GEOPHYSICAL_INVESTIGATION_OF_CAUSES_AND_CHARACTERISTICS_OF_ROAD_FAILURE_ALONG_PART_OF_ILARA-IPOGUN_ONDO_STATE_NIGERIA
- Fani, A., Golroo, A., Naseri, H., Mirhassani, S. A., & Gandomi, A. H. (2024). Risk-based pavement maintenance planning considering budget and pavement deterioration uncertainty. *Structure and Infrastructure Engineering*, 20(10), 1437–1450. <https://doi.org/10.1080/15732479.2022.2145317>
- Fidias Arias, O. (2023). Investigación documental, investigación bibliométrica y revisiones sistemáticas. *Dialnet*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9489470>

- Haridas, A. K., Peraka, N. S. P., & Biligiri, K. P. (2023). Structural Behavior Prediction Model for Asphalt Pavements: A Deep Neural Network Approach. *Journal of Testing and Evaluation*, 51(2), 1021–1051. <https://doi.org/10.1520/JTE20210804>
- Hashim, I. H., Badawy, R. M., & Heneash, U. (2023). Impact of Pavement Defects on Traffic Operational Performance. *Sustainability*, 15(10), 8293. <https://doi.org/10.3390/su15108293>
- Heller, L. F., Brito, L. A. T., Coelho, M. A. J., Brusamarello, V., & Nuñez, W. P. (2023). Development of a Pavement-Embedded Piezoelectric Harvester in a Real Traffic Environment. *Sensors*, 23(9), 4238. <https://doi.org/10.3390/s23094238>
- Higuera - Sandoval, C. H. (2023). Análisis de sensibilidad y correlación entre el ahuellamiento y la deflexión en estructuras de pavimento flexible. *Respuestas*, 28(2). <https://doi.org/10.22463/0122820X.3472>
- Hopkins. (2023). *Guía completa del investigador sobre la humedad del suelo*. Meter. <https://metergroup.com/es/education-guides/the-researchers-complete-guide-to-soil-moisture/>
- Jiang, W., Li, P., Sha, A., Li, Y., Yuan, D., Xiao, J., & Xing, C. (2023). Research on Pavement Traffic Load State Perception Based on the Piezoelectric Effect. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 24(8), 8264–8278. <https://doi.org/10.1109/TITS.2023.3264248>
- Jorge A. Montaña De León, Dr. D. Z. D. L. Mtro. A. R. E. (2015). Consideraciones, procedimientos y conceptos para la realización de un proyecto geométrico de carreteras. *Dialnet*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7137425>
- López Caiza, D. R. (2017). Mejoramiento de la carpeta asfáltica a base de escoria siderúrgica para pavimentos flexibles (mezcla asfáltica). *Repositorio Institucional de La Universidad Politécnica Salesiana*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14565>
- López Maldonado, G. (2020). *Ensayos de compactación en carreteras: Proctor Normal y Modificado*. RiuNet. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/139866/L%C3%B3pez%20-%20Ensayos%20de%20compactaci%C3%B3n%20en%20carreteras:%20Proctor%20Normal%20y%20Modificado.pdf?sequence=1>
- Macea-Mercado, L. F., Morales, L., & Márquez-Díaz, L. G. (2016). Un sistema de gestión de pavimentos basado en nuevas tecnologías para países en vía de desarrollo. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 17(2), 223–236. <https://doi.org/10.1016/j.riit.2016.06.007>
- María Meza. (2019). Materiales granulares tratados con emulsión asfáltica para su empleo en bases o subbases de pavimentos flexibles. *Redalyc*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193961007002>
- María Fabiola Ávila Martínez, G. A. N. S. J. G. C. I. J. R. S. A. (2023). *Recuperación de pavimentos flexibles envejecidos sobre bases de pavimentos rígidos en las calles de la ciudad de Calceta-Manabí-Ecuador*. <https://ctscafe.pe/index.php/ctscafe/article/view/259>

- Montes de Oca Hidalgo, M. P., Sequeira Rojas, W., Ávila Esquivel, T., & Aguiar Moya, J. P. (2021). Evaluación del desempeño de los pavimentos rígidos en Costa Rica. *Infraestructura Vial*, 23(42), 53–60. <https://doi.org/10.15517/iv.v23i42.46947>
- Morovatdar, A., Mandal, T., Arabzadeh, A., & Kemp, P. (2023). Mechanistic Assessment of Flexible Pavements in Wisconsin Using Traffic Speed Deflectometer. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2677(8), 331–346. <https://doi.org/10.1177/03611981231156582>
- Ospina-García, M. Á., Chaves-Pabón, S. B., & Jiménez-Sicachá, L. M. (2020). Mejoramiento de subrasantes de tipo arcilloso mediante la adición de escoria de acero. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 11(1), 185–196. <https://doi.org/10.19053/20278306.v11.n1.2020.11692>
- Pang, L., Zhang, X., Wu, S., Ye, Y., & Li, Y. (2018). Influence of Water Solute Exposure on the Chemical Evolution and Rheological Properties of Asphalt. *Materials*, 11(6), 983. <https://doi.org/10.3390/ma11060983>
- Park, B., Cho, S., Rahbar-Rastegar, R., Nantung, T. E., & Haddock, J. E. (2024). Use of falling weight deflectometer data to determine the effective structural number of full-depth asphalt pavements for structural condition assessment. *Road Materials and Pavement Design*, 25(2), 276–290. <https://doi.org/10.1080/14680629.2023.2200843>
- PDOT MACHALA. (2022). *ASENTAMIENTOS HUMANOS*. https://www.machala.gob.ec/documentosGAD/rendicionCuentas/2023/insumos/PDOT_Machala.pdf
- Porras-Espinoza, H., Fallas-Salazar, C., Stanlyn Sarmiento, K., & Arroyo-Solorzano, M. (2018). Respuesta geomórfica de los ríos Tulín y Turrubaritos a la deformación asociada la falla Angostura, antearco central de Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 1(62), 76. <https://doi.org/10.15359/rgac.62-1.4>
- Portilla Yandún, F. P. (2022). Correlación entre el CBR de laboratorio, el índice DCP y propiedades físicas y mecánicas de suelos granulares. *Conciencia Digital*, 5(4.1), 45–59. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v5i4.1.2396>
- Pucha Aguiñaca, P. A., & Zárate Torres, B. A. (2020). Evaluación superficial de pavimentos rígidos en carreteras mediante ortoimágenes obtenidas mediante un vehículo aéreo no tripulado. *Avances Investigación En Ingeniería*, 17(2 (Julio-Diciembre)). <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.6599>
- Ramos-Galarza, C. (2021). Editorial: Diseños de investigación experimental. *CienciAmérica*, 10(1), 1–7. <https://doi.org/10.33210/ca.v10i1.356>
- JORGE VERA. (2022). METODOLOGÍA PARA EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES. *Repositorio.Utmachala*. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/19263/1/TESIS%20JORGE%20OVERA%20REYES%20008.pdf>
- Ríos-Saldaña, C. A., Ferreira, C. C., & Delibes-Mateos, M. (2023). La decadencia de la investigación de campo y su impacto en la conservación. *Revista Digital Universitaria*, 24(5). <https://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2023.24.5.5>

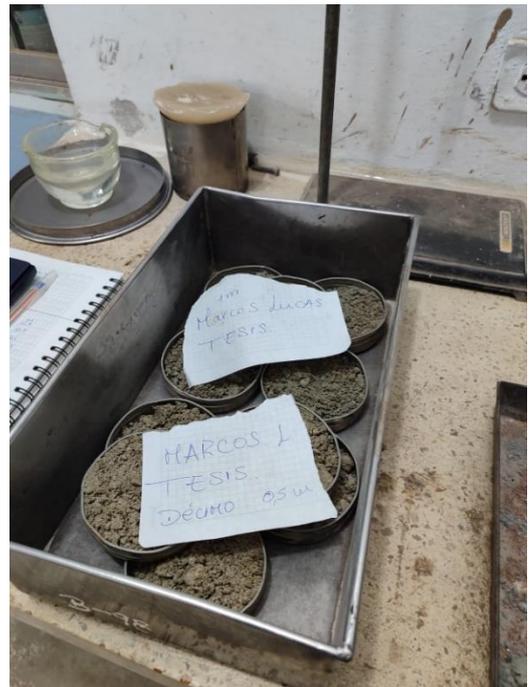
- Roberto Xavier Triviño Molina, R. M. M. (2022). Evaluación deflectométrica en pavimentos flexibles mediante la viga benkelman para las condiciones de Manabí. *Dialnet*.
- Rojas Carrizales, A., Torres Gonzales, Y., Parejas Garavito, M., & Hinojosa Benavides, R. (2021). Acción del agua y la temperatura ambiental extrema sobre pavimento flexible. *GnosisWisdom*, 1(2), 39–48.
<https://doi.org/10.54556/gnosiswisdom.v1i2.17>
- Rossana Maldonado Santacruz, Ma. G. S. M. R. M. Sc. C. R. Q. (2009). Propuesta temática-histórico-socioeconómica para la reconstrucción del malecón de Puerto Bolívar. *Space*.
- Saad, I. , S. L. , A. M. , & A. M. (2022). Evaluación del enfoque fotogramétrico de corto alcance para evaluar el pavimento Condición de la superficie. *Revista de Ingeniería*.
<https://www.iasj.net/iasj/download/bbc13673357e195e>
- Shah, A. P., Zala, L. B., & Amin, A. A. (2023). *Design and structural assessment for runway pavement*. 020027. <https://doi.org/10.1063/5.0102403>
- Sinanmis, R., & Woods, L. (2023). Traffic channelisation and pavement deterioration: an investigation of the role of lateral wander on asphalt pavement rutting. *International Journal of Pavement Engineering*, 24(2).
<https://doi.org/10.1080/10298436.2022.2118272>
- Vásquez-Varela, L. R., & García-Orozco, F. J. (2020). An overview of asphalt pavement design for streets and roads. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20200367>
- Walubita, L. F., Martínez-Arguelles, G., Polo-Mendoza, R., Ick-Lee, S., & Fuentes, L. (2022). Comparative Environmental Assessment of Rigid, Flexible, and Perpetual Pavements: A Case Study of Texas. *Sustainability*, 14(16), 9983.
<https://doi.org/10.3390/su14169983>
- Gutiérrez Rodríguez, W. Á. (2023). Análisis comparativo de las técnicas de laboratorio para determinar los límites de Atterberg en suelos de la ciudad de Oruro – Bolivia. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 7289–7312.
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7475
- Yao, L., Leng, Z., Jiang, J., Fang, C., & Ni, F. (2023). Effects of traffic load amplitude sequence on the cracking performance of asphalt pavement with a semi-rigid base. *International Journal of Pavement Engineering*, 24(1).
<https://doi.org/10.1080/10298436.2022.2152027>
- Zamora Chávez, C. I. ; O. H. E. H. (2023). Estabilización de la subrasante mediante cal y cemento para una obra vial, ubicada en Rocafuerte-Tosagua sector El Junco. *Dialnet*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9252194>

7.ANEXOS

7.1Anexo1: Ensayo de contenido de humedad



7.2 Anexo2: Ensayo de límites de consistencia







7.3 Anexo3: Ensayo de granulometría





7.4 Anexo4: Ensayo de Proctor



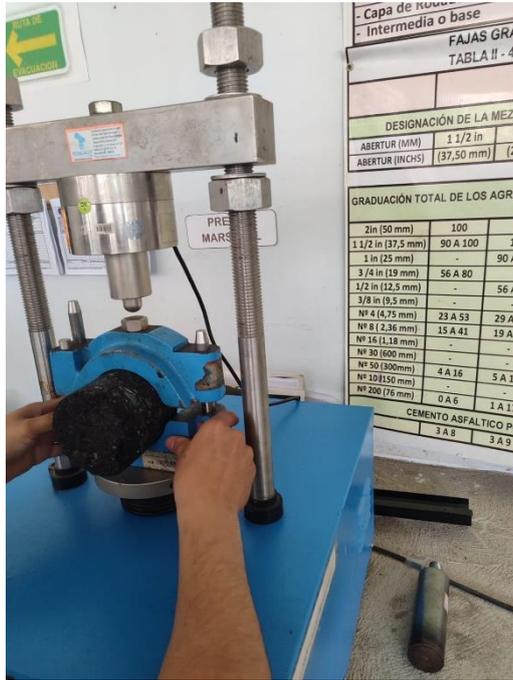
7.5 Anexo 5: Ensayo de (CBR)



7.6 Anexo 6: Extracción de muestra asfáltica.







7.7 Anexo7: Calculo de Trafico proyectado de 20 años

TIPO DE VEHICULO	ESQUEMA DE EJES	CANTIDAD	EJES SIMPLES POR VEHICULOS	Nº EJES SIMPLES POR VEHICULOS
Livianos	1,1	323	2	646
Pesado	1,1	69	2	138
Extrapesado	1,2	0	3	0
TOTAL		392		784

$$\text{Ejes Comerciales: } 784 - 646 = 138$$

Cálculo de vehículos y ejes durante la vida útil prevista para el pavimento (20 años).

- a) Ejes livianos diarios por trocha: $0,5 * 646 = 323$
- b) Ejes comerciales simple por trocha: $0,5 * 138 = 69$

TIPO DE VEHICULOS	TASA DE CRECIMIENTO
Automóviles	9 %
Vehículos comerciales	7 %

El tráfico se considera desde el año 2024- 2044 (fin de la vida útil prevista, periodo de diseño 20 años).

$$\text{Nº Ejes Acumulados} = \frac{\text{Nº Actual} * ((1 + i)^{\text{Nº de Años}} - 1)}{i}$$

DE DONDE:

Nº Actual = Número de Ejes por Vehículo Actual

i = Índice de Crecimiento de Tráfico

Nº de Años = Período de Análisis Adoptado = 20

Ejes Livianos:

$$\text{Nº Ejes Acumulados} = \frac{323 * ((1 + 0,09)^{20} - 1)}{0,09}$$

$$\text{Nº Ejes Acumulados} = 16525$$

Ejes Simples Comerciales:

$$\text{Nº Ejes Acumulados} = \frac{69 * ((1 + 0,07)^{20} - 1)}{0,07}$$

$$\text{Nº Ejes Acumulados} = 2829$$

	Livianos	Porcentaje	Pesado	Porcentaje	TOTAL
Total	323	82,40%	69	17,60%	392
TRAFICO FUTURO PARA 20 AÑOS					
Indice de Crecimiento					
$CN_T = T_A(1 + i)^n$					
$T_A =$	392		$CN_T = 181 (1 + 0.04)^{20}$		
$i =$	0,04				
$n =$	20		$CN_T = 859$		
Trafico de Desarrollo					
$T_D = T_A(1 + i)^{n-3} - T_A$					
$T_A =$	392		$T_D = 549(1 + 0.07)^{20-3} - 549$		
$n =$	20		$T_D = 372$		
$i =$	0,04				
Trafico de Generado					
$T_G = 0.20 T_A + 0.20 T_A(1 + i)^{n-1}$					
$T_A =$	392		$T_G = 0.20 \times 549 + 0.20 \times 549(1 + 0.09)^{20-1}$		
$i =$	0,04				
$n =$	20		$T_G = 249$		
Incremento de Trafico					
$I_T = CN_T + T_G + T_D$					
$CN_T =$	859				
$TG =$	249		$I_T = 1480$		
$TD =$	372				
Trafico Futuro					
$T_f = T_A + I_T$					
$T_A =$	392				
$I_T =$	1480		$T_f = 1872$		

ANEXO8: Cálculo del número estructural asumido

SN = 3			
EJES SIMPLES (TN)	%	Factor equivalente	2829
< 3.6 ton	0,824	0,035010	81,61
3.6 - 8.5 ton	0,176	1,196524	595,82
8.5 - 13.6 ton	0	9,145281	0,00
Livianos	16525	0,0002	3,31
			680,74
W ₁₈ para el periodo de diseño			248469,1555
			W ₁₈ = 2,44*105

SN = 4			
EJES SIMPLES (TN)	%	Factor equivalente	2829
< 3.6 ton	0,824	0,032089	74,80
3.6 - 8.5 ton	0,176	1,193014	594,08
8.5 - 13.6 ton	0	8,564136	0,00
Livianos	16525	0,0002	3,31
			672,18
W ₁₈ para el periodo de diseño			245346,2153
			W ₁₈ = 2,45*105

SN = 5			
EJES SIMPLES (TN)	%	Factor equivalente	2829
< 3.6 ton	0,824	0,030129	70,23
3.6 - 8.5 ton	0,176	1,200033	597,57
8.5 - 13.6 ton	0	8,644906	0,00
Livianos	16525	0,0002	3,31
			671,11
W ₁₈ para el periodo de diseño			244953,945
			W ₁₈ = 2,45*105

ANEXO9: Cálculo para el diseño de pavimento por método AASHTO 93

TABLA DE VALORES DE CONFIABILIDAD (R)

Otra variable estadística a tener en cuenta es la Desviación Estándar.

La AASTHO 93 recomienda tomar los valores de la siguiente tabla

R	ZR	R	ZR
50 %	0	80 %	0,84
60 %	0,25	90 %	1,28
70 %	0,53	95 %	1,65

Condición de Diseño	Desvio Estándar (So)	
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores de tránsito	0,34	(Pavimentos Rígidos)
	0,44	(Pavimentos Flexibles)
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores de tránsito	0,39	(Pavimentos Rígidos)
	0,49	(Pavimentos Flexibles)

C.B.R. DE DISEÑO

El CBR de diseño será de un valor de 6.01%.

$$Mr = 9015 \text{ psi}$$

Confiabilidad	NUMERO ESTRUCTURAL ASUMIDO		
	SN = 3	SN = 4	SN = 5
70 %			
80 %	2,44	2,45	2,45
90 %			

PENDIENTE LONGITUDINAL:

$$S = 5 \% = 0,05$$

PENDIENTE TRANSVERSAL:

$$S_x = 2 \% = 0,02$$

ESPESOR DE LA CAPA DRENANTE:

$$H = 0,40 \text{ m}$$

ANCHO DE LA SUB BASE PERMEABLE:

$$W = 15,0 \text{ m}$$

CANTERA EL COLORADO PARA SUBBASE

SUBBASE		
"CANTERA EL COLORADO"		
LIMITE LIQUIDO	(LL)	25,00
LIMITE PLASTICO	(LP)	19,21
INDICE PLASTICO	(IP)	5,79
INDICE DE GRUPO	(IG)	0,00
MAT. PASANTE DEL #200		13,70
D10		0,25
COEF. DE CURVATURA	(CC)	0,53
COEF. DE UNIFORMIDAD	(CU)	87,0
CLASIFICACION ASSTHO		A 1-a
CLASIFICACION SUCS		CL
DENSIDAD MAXIMA		2167 Kg/m ³
HUMEDAD OPTIMA		8,40
CBR DEL ENSAYO AL 100%		78,00

GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SÓLIDOS:

$$G_s = 2,561 \text{ gr/cm}^3$$

PESO DEL SUELO SECO:

$$W_s = 4897 \text{ gr.}$$

VOLUMEN DE LA MUESTRA:

$$V_m = 2684 \text{ cm}^3$$

LONGITUD RESULTANTE DE LA SUB BASE:

$$LR = W \left[\left(\frac{S}{S_x} \right)^2 + 1 \right]^{0,5}$$

$$LR = 15 \left[\left(\frac{0,05}{0,02} \right)^2 + 1 \right]^{0,5}$$

$$\mathbf{LR = 40,39 \text{ m}}$$

PENDIENTE RESULTANTE DE LA SUB BASE:

$$SR = (S^2 + S_x^2)^{0,5}$$

$$SR = (0,05^2 + 0,02^2)^{0,5}$$

$$\mathbf{SR = 0,054}$$

FACTOR DE PENDIENTE:

$$St = \frac{LR * SR}{H}$$

$$St = \frac{40,39 * 0,054}{0,40}$$

$$\mathbf{St = 5,44}$$

$$T50 = 0.54$$

CALCULO DE LAS PROPIEDADES DRENANTES

$$Vt = \text{Volumen Total} = 2684 \text{ cm}^3$$

VOLUMEN DE LOS SÓLIDOS:

$$Vs = \frac{Ws}{Gs}$$

$$Vs = \frac{4897}{2,561}$$

$$\mathbf{Vs = 1912 \text{ cm}^3}$$

$$\mathbf{Vs = 0,71 \%}$$

VOLUMEN DE VACÍOS:

$$Vv = Vt - Vs$$

$$Vv = 2684 \text{ cm}^3 - 1912 \text{ cm}^3$$

$$\mathbf{Vv = 772 \text{ cm}^3}$$

POROSIDAD EFECTIVA MÁXIMA:

$$n = \frac{Vv}{Vt}$$

$$n = \frac{772}{2684}$$

$$\mathbf{n = 0,29 = Ne \text{ máx.}}$$

Porosidad Efectiva Máxima (Ne máx.): es el volumen de agua que llena completamente los vacíos del material.

C = coeficiente de pérdida de agua.

CANTIDAD DE AGUA QUE PUEDE DRENAR POR GRAVEDAD. CANTIDAD DE FINOS									
MATERIAL PREDOM.	< 2.5 %			5%			10%		
	Tipos de finos			Tipos de finos			Tipos de finos		
	Filler	Limo	Arcilla	Filler	Limo	Arcilla	Filler	Limo	Arcilla
Grava	70	60	40	60	40	20	40	30	10
Arena	57	50	35	50	35	15	25	18	8

Con el porcentaje de finos (pasante del tamiz #200) y con el tipo de material predominante obtenemos de la tabla el coeficiente perdida de agua C.

$$C = 40$$

Luego, la Porosidad Efectiva será:

$$Ne = \frac{Ne \text{ máx} * C}{100}$$

$$Ne = \frac{0,29 * 40}{100}$$

$$Ne = 0,1150$$

Cálculo del Coeficiente de permeabilidad

$$K = \frac{6,214 * 10^5 * D_{10}^{1.478} * n^{6.654}}{F_{200}^{0.597}} = \text{pies / dias}$$

DE DONDE:

K	=	Coeficiente de permeabilidad	
D ₁₀	=	Tamaño efectivo de las partículas	= 0,250
n	=	Porosidad efectiva máxima	= 0,29
F ₂₀₀	=	% Pasante del tamiz # 200	= 13,70 = 0,137

$$K = \frac{6,214 * 10^5 * 0,250^{1,478} * 0,29^{6,654}}{0,137^{0,597}} = \text{pies / dias}$$

$$K = 65,683 \quad 1 \text{ pie} = 0,3048 \text{ m}$$

$$K = 20,02 \text{ m/dias}$$

CÁLCULO DE LA PENDIENTE DE DRENAJE

$$m = \frac{Ne * LR^2}{H * K}$$

$$m = \frac{0,1150 * 40,39^2}{0,40 * 20,02}$$

$$m = 23,43$$

Calculamos el factor de tiempo para un drenaje al 50% (T_{50})

$$T_{50} = 0,001$$

Luego calculamos el grado de drenaje (U)

$$U = 0,46$$

CÁLCULO DEL TIEMPO DE DRENAJE

$$t = m * T_{50} * 24 \text{ horas}$$

$$t = 23,43 * 0 * 24 \text{ horas}$$

$$t = 0,56 \text{ horas} = 0,02 \text{ días}$$

CALIDAD DE DRENAJE	50% DE SATURACIÓN EN:	85% DE SATURACIÓN EN:
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	Mas de 10 horas
Muy Pobre	El agua no drena	Mucho más de 10 horas

LUEGO CALCULAMOS EL AGUA DRENANTE:

$$\text{Volumen de agua drenante} = Ne * U$$

$$V = Ne * U$$

$$V = 0,115 * 0,46$$

$$V = 0,0529$$

CALCULAMOS EL VOLUMEN REMANENTE:

$$VR = Ne \text{ máx} - Ne * U$$

$$VR = 0,29 - 0,0529$$

$$VR = 0,234662722$$

CÁLCULO DEL GRADO DE SATURACIÓN (S)

U	t	T ₅₀	Ne * U	VR = Ne max - Ne * U	S = (Vv - Ne * U)/Ne máx * 100
0,46	1 horas	0,001	0,0529	0,235	81,60

$$S = \frac{VR = Ne \text{ máx} - Ne * U}{n}$$

$$S = \frac{0,235}{0,288}$$

$$S = 82 \%$$

$$t = 0,56 \text{ horas} \quad \times \quad 82 \%$$

$$t = ? = 0,59 \text{ horas} \quad \times \quad 85 \%$$

Calculamos el porcentaje del tiempo en que el pavimento permanece en niveles próximos a la saturación (P)

$$P = (S + R) * \frac{100}{365}$$

DE DONDE:

S = días de deshielo en primavera

R = días de lluvia al año

Para nuestro estudio no consideramos S porque en nuestro medio no hay nevadas:

$$P = R * \frac{100}{365}$$

R = por ser el tiempo "t" menor a 24 horas = 30 * días

En un mes llueve 10 días en 3 meses llueve 30 días

$$R = 30 * 0,02 \text{ días}$$

$$R = 0,70 \text{ días}$$

$$P = 0,70 * \frac{100}{365}$$

$$P = 0,19 \%$$

TABLA: % DE TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTA EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD PRÓXIMOS A LA SATURACION

CALIDAD DE DRENAJE	% DE TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTA EXPUESTO A NIVLES DE HUMEDAD PRÓXIMOS A LA SATURACION			
	< 1%	1 - 5 %	5 - 25 %	> 25 %
Excelente	1,40 - 1,35	1,35 - 1,30	1,30 - 1,20	1,20
Bueno	1,35 - 1,25	1,25 - 1,15	1,15 - 1,00	1,00
Regular	1,25 - 1,15	1,15 - 1,05	1,00 - 0,80	0,80
Pobre	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80 - 0,60	0,60
Muy Pobre	1,05 - 0,95	0,95 - 0,75	0,75 - 0,40	0,40

Coefficiente de drenaje para Subbase

Con el porcentaje de tiempo P y la calidad de drenaje EXCELENTE vamos a la tabla anterior y obtenemos el coeficiente de drenaje m3

$$m_3 = 1,35$$

Calculo para determinar coeficientes de drenaje de la base granular

PENDIENTE LONGITUDINAL:

$$S = 5 \% = 0,05$$

PENDIENTE TRANSVERSAL:

$$S_x = 2 \% = 0,02$$

ESPESOR DE LA CAPA DRENANTE:

$$H = 0,20 \text{ m}$$

ANCHO DE LA SUB BASE PERMEABLE:

$$W = 15,00 \text{ m}$$

BASE

CANTERA "EL COLORADO"		
LIMITE LIQUIDO	(LL)	21,36
LIMITE PLASTICO	(LP)	17,36
INDICE PLASTICO	(IP)	4,00
INDICE DE GRUPO	(IG)	0,00
MAT. PASANTE DEL #200		6,39
D10		0,37
COEF. DE CURVATURA	(CC)	4,68
COEF. DE UNIFORMIDAD	(CU)	69,2
CLASIFICACION ASSTHO		A 1-a
CLASIFICACION SUCS		CL
DENSIDAD MAXIMA		2210 Kg/m ³
HUMEDAD OPTIMA		7,00
CBR DEL ENSAYO AL 100%		89,00

GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SÓLIDOS

$$G_s = 2,551 \text{ gr/cm}^3$$

PESO DEL SUELO SECO:

$$W_s = 4876 \text{ gr.}$$

VOLUMEN DE LA MUESTRA:

$$V_m = 2667 \text{ cm}^3$$

LONGITUD RESULTANTE DE LA BASE:

$$LR = W \left[\left(\frac{S}{S_x} \right)^2 + 1 \right]^{0,5}$$

$$LR = 15 \left[\left(\frac{0,05}{0,02} \right)^2 + 1 \right]^{0,5}$$

$$\mathbf{LR = 40,39 \text{ m}}$$

PENDIENTE RESULTANTE DE LA BASE:

$$SR = (S^2 + S_x^2)^{0,5}$$

$$SR = (0,05^2 + 0,02^2)^{0,5}$$

$$\mathbf{SR = 0,054}$$

FACTOR DE PENDIENTE:

$$St = \frac{LR * SR}{H}$$

$$St = \frac{40,39 * 0,054}{0,20}$$

$$\mathbf{St = 10,88}$$

$$T_{50} = 0.020$$

CALCULO DE LAS PROPIEDADES DRENANTES

$$V_t = \text{Volumen Total} = 2667 \text{ cm}^3$$

VOLUMEN DE LOS SÓLIDOS:

$$V_s = \frac{W_s}{G_s}$$

$$V_s = \frac{4876}{2,551}$$

$$V_s = 1911 \text{ cm}^3$$

$$V_s = 0,72 \%$$

VOLUMEN DE VACÍOS:

$$V_v = V_t - V_s$$

$$V_v = 2667 \text{ cm}^3 - 1911 \text{ cm}^3$$

$$V_v = 756 \text{ cm}^3$$

POROSIDAD EFECTIVA MÁXIMA:

$$n = \frac{V_v}{V_t}$$

$$n = \frac{756}{2667}$$

$$n = 0,28 = n_e \text{ máx.}$$

Porosidad Efectiva Máxima ($n_e \text{ máx.}$): es el volumen de agua que llena completamente los vacíos del material.

C = coeficiente de pérdida de agua

CANTIDAD DE AGUA QUE PUEDE DRENAR POR GRAVEDAD. CANTIDAD DE FINOS									
MATERIAL PREDOM.	< 2.5 %			5%			10%		
	Tipos de finos			Tipos de finos			Tipos de finos		
	Filler	Limo	Arcilla	Filler	Limo	Arcilla	Filler	Limo	Arcilla
Grava	70	60	40	60	40	20	40	30	10
Arena	57	50	35	50	35	15	25	18	8

Con el porcentaje de finos (pasante del tamiz #200) y con el tipo de material predominante obtenemos de la tabla el coeficiente perdida de agua C.

$$C = 30$$

Luego, la Porosidad Efectiva será:

$$Ne = \frac{Ne \text{ máx} * C}{100}$$

$$Ne = \frac{0,28 * 30}{100}$$

$$Ne = 0,0850$$

Cálculo del Coeficiente de permeabilidad.

$$K = \frac{6,214 * 10^5 * D_{10}^{1,478} * n^{6,654}}{F_{200}^{0,597}} = \text{pies / dias}$$

$$K = \frac{6,214 * 10^5 * 0,370^{1,478} * 0,28^{6,654}}{0,064^{0,597}} = \text{pies / dias}$$

DE DONDE:

K	=	Coeficiente de permeabilidad	
D ₁₀	=	Tamaño efectivo de las partículas	= 0,370
n	=	Porosidad efectiva máxima	= 0,28
F ₂₀₀	=	% Pasante del tamiz # 200	= 6,39 = 0,0639

$$K = 167,363 \quad 1 \text{ pie} = 0,3048 \quad \text{m}$$

$$K = 51,01 \text{ m/dias}$$

CÁLCULO DE LA PENDIENTE DE DRENAJE

$$m = \frac{Ne * LR^2}{H * K}$$

$$m = \frac{0,0850 * 40,39^2}{0,20 * 51,01}$$

$$m = 13,59$$

Calculamos el factor de tiempo para un drenaje al 50% (T₅₀)

$$T_{50} = 0,015$$

Luego calculamos el grado de drenaje (U).

$$U = 0,563$$

CÁLCULO DEL TIEMPO DE DRENAJE

$$t = m * T_{50} * 24 \text{ horas}$$

$$t = 13,59 * 0,015 * 24 \text{ horas}$$

$$t = 4,89 \text{ horas} = 0,20 \text{ días}$$

CALIDAD DE DRENAJE	50% DE SATURACIÓN EN:	85% DE SATURACIÓN EN:
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	Mas de 10 horas
Muy Pobre	El agua no drena	Mucho más de 10 horas

LUEGO CALCULAMOS EL AGUA DRENANTE:

$$\text{Volumen de agua drenante} = N_e * U$$

$$V = N_e * U$$

$$V = 0,085 * 0,56$$

$$V = 0,0479$$

CALCULAMOS EL VOLUMEN REMANENTE:

$$VR = N_e \text{ máx} - N_e * U$$

$$VR = 0,28 - 0,0479$$

$$VR = 0,23546048$$

CÁLCULO DEL GRADO DE SATURACIÓN (S)

U	t	T ₅₀	N _e * U	VR = N _e máx - N _e * U	S = (Vv - N _e * U) / N _e máx * 100
0,56	5 horas	0,015	0,0479	0,235	83,11

$$S = \frac{0,235}{0,283}$$

$$S = 83,11 \%$$

$$t = 4,89 \text{ horas} \quad \begin{array}{l} \nearrow 83,11 \% \\ \searrow 85 \% \end{array}$$

$$t = ? = 5,00 \text{ horas} \quad \begin{array}{l} \nwarrow 83,11 \% \\ \nearrow 85 \% \end{array}$$

Con los valores de grado de saturación $S = 85\%$, el tiempo de drenaje obtenido en horas $t = 4,89$ horas. Revisamos la tabla de calidad de drenaje, y obtenemos la calidad de material del drenaje.

Lo que permite definir al material de La Cantera EL COLORADO es BUENO.

Calculamos el porcentaje del tiempo en que el pavimento permanece en niveles próximos a la saturación (P)

$$P = (S + R) * \frac{100}{365}$$

DE DONDE:

$S =$ días de deshielo en primavera
 $R =$ días de lluvia al año

Para nuestro estudio no consideramos S porque en nuestro medio no hay nevadas:

$$P = R * \frac{100}{365}$$

$R =$ por ser el tiempo "t" menor a 24 horas $= 30 * \text{días}$

En un mes llueve 10 días en 3 meses llueve 30 días

$$R = 30 * 0,20 \text{ días}$$

$R = 6,12 \text{ días}$ El Tiempo de Drenaje es < 24 horas; entonces:

$$P = 30 * \frac{100}{365}$$

$$P = 8,22 \%$$

TABLA: % DE TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTA EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD PRÓXIMOS A LA SATURACION

CALIDAD DE DRENAJE	% DE TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTA EXPUESTO A NIVLES DE HUMEDAD PRÓXIMOS A LA SATURACION			
	< 1%	1 - 5 %	5 - 25 %	> 25 %
Excelente	1,40 - 1,35	1,35 - 1,30	1,30 - 1,20	1,20
Bueno	1,35 - 1,25	1,25 - 1,15	1,15 - 1,00	1,00
Regular	1,25 - 1,15	1,15 - 1,05	1,00 - 0,80	0,80
Pobre	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80 - 0,60	0,60
Muy Pobre	1,05 - 0,95	0,95 - 0,75	0,75 - 0,40	0,40

Coefficiente de drenaje para la base

Con el porcentaje de tiempo P y la calidad de drenaje BUENO vamos a la tabla anterior y obtenemos el coeficiente de drenaje m3

$$m_2 = 1$$

RESULTADOS:

Confiabilidad	R =	70 %	En función de la importancia de la vía
Coef. De Student	ZR =	0,53	Del valor de R
Desvió estándar	So =	0,49	Por variaciones en el tráfico
Serviciabilidad inicial	p _o =	4,20	Para Pavimentos Flexibles
Serviciabilidad final	p _t =	2,00	Por ser vía Colectora
Perdida de Serviciosabilidad	ΔPSI =	2,20	ΔPSI = p _o - p _t
Cap. De soporte	CBR =	6,01 %	Análisis de suelos calicatas
Módulo resiliente	Mr =	9015 psi	Del monograma de AASHTO
# de cargas de 18 Kips previstas	W ₁₈ =	245346,2153	del conteo de volumen de tránsito
Número Estructural	SN =	4,00	Del monograma de AASHTO

Resultados de la capa de rodadura

Para capa de Rodadura		Marshall
Carpeta Asfáltica	Estabilidad	2800
Coef. Estructural	a ₁ (pulg. ⁻¹)	0,577
Módulo Resiliente	Mr	685236
Número Estructural	SN ₁	1,15

Para base se considera un material de las siguientes características

CBR	89 %
Limite Liquido	menor de 25%
Indice de Plasticidad	NP o menor de 6%
Desgaste de los Angeles	menor de 40%
Coef. Estructural a_2 (pulg. ⁻¹)	0,136
Coef. de Drenaje m_2	1
Módulo Resiliente Mr	28900
Número Estructural SN_2	1,95

Para subbase se considera un material de las siguientes características

CBR	78 %
Limite Liquido	menor de 25%
Indice de Plasticidad	NP o menor de 6%
Desgaste de los Angeles	menor de 40%
Coef. Estructural a_3 (pulg. ⁻¹)	0,132
Coef. de Drenaje m_3	1,35
Módulo Resiliente Mr	19100
Número Estructural SN_3	5

Modulo Resiliente		Número Estructural		Coeficiente Estructural	
Estabilidad Marshall	= 2800	SN_1	= 1,15	Capa de Rod.	a_1 = 0,577
Mr (Base)	= 28900	SN_2	= 1,95	Base	a_2 = 0,136
Mr (Sub-base)	= 19100	SN_3	= 5	Sub Base	a_3 = 0,132
Mr (Subrasante)	= 9015	SN	= 4,00	Sub Rasante	

CALCULO DE LOS ESPESORES DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO

FORMULA GENERAL

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3$$

Calculo de espesor de la carpeta asfáltica:

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1}$$

$$D_1 = \frac{1,15}{0,577}$$

$$D_1 = 2,0 \text{ pulg.}$$

$$\text{Espesor de Capa de Rodadura} = 2,0 \text{ pulg.}$$

$$SN_1 = a_1 * D_1$$

$$SN_1 = 0,577 * 2,0$$

$$SN_1 = 1,15$$

Calculo del espesor de la base granular:

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN_1}{m_2 * a_2}$$

$$D_2 = \frac{1,95 - 1,15}{1 * 0,14}$$

$$D_2 = 5,9 \text{ pulg.}$$

$$\text{Espesor de la capa de Base} = 5,9 \text{ pulg.}$$

$$SN_2 = a_2 * D_2 * m_2$$

$$SN_2 = 0,136 * 5,9 * 1$$

$$SN_2 = 0,80$$

Calculo del espesor de la capa de Sub-base granular:

$$D_3 = \frac{SN_3 - (SN_2 - SN_1)}{a_3 * m_3}$$

$$D_3 = \frac{5 - (1,95 - 1,15)}{0,132 * 1,35}$$

$$D_3 = 23,57 \text{ pulg.}$$

Espesor de la capa de Sub-Base = 23,57 pulg.

$$SN_3 = a_3 * D_3 * m_3$$

$$SN_3 = 0,132 * 23,6 * 1,35$$

SN₃ = 4,20

a2

Comprobación del Número Estructural SN:

$$SN = SN_1 + SN_2 + SN_3$$

$$SN = 1,15 + 0,80 + 4,20$$

SN = 6 ≈ 6 Verificación Correcta

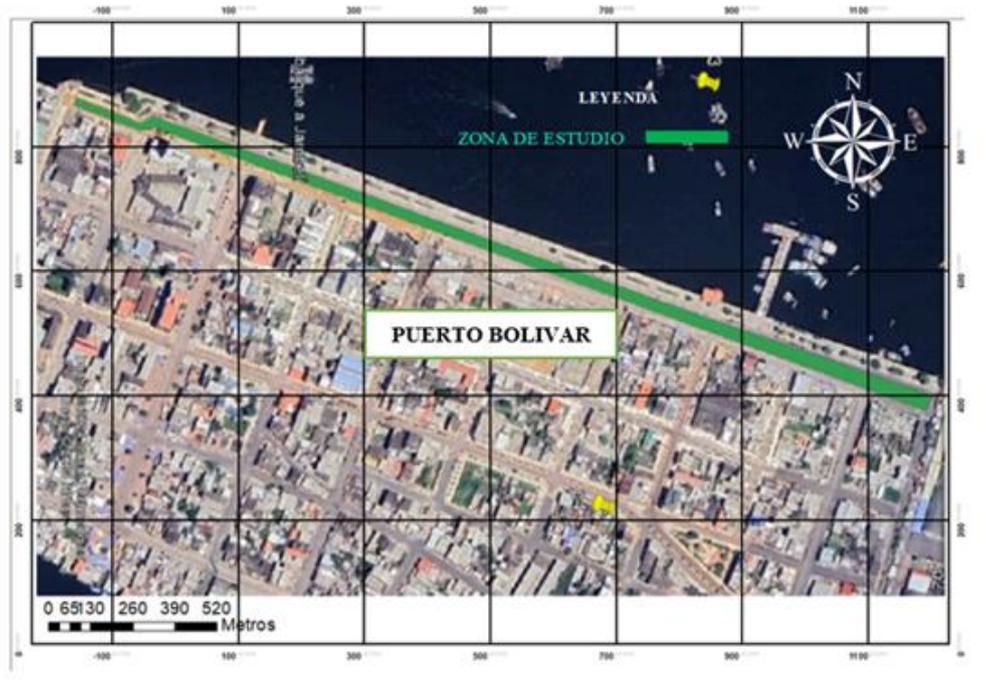
LOS ESPESORES DE LAS DIFERENTES CAPAS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO SON:

CAPA DE RODADURA	= D ₁	= 2,00 pulg.	=	5,08 cm
BASE GRANULAR CLASE II	= D ₂	= 5,88 pulg.	=	14,94 cm
SUB BASE GRANULAR CLASE II	= D ₃	= 23,57 pulg.	=	59,87 cm
TOTAL PAQUETE ESTRUCTURAL			=	79,89 cm = 80 cm

7.10 ANEXO 10: Perforación de calicatas



7.11 ANEXO 11: Mapa de ubicación



7.12 ANEXO 12: Categoría de la subrasante

CATEGORÍAS DE LA SUB-RASANTE		
TIPO	CATEGORÍA	CBR
S0	INADECUADA	CBR < 3%
S1	POBRE	CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S2	REGULAR	CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S3	BENA	CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S4	MUY BUENA	CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S5	EXCELENTE	CBR ≥ 30%

7.13 ANEXO 13: Tabla de resultados de laboratorio

EVALUACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EN EL TRAMO DEL MALECON DE PUERTO BOLIVAR															
MUESTRA N°	CALLE	h(M)	W%	GRANULOMETRIA			LIMITES DE CONSISTENCIAS			CLASIFICACIÓN			PROCTOR		CBR %
				% DE MAT. QUE PASA TAMIZ			L.L	L.P	I.P	S.U.C.S	ASSHTO	IG	DEN.MAX %	HUM.OPT %	
				N°10	N°40	N°200									
1	VIA DEL	0,500	5,550	78,340	37,810	23,520	0	0	0	SP	A-3	0	0	0	6,010
	MALECON	1,000	13,500	78,840	38,550	21,530	0	0	0	SP	A-3	0	0	0	
	PUERTO	1,500	59,570	95,550	82,530	94,430	71,93	31,16	40,77	CH	A-7	8	1732	3,75	
2	VIA DEL	0,500	2,690	78,810	40,400	16,670	0	0	0	SP	A-3	0	0	0	7,220
	MALECON	1,000	13,880	43,990	27,860	75,990	0	0	0	SP	A-3	0	0	0	
	PUERTO	1,5	65,75	96,22	86,44	93,31	62,21	28,83	39,38	CH	A-7	8	1720	3,25	
3	VIA DEL	0,5	3,01	76,65	50,44	30,64	0	0	0	SP	A-3	0	0	0	7,15
	MALECON	1	14,12	90,2	60,88	87,96	0	0	0	SP	A-3	0	0	0	
	PUERTO	1,5	67,23	96,38	84,09	93,87	65,42	30,43	35	CH	A-7-6	8	1722	3,32	