



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN VÍAS
URBANAS DE MACHALA, UN ENFOQUE PARA CIUDADES COSTERAS,
APLICANDO LA METODOLOGÍA EMPÍRICO MECANISTA**

**FAREZ JOHNSON AMBAR ROSALIA
INGENIERA CIVIL**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN
VÍAS URBANAS DE MACHALA, UN ENFOQUE PARA
CIUDADES COSTERAS, APLICANDO LA METODOLOGÍA
EMPÍRICO MECANISTA**

**FAREZ JOHNSON AMBAR ROSALIA
INGENIERA CIVIL**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTOS TÉCNICOS

**EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN
VÍAS URBANAS DE MACHALA, UN ENFOQUE PARA
CIUDADES COSTERAS, APLICANDO LA METODOLOGÍA
EMPÍRICO MECANISTA**

**FAREZ JOHNSON AMBAR ROSALIA
INGENIERA CIVIL**

SANCHEZ MENDIETA CARLOS EUGENIO

**MACHALA
2024**

TRABAJO TITULACION FAREZ APROBADO

4%
Textos
sospechosos



4% **Similitudes**
< 1% similitudes entre comillas
1% entre las fuentes mencionadas
0% **Idiomas no reconocidos (ignorado)**

Nombre del documento: TRABAJO TITULACION FAREZ APROBADO.docx
ID del documento: 5bfb3b9bc47deb558d7cd02a3dd1f7404f5c97d2
Tamaño del documento original: 6,25 MB
Autores: []

Depositante: Sanchez Mendieta Carlos Eugenio
Fecha de depósito: 7/2/2025
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 7/2/2025

Número de palabras: 16.038
Número de caracteres: 105.428

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes de similitudes

Fuentes principales detectadas


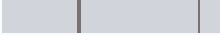

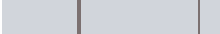

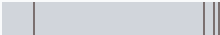

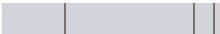

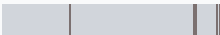

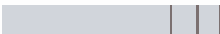





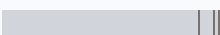












Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositoriotec.tec.ac.cr 4 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (72 palabras)
2	llamkasun.unat.edu.pe 8 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (59 palabras)
3	repositorio.utmachala.edu.ec 2 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (63 palabras)
4	repositorio.utmachala.edu.ec 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (51 palabras)
5	Documento de otro usuario #3fd2ed El documento proviene de otro grupo 4 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (44 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas






Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	www.scielo.org.pe Valorización de Residuos Mineros como Áridos para la Construc... http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2313-29572024000200071	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (37 palabras)
2	doi.org https://doi.org/10.15517/iv.v24i43.48563	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (35 palabras)
3	www.academia.edu (PDF) Efectos de la variabilidad de los datos iniciales en el índi... https://www.academia.edu/122545032/Efectos_de_la_variabilidad_de_los_datos_iniciales_en_el_í...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (34 palabras)
4	doi.org https://doi.org/10.15517/iv.v25i44.53569	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (32 palabras)
5	hdl.handle.net Control del nivel freático superficial mediante el uso de material gr... https://hdl.handle.net/20.500.12848/1820	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (31 palabras)

Fuentes ignoradas Estas fuentes han sido retiradas del cálculo del porcentaje de similitud por el propietario del documento.

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	dx.doi.org Los Factores influyentes en la resistencia al deslizamiento en pavimento... http://dx.doi.org/10.35830/cn.vi81.535	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (114 palabras)
2	repositorio.utmachala.edu.ec http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22009/1/GONZALEZ_SILVA,_JOSELYN_00071...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (87 palabras)
3	www.academia.edu (PDF) Herramientas tecnológicas de evaluación de fallas en la ... https://www.academia.edu/107046079/Herramientas_tecnológicas_de_evaluación_de_fallas_en_la_...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (75 palabras)
4	repositorio.utmachala.edu.ec Repositorio Digital de la UTMACH: Modelo de optim... https://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/20659	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (89 palabras)
5	GUERRA GAONA ANGELLO ISRAEL.pdf GUERRA GAONA ANGELLO ISRAEL #00a850 El documento proviene de mi grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (81 palabras)

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
6	 dialnet.unirioja.es https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9005175.pdf	< 1%		📄 Palabras idénticas: < 1% (79 palabras)
7	 www.scielo.sa.cr https://www.scielo.sa.cr/pdf/infraestructura/v24n43/2215-3705-infraestructura-24-43-67.pdf	< 1%		📄 Palabras idénticas: < 1% (79 palabras)
8	 Tesis Felipe Vacacela fin.docx Tesis Felipe Vacacela fin #aee3a2 📌 El documento proviene de mi grupo	< 1%		📄 Palabras idénticas: < 1% (76 palabras)
9	 rcc.cujae.edu.cu https://rcc.cujae.edu.cu/index.php/rcc/article/download/208/144/1758	< 1%		📄 Palabras idénticas: < 1% (77 palabras)
10	 repositorio.utmachala.edu.ec https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/20659/1/JAIRO VASQUEZ VARGAS.pdf	< 1%		📄 Palabras idénticas: < 1% (73 palabras)
11	 doi.org https://doi.org/https://doi.org/10.47797/llamkasun.v4i2.121	< 1%		📄 Palabras idénticas: < 1% (59 palabras)
12	 repositorio.utmachala.edu.ec https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/21629/1/CHICAIZA TOCTO, GALO-07-09-20...	< 1%		📄 Palabras idénticas: < 1% (62 palabras)
13	 doi.org https://doi.org/https://doi.org/10.69639/arandu.v11i2.421	< 1%		📄 Palabras idénticas: < 1% (54 palabras)
14	 doi.org Optimización de las propiedades mecánicas del concreto para pavimentos r... https://doi.org/10.51372/gacetatecnica261.6	< 1%		📄 Palabras idénticas: < 1% (49 palabras)
15	 doi.org Análisis técnico de infraestructura vial rural: Evaluación estructural y propu... https://doi.org/10.69639/arandu.v11i2.421	< 1%		📄 Palabras idénticas: < 1% (50 palabras)
16	 dx.doi.org Desempeño de una vía no pavimentada reforzada con geomalla: constr... http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v91n231.112274	< 1%		📄 Palabras idénticas: < 1% (48 palabras)
17	 doi.org Análisis técnico de infraestructura vial rural: Evaluación estructural y propu... https://doi.org/10.69639/arandu.v11i2.421	< 1%		📄 Palabras idénticas: < 1% (50 palabras)
18	 dialnet.unirioja.es Desempeño de una vía no pavimentada reforzada con geomall... https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9555412.pdf	< 1%		📄 Palabras idénticas: < 1% (48 palabras)
19	 papers.ssrn.com System Reliability-Based Design Optimization of Flexible Paveme... https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4141926	< 1%		📄 Palabras idénticas: < 1% (34 palabras)
20	 dx.doi.org Смеси высокой проникающей способности для оснований дорожны... http://dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2024-1/96-112	< 1%		📄 Palabras idénticas: < 1% (33 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

1	 https://doi.org/10.56048/MQR20225.8.2.2024.3499-3511
2	 https://doi.org/http://dx.doi.org/10.23857/dc.v6i2.1163
3	 https://doi.org/https://doi.org/10.18359/rcin.5896
4	 https://doi.org/https://doi.org/10.15332/iteckne
5	 https://doi.org/https://doi.org/10.47797/llamkasun.v5i2.132

Puntos de interés

□

UTMACH
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN VÍAS URBANAS DE MACHALA, UN ENFOQUE PARA CIUDADES COSTERAS, APLICANDO LA METODOLOGÍA EMPÍRICO MECANISTA
AMBAR ROSALÍA FAREZ JOHNSON
INGENIERA CIVIL
MACHALA
2025

□

UTMACH
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN VÍAS URBANAS DE MACHALA, UN ENFOQUE PARA CIUDADES COSTERAS, APLICANDO LA METODOLOGÍA EMPÍRICO MECANISTA
AMBAR ROSALÍA FAREZ JOHNSON
PROYECTO TÉCNICO
ING. CARLOS EUGENIO SÁNCHEZ MENDIETA
MACHALA
2025
DEDICATORIA
El camino hacia el éxito está rodeado de momentos llenos de penurias, soledad y desamparo pero también de mucha alegría, gratitud y bienestar, por ello, me encuentro dichosa de dedicar este arduo trabajo a Dios y a la Virgen, por ser mi fortaleza y consuelo en los momentos más tristes, dónde no encontraba paz y no me hallaba como persona. Pese a que muchas veces quise dejar todo paralizado ahí estuvieron ustedes, Sr. Armando Farez y Sra. Ivon Johnson, a quienes la vida me dio la gracia de tenerlos como padres, ustedes han sido inspiración y reto a la vez, por eso, les dedico este pequeño esfuerzo, que ha sido realizado con mucho amor y dedicación. Es vital nombrar a una persona especial, mi hermano Teddy Farez, que con su confianza, apoyo, se ha convertido en una fuente motivacional para cumplir mis metas y lograr mis sueños. Dios nunca se deja ganar en generosidad y puso en mi camino a mi compañero de vida, por eso, me gustaría dedicar este trabajo a ese ser incondicional Fernando Cáceres, mi cable a tierra, mi soporte y refugio, quien me motiva todos los días a seguir adelante. Finalmente, entrego este trabajo a mi mascota, mi pequeña nala, quién se ha desvelado cada noche conmigo para poder cristalizar este sueño, su mirada me transmite paz y estoy segura que es la fuente más pura de amor y gratitud

AGRADECIMIENTO

Me gustaría empezar agradeciendo



repositoriotec.tec.ac.cr

https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/2238/9936/1/dimensionamiento_estructura_pavimento_calle_jsidro.pdf

a Dios y a la Virgen, por darme las fuerzas

diarias y ayudarme a través de su manifestación de amor, creer en él y en mí.

De la misma forma, expreso mis respetos y gratitud a mi tutor de tesis, al Mgtr. Carlos Eugenio Sánchez Mendieta, por toda la paciencia constante y por el conocimiento impartido para la respectiva culminación de esta investigación.

A mis padre, madre, hermano, enamorado y nalita, gracias por convertirse en esos pilares fundamentales para edificar correctamente mi vida. Su voto de confianza y creencia hacia mí, me han motivado para seguir adelante y culminar de forma exitosa esta etapa universitaria llena de retos y amor. Sin su apoyo, nada de esto hubiese sido posible.

Finalmente agradezco a mis docentes de la Universidad Técnica de Machala, que han sido una pieza clave para dar fin a la etapa universitaria y empezar con grandes aprendizajes en mi nueva etapa laboral, gracias por los conocimientos y consejos brindados a lo largo de este camino.

RESUMEN

La investigación se centra en el inadecuado servicio de vialidad que existen en las vías urbanas de la ciudad de Machala, Ecuador, teniendo en consideración la capacidad vial y capa de rodadura, que se han visto afectadas por el deterioro y aumento del costo operacional. Por ello, este estudio se encarga de evaluar la estructura del pavimento flexible en ciudades costeras, analizando la capacidad vial y capa de rodadura para mejorar la movilidad en Machala. No obstante, se aplicó la metodología empírico-mecanicista con pruebas de CBR, Proctor modificado, granulometría y ensayos de fatiga. Mediante el análisis estadístico (ANOVA), se obtuvieron los siguientes resultados: Muestra 1 presentó valores de 2.20%, 2.10% y 2.00%, mientras que la muestra 2 obtuvo 4.30%, 4.20% y 4.10%, con medias de 2.10% y 4.20%, respectivamente, indicando mayor resistencia en la segunda. Se evidenciaron diferencias significativas en la capacidad portante de la subrasante, por lo que se propone una capa de rodadura de 7 cm, base granular de 20 cm y espesor de 25 cm para vías de alto tránsito. Se determina, la importancia de contar con un sistema de gestión vial que garantice el mantenimiento y rehabilitación de las carreteras para ofrecer vías eficientes y seguras.

Palabras Claves: Infraestructura vial, Movilidad motorizada, Pavimento flexible, Capacidad vial, Capa de rodadura.

ABSTRACT

The research focuses on the inadequate road service present in the urban roads of Machala, Ecuador, taking into account the road capacity and the wearing course, which have been affected by deterioration and increased operational costs. Therefore, this study aims to evaluate the structure of flexible pavements in coastal cities, analysing road capacity and the wearing course to improve mobility in Machala. An empirical-mechanistic methodology was applied, using CBR tests, modified Proctor, granulometry, and fatigue tests. Through statistical analysis (ANOVA), the following results were obtained: Sample 1 showed values of 2.20%, 2.10%, and 2.00%, while Sample 2 recorded 4.30%, 4.20%, and 4.10%, with averages of 2.10% and 4.20%, respectively, indicating greater strength in the second sample. Significant differences were observed in the bearing capacity of the subgrade, leading to the proposal of a 7 cm wearing course, a 20 cm granular base, and a 25 cm thickness for high-traffic roads. The study highlights the importance of having a road management system that ensures the maintenance and rehabilitation of roads to provide efficient and safe transport routes.

Keywords: Road infrastructure, Motorised mobility, Flexible pavement, Road capacity, Wearing course.

INDICE

INTRODUCCIÓN3

Importancia del Tema3

Actualidad de la Problemática3

CAPÍTULO I6

1.Planteamiento del Problema6

1.1.Línea Base del Proyecto6

1.1.1.Ubicación, Límites y extensión6

1.1.2.Población7

1.1.3.Servicio de Educación7

1.1.4.Uso de Suelo9

1.1.5.Geología10

1.1.6.Intensidad Sísmica11

1.1.7.Movimientos en Masa11

1.1.8.Susceptibilidad a la Erosión11

1.1.9.Situación Vial11

1.2.Descripción de la Situación Problemática (Causa y Efectos)13

1.3.Formulación del Problema: Preguntas Científicas6

1.4.Delimitación del objeto de estudio6

1.5.Justificación7

1.6.Objetivos: General y Específicos9

1.6.1.Objetivo General9

1.6.2.Objetivos Específicos9

CAPÍTULO II:10

2.MARCO TEORICO10

2.1.Antecedentes Contextuales10

2.1.1.Micro10

2.1.2.Meso11

2.1.3.Macro12

2.2.Antecedente Conceptuales12

2.2.1.Evaluación Geotécnica12

2.2.2.Evaluación del Pavimento Flexible12

2.2.3.Superficie del Pavimento13

2.2.4.Infraestructura Vial13

2.2.5.Capacidad Vial13

2.2.6.Congestión Vehicular14

2.2.7.Pavimento14

2.2.8.Subrasante14

2.2.9.Capa de Rodadura14

2.2.10.Base15

2.2.11.Subbase15

2.2.12.Pavimento Asfáltico15

2.2.13.Cargas Vehiculares15

2.2.14.Resistencia al Deslizamiento15

2.3.Antecedentes Referenciales16

CAPÍTULO III:20

3.METODOLOGÍA20

3.1.Modalidad Básica de la Investigación20

3.2.Tipo de Investigación20

3.2.1.Investigación Descriptiva20

3.2.2.Investigación Documental20

3.2.3.Investigación Experimental20

3.3.Objeto de Estudio21

3.4.Población21

3.5.Métodos Teóricos y Empíricos con los Materiales Utilizados21

3.6.Método Empírico23

3.7.Método de Evaluación	23
3.7.3.Procedimiento de los Datos Obtenidos	27
CAPÍTULO IV 27	
4.Análisis e Interpretación de Resultados 27	
4.1.Evaluación Geotécnica del Pavimento Flexible en la Zona de Estudio	27
4.2.Obtención de Datos en la Zona de Estudio	28
4.3.Identificación de Fallas en la Zona de Estudio	31
4.4.Extracción de muestras de suelo en vías urbanas	33
4.5.Extracción de Muestras en Vías urbanas	34
4.6.Análisis Estadístico	3
4.7.Datos de Ensayos de CBR in situ	3
4.8.Análisis de Varianza (ANOVA)	3
4.9.Desviación Estándar y Coeficiente de Variación	3
4.10.Especificación para la Capa de Rodadura (Mezcla Asfáltica)	4
4.11.Propuesta de Alternativa de Espesores	4
5.CONCLUSIONES	9
6.RECOMENDACIONES	10
7.REFERENCIAS	11

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Población Cantonal	7
Tabla 2: Uso de Suelo del Cantón Machala	10
Tabla 3: Estado de las vías	12
Tabla 4: Análisis Comparativo de Metodología para la Evaluación de la Estructura del Pavimento	17
Tabla 5: Masa mínima de la muestra de prueba por tamaño de tamiz	24
Tabla 6: Criterios de Evaluación	25
Tabla 7: Escala de Clasificación de las Categorías de la Subrasante – CBR	26
Tabla 8: Evaluación del PCI	26
Tabla 9: Clasificación de los Deterioros de Degradación de un Pavimento	28
Tabla 10: Materiales requeridos para los ensayos	32
Tabla 11: Resumen de resultados obtenidos de laboratorio	35
Tabla 12: Resumen de las Especificaciones de Porcentaje de la Estructura de Capa	4
Tabla 13: Alternativas de Espesores	7
Tabla 14: Evaluación de Espesores Mínimos según la Normativa MTOP	8
Tabla 15: Comparación de la Norma con cada Alternativa	9

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Plano Territorial de la Ciudad de Machala	6
Ilustración 2: Institución Educativa, Colegio Fiscal 9 de Octubre	8
Ilustración 3: Institución Educativa, Colegio Fiscal Ismael Pérez Pazmiño	8
Ilustración 4: Uso de Suelo del Cantón Machala	10
Ilustración 5: Uso de Suelo	12
Ilustración 6: Árbol de Problemas	3
Ilustración 7: Grietas	4
Ilustración 8: Inadecuado Sistema del Subdrenaje	4
Ilustración 9: Reducción de la Velocidad de Tránsito	4
Ilustración 10: Fisuración	5
Ilustración 11: Desgaste de la Capa de Rodadura	5
Ilustración 12: Aumento de la Capacidad Vial Existente	5
Ilustración 13: Delimitación de la zona de estudio de la calle Avenida las palmeras	7
Ilustración 14: Descripción de la Secuencia Metodológica	22
Ilustración 15: Piel de Cocodrilo de Alta Severidad	31
Ilustración 16: Fisura de Bloque de Severidad Media	31
Ilustración 17: Bacheo	32

INTRODUCCIÓN

Importancia del Tema

En la actualidad las carreteras no brindan una movilidad motorizada adecuada, se puede dar por diferentes factores, uno de los más repetitivos es la congestión vehicular. Si bien es cierto, tener una vía en buen estado es un complemento para el crecimiento poblacional pero si por el contrario estas vías no son óptimas, se convertirán en un obstáculo, provocando que el desarrollo económico se vaya en decadencia (García et al., 2023).

El daño de las vías no solo provoca accidentes de tránsito, tiempo de viajes prolongados o reducción de la productividad diaria, sino que causa daño vehicular, específicamente daño en el sistema de suspensión del vehículo, lo que determina un aumento en el costo operacional. Por ello, una movilidad adecuada es en consecuencia, una excelente estructura de pavimento; cuando se utiliza el término "Excelente" nos referimos a que los espesores sean los adecuados para las diferentes capas como son: Capa de rodadura, base, subbase, todas ellas apoyadas en la subrasante.

Según (Cárdenas et al., 2023), en su investigación, detalla que los pavimentos comienzan a ser sometidos a acciones diversas, contribuyendo a su degradación, en consecuencia a esto, su deterioro depende de dos grupos de factores: Factores Pasivos, que hacen referencia a los materiales usados, espesor de las capas y la calidad de construcción, mientras que los

Factores Activos se refiere al tráfico y agentes climáticos. Así mismo más adelante propone evaluar el estado del pavimento a través de un algoritmo de cálculo de nota global, buscando como resultado que la conservación del pavimento sea funcional.

Actualidad de la Problemática

Con respecto al detalle que establece El Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Machala 2019-2030, da a conocer que el estado de la vía no es del todo óptimo, debido a la desinformación que se tiene.

El daño de las vías se da por la saturación de los vehículos y la carga pesada que soportan a diario, sin embrago, para entender a profundidad el daño que soportan, se debe realizar una evaluación superficial del pavimento, con el fin de obtener una información extraordinaria con respecto a la situación vial, y a su vez conocer sus causas para determinar soluciones (Maylle y Avila, 2023).

Por otro lado, el desempeño del pavimento se encuentra influenciado por varios factores: El factor ambiental, tráfico, la economía y distribución de tensiones, aquellos que se vuelven un desafío a la hora de la planificación y ejecución en la ingeniería vial. (Bayat et al., 2023).

Navarrete en su estudio da a conocer que el pavimento cuando es estable es capaz de soportar cargas repetitivas en forma y lisura, siempre y cuando se tenga como prioridad las especificaciones de estabilidad del pavimento, con el propósito de buscar que el volumen de tráfico no cause daño y a su vez reduzca el tiempo de vida útil (Pillaca et al., 2024).

La estructura de este trabajo se compone de 4 capítulos, que parten de la investigación realizada con respecto a la evaluación estructural del pavimento. En otras palabras, el capítulo uno, es el planteamiento de problema, parte de la base fundamental de la investigación, es decir, se fundamenta en la línea base del proyecto y la descripción de la situación problemática, donde se toma en cuenta las causas y efectos, formulación del problema a través de preguntas científicas, justificación y los objetivos de la investigación; en correlación al capítulo dos, denominado estado del arte, se encarga de presentar la redacción de los antecedentes contextuales, conceptuales y de referencias a través de artículos científicos, aquellos que se convierten en respaldo para poder fundamentar el trabajo actual en contribución de investigaciones precedentes. No obstante, el capítulo tres, llamado metodología, detalla el método de estudio, especificando la modalidad y el tipo de investigación que se ejecuta, del mismo modo aborda la población, teniendo en cuenta los métodos empíricos mecanistas utilizados. Por último, el capítulo cuatro, análisis e interpretación de resultados, se enfoca en validar la metodología aplicada para el caso investigativo de la ciudad de Machala, obteniendo como resultados diferencias significativas en los espesores de capa, e interpretando que las alternativas se deben basar en el uso y condición del pavimento.

CAPÍTULO I

Planteamiento del Problema

Línea Base del Proyecto

Los datos e información que se presentarán a continuación, pertenecen al (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cantón Machala, 2022)

Ubicación, límites y extensión

Machala se encuentra localizada al sur de la región litoral del Ecuador, es decir, en la costa ecuatoriana. Es llamada también como San Antonio de Machala, reconocida como el segundo puerto más importante de la República del Ecuador, llevándose el mérito de llamarse capital bananera del mundo. La constituyen 7



repositorio.utmachala.edu.ec

[https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/20868/1/ESPINOZA CALDERON ROSA AURORA.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/20868/1/ESPINOZA%20CALDERON%20ROSA%20AURORA.pdf)

parroquias urbanas: Puerto Bolívar, Jambelí, Machala, Jubones, La Providencia, El Cambio y 9 de mayo, y una parroquia rural: El Retiro.

□

Ilustración 1: Plano Territorial de la Ciudad de Machala

Fuente: DIPLAN Cía. Ltda

El cantón Machala se destaca por tener un movimiento económico estable, es decir, se mantiene siempre en un índice financiero de medio, lo que le permitía tener un crecimiento urbano pacífico, pero con el pasar de los años ha ido creciendo aceleradamente. Por ello, se vio en la necesidad de delimitar a la ciudad, tomando como referencia el cauce del río jubones, pese a que existieron algunos cambios repentinos por la causa del mismo, nada impidió que la red vial se ampliara, trayendo consigo mayor estabilidad económica para la capital bananera del mundo.

Población

Actualmente el área urbana del cantón Machala ha crecido espontáneamente de habitantes y a la vez ha surgido económicamente, ya que se determina según los censos que la población sería aproximadamente de 289.141 personas, representando un 96%, clasificándose de la siguiente manera: 49,08 % hombres y 50,92 % mujeres. Sin embargo, en el área urbana del cantón tiene una población mínima de habitantes, que representan el 4% de la ciudad.

Tabla 1: Población Cantonal

Sexo Área Urbana Área Rural Total

Hombre 136.234 5.676 141.910

Mujer 141.341 5.889 150.196

Total 277.575 11.566 289.141

Fuente: SNI – INEC 2010/Proyecciones 2020

Servicio de Educación

La educación cumple un papel fundamental dentro del crecimiento de una ciudad, puesto que, a raíz de aquello surgen grandes profesionales, que permitirán que la bella Machala de San Antonio, crezca no solo económicamente, sino también en sabiduría y conocimiento. Según la INEC 2010 existen 217.696 estudiantes y se clasifican dentro del rango de educación primaria y secundaria.

Por lo tanto, se destacan que dentro de la zona de estudio, se cuenta con dos instituciones educativas. La primera institución que es el colegio 9 de Octubre, se encuentra ubicado a 0.12 km en la Av. Las palmeras entre 25 de Junio y Rocafuerte. La segunda Institución, el colegio Ismael Pérez Pazmiño, se encuentra ubicado a 0.53 km en la Av. Las palmeras y General Manuel Serrano.

Ilustración 2: Institución Educativa, Colegio Fiscal 9 de Octubre

□

Fuente: Autor

Ilustración 3: Institución Educativa, Colegio Fiscal Ismael Pérez Pazmiño

□

Fuente: Autor

Uso de Suelo

Figura 4. Uso de Suelo del Cantón Machala (2000 - 2008)

□

Fuente: Google Earth Pro; PDOT-M 2015.

El uso del suelo cumple un papel fundamental a la hora de hablar de construcción, es bien conocido que Machala se destaca por tener un suelo urbano, es decir, se derivan en suelos consolidados, no consolidados, de protección y tratamientos urbanísticos, la función que cumple cada uno de ellos es para el bienestar de la población, ya que, un suelo consolidado contiene equipamientos e infraestructura necesaria para construir una edificación o urbanización, a diferencia de un suelo no consolidado que no contiene ningunas de estas opciones y más bien se necesita mejorar su intervención. La protección de suelos urbanos restringe las zonas que nos son aptas de construcción, cuidando de esta manera la vegetación, sin embargo, los tratamientos urbanísticos siguen una ley de protección acerca de la conservación, sostenimiento, renovación y mejoramiento integral (Rendon).

Ilustración 4: Uso de Suelo del Cantón Machala

Cobertura y Uso del Suelo 2000 2008 2011

Área (HA) % Área (HA) % Área (HA) %

Arbórea / arbustiva 3488.03 9.36 3252.90 8.73 4011.44 10.8

Camaroneras 7914.59 21.2 9160.17 24.6 8236.66 22.1

Cuerpos de Agua 1778.74 4.77 1778.74 4.77 1778.74 4.77

Otras tierras 542.05 1.45 459.09 1.23 0 0

Tierras Agropecuarias 18755.50 50.3 19890.86 53.4 19452.81 52.2

Vegetación arbustiva y herbácea 2943.23 7.9 89.93 0.24 0 0

Áreas Urbanas 1853.09 4.97 2643.54 7.09 3795.58 10.2

Total 37275.23 100 37275.23 100 37275.23 100

Fuente: IGM/SNI 2010

Geología

Los suelos geológicos del cantón Machala se los denominan a zonales plásticos de buena calidad en base a la agricultura, si bien es cierto, aumenta al desarrollo económico y productivo. Por otro lado, las llamadas arcillas marinas de estuario, forman parte de los suelos que se mencionó anteriormente, sin embargo, tuvieron afectaciones gracias a la contaminación minera y camaronera, lo que ha provocado que el suelo se vaya degradando poco a poco, dejándolo infértil.

Intensidad Sísmica

Las rocas que se encuentra bajo el subsuelo, son aquellas que restringe el movimiento telúrico del suelo, cuando estás sufren daños causados por el desprendimiento, rotura o acomodamiento provocan remesones o movimientos bruscos a la tierra, creando una alerta de peligro en la zona habitada, esto puede llegar a sentirse en diversos puntos de la zona afecta y en algunos lugares las ondas de desplazamiento pueden llegar a ser mayor que otras, provocando incluso daños en la infraestructura de viviendas, edificios y carreteras.

Movimientos en Masa

Se denomina así a los desplazamiento de rocas, provocando el cambio del contenido de humedad del suelo. En su mayoría, en carreteras de Montañana, provoca derrumbes e inestabilidad en la vía, lo que la determina como una vía deficiente, en las vías urbanas estos movimientos llegan a causar el llamado fenómeno de licuefacción del suelo, donde pierde su firmeza y estabilidad.

Susceptibilidad a la Erosión

La erosión en los suelos provoca que su capa superficial se vaya deteriorando, dejando de proporcionar a la vegetación los debidos nutrientes, lo que provoca una disminución en la productividad agrícola, perdiendo de esta manera el recurso alimenticio de la cosecha.

Situación Vial

La infraestructura vial nacional, es un apoyo del desarrollo económico de un país, pero si la misma es deficiente, se convierte en un obstáculo de ese desarrollo. Por ende, es indispensable que las vías se encuentren en buen estado, ya que el servicio de este medio permite el manejo económico y sustentable de una ciudad.

Tabla 3: Estado de las vías

Estado Longitud (Km) %

Muy bueno 21,82 1,88

Bueno 52,78 4,54

Regular 17,83 1,54

Malo 69,81 6,01

Sin información 999,02 86,03

Total 1161,25 100

Fuente: Estudios viales y de transporte de la ciudad de Machala, 2011

Se muestran los porcentajes del estudio vial y de transporte de la ciudad de Machala, en el cual se evidencia que, en la zona urbana, el porcentaje de cobertura vial en el estado de muy bueno es de 1,88%, el bueno es de 4,54%, el regular es de 1,54%, el malo es de 6,01%. Sin embargo, existe un porcentaje del 86,03% que se encuentra sin información con respecto al estado vial. Por lo que se puede determinar que cuentan con un alto porcentaje de desinformación acerca del estado de las vías, lo que hace que este medio de servicio a lo largo del período del tiempo se encuentre en malas condiciones.

□

Ilustración 5: Uso de Suelo

Fuente: Dirección de Planificación / Sección de Ordenamiento Territorial – GADMM 2020

Las vías urbanas ocupan el 57,19 % del territorio del cantón. Esto se relaciona con la presencia de la trama urbana de la ciudad. Mientras el 42,81 % corresponde a las vías rurales y de acceso al área urbana. De estas últimas existe un alto porcentaje clasificadas como caminos de verano y senderos o veredas, hecho que afecta la comunicación interna entre los sitios y la dificultad de acceder de manera rápida y efectiva a los principales centros de abastecimiento del cantón

Descripción de la Situación Problemática (Causa y Efectos)

El aumento de tráfico existente en la zona de estudio, se genera por la reducción de la velocidad de tránsito, provocando que incremente la capacidad vial existente, de esta manera se suscita un aumento en el tiempo de demora vehicular viéndose afectada la productividad diaria por el tiempo de viaje prolongado.

Por consiguiente, el deterioro acelerado de la calzada, es provocado por el desgaste de la capa de rodadura y la inadecuada instalación del sistema de subdrenaje, provocando que la vía urbana de la ciudad no sea transitable, causando la paralización del tráfico en un solo carril y la obstrucción movilitica de los servicios de emergencia.

No obstante, la falla en el mantenimiento vial, ocasiona que en el pavimento flexible se manifiesten fisuras y grietas superficiales; sin dejar por alto, la ausencia que existe en reparar los baches, provocando el aumento en el costo operacional, ocasionando el consumo adicional de gasolina y daño al sistema de suspensión del vehículo.

Finalmente, se determina lo siguiente: El análisis de causas y efectos directos mencionados anteriormente y la problemática central se basa en el árbol de problemas planteado acerca del inadecuado servicio de vialidad que presentan los usuarios que transitan en la Avenida las Palmeras desde la calle 25 de junio hasta la calle Manuel Estomba, vía urbana de la ciudad de Machala, lo cual ocasiona una función deficiente en la movilidad motorizada.

Ilustración 6: Árbol de Problemas

□

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 7:Grietas

□

Fuente: Autor

Ilustración 8:Inadecuado Sistema del Subdrenaje

□

Fuente: Autor

Ilustración 9:Reducción de la Velocidad de Tránsito

□

Fuente: Autor

Ilustración 10:Fisuración

□

Fuente: Autor

Ilustración 11:Desgaste de la Capa de Rodadura

□

Fuente: Autor

Ilustración 12:Aumento de la Capacidad Vial Existente

□

Fuente: Autor

Formulación del Problema: Preguntas Científicas

La capacidad vial de los conductores se ve directamente afectada por un inadecuado servicio de vialidad. Como resultado del mismo, la vía es más propensa a que sufra un deterioro en la capa de rodadura, inadecuado sistema del subdrenaje, paralización del tráfico y otros obstáculos que pueden causar la deficiencia en la movilidad motorizada. Además, un servicio de vialidad inadecuado puede ocasionar la reducción de la productividad diaria y prolongar el tiempo de viaje.

Por otra parte, el inadecuado servicio de vialidad puede tener algunas consecuencias, una de ellas se trata de la aparición de las fisuras y grietas en el pavimento, de tal manera que los conductores son los principales afectados, es decir, esta consecuencia provoca que los vehículos adquieran combustible adicional de lo ya establecido, provocando el aumento en el costo diario y a su vez disminuyendo sus ganancias. De la misma forma, afecta al sistema de suspensión.

El aumento de tráfico ha provocado el incremento en la capacidad vial existente, por lo que ha reducido la velocidad de tránsito de los vehículos. Esta situación ha tenido un impacto negativo en diversos aspectos, tales como: El deterioro de la capa de rodadura y el aumento de costo de operación.

Por lo tanto, analizando lo descrito anteriormente en la presente investigación se plantea el siguiente problema, ¿Los usuarios que Transitan por la Vía Urbana en el tramo de la Avenida de las Palmeras desde la calle 25 de junio hasta la calle Manuel Estomba reciben un inadecuado de servicio de vialidad?

Delimitación del objeto de estudio

El trabajo en cuestión analiza el inadecuado servicio de vialidad que tienen las vías urbanas de la ciudad de Machala, específicamente en el tramo de la Avenida de las Palmeras desde la calle 25 de junio hasta la calle Manuel Estomba.

Ilustración 13:Delimitación de la zona de estudio de la calle Avenida las palmeras

□

Fuente: openstreetmap

La carretera inicia con la calle principal "Las Palmeras" desde la calle secundaria Av. 25 de Junio hasta la calle Manuel Estomba, abarcando 0.72 km de vía que corresponde al límite urbano del cantón. No obstante, lleva consigo un ancho estimado de 4,59 m y una longitud de 736,36 m, es revestida en su mayoría por pavimento flexible.

Justificación

El estudio en curso se sustenta con una exhaustiva investigación bibliográfica, en la que se ha tomado en cuenta artículos científicos, proyectos de tesis publicados, el PDOT oficial de la ciudad de Machala, entre otros. Con el propósito de justificar la información recopilada acerca de las vías urbanas para el análisis del inadecuado servicio de vialidad en la ciudad de Machala.

La vía a estudiar es una de las principales de la ciudad, a través de ella se movilizan los vehículos de carga pesada que traen consigo mercadería de otras ciudades, la misma que es despachada en el puerto marítimo (Portuaria) de Puerto Bolívar, se toma en consideración esto, ya que, a través de este medio permite que la ciudad crezca en desarrollo económico, de modo que, es vital que las vías se encuentren en buen estado, para que el desarrollo económico no sea un obstáculo y más bien sea un sustento para la ciudad. Sin embargo, el inadecuado servicio de vialidad es uno de las problemáticas más grandes que presenta esta vía, lo que es preocupante tanto en la deficiente movilidad motorizada y el impacto que tendrá el desarrollo socioeconómico de la ciudad, dado que, el tiempo de demora vehicular provoca retrasos al lugar de destino e incluso accidentes de tránsitos en la vía.

Una evaluación estructural de pavimento sería eficaz para determinar el daño que sufre la vía a través de los vehículos con cargas pesadas, de manera que el mercado no se vea afectado y al contrario se motiven las empresas a surgir la economía de la ciudad, generando empleos y buscando mejorar la calidad de vida de las personas que residen en la misma. De esta forma, aumentar la seguridad vial para que los ciudadanos lleguen a tiempo al lugar de destino.

La importancia que se tiene al evaluar la estructura del pavimento es para mejorar la movilidad motorizada para los usuarios que transitan por esta vía. Si bien es cierto, una carretera en buen estado disminuye el tráfico y los accidentes vehiculares. No obstante, mejora la calidad de vida de los usuarios al facilitar el acceso a los servicios y oportunidades. De igual forma, una vía en buen estado disminuye el costo operacional permitiendo que sea una movilidad segura. Además, este documento tiene como finalidad obtener el título de Ingeniería Civil.

Objetivos: General y Específicos

Objetivo General

Evaluar la estructura del pavimento flexible en ciudades costeras, mediante el estudio de la capacidad vial y capa de rodadura para el mejoramiento de la movilidad motorizada en la ciudad de Machala.

Objetivos Específicos

Fundamentar conceptualmente la evaluación de la estructura del pavimento flexible mediante referencias bibliográficas que garanticen una movilidad motorizada eficiente en vías urbanas.

Analizar la capacidad vial y capa de rodadura mediante el trabajo de campo y laboratorio para una mejora en la fluidez del tránsito vehicular en el tramo de la Avenida de las Palmeras desde la calle 25 de junio hasta la calle Manuel Estomba.

Plantear alternativas en la estructura del pavimento flexible mediante los resultados obtenidos en el análisis de la capacidad vial y capa de rodadura para el mejoramiento de la movilidad motorizada en las vías urbanas.

CAPÍTULO II:

MARCO TEORICO

Antecedentes Contextuales

Micro

El crecimiento de un País, se desarrolla en el aspecto político, social, cultural y económico, siendo este último una parte esencial para el avance de una ciudad. Según algunos autores como es el caso de Zapata Rogel et al, en su investigación, determinan que las carreteras constituyen un pilar esencial en la economía y desarrollo de un país porque permiten la accesibilidad y movilización de personas o bienes a diferentes comunidades, por tal razón, es importante que la estructura vial se mantenga en estado óptimo garantizando un alto nivel de seguridad a todos los usuarios (Zapata et al., 2023; Zapata et al., 2023)

Si bien es cierto, la población ha tenido un rápido crecimiento, por ende, las demandas de movilidad y los problemas de seguridad vial requieren un diseño más estratégico que favorezca el desarrollo económico, social y ambiental. Por ende, una infraestructura vial adecuadamente diseñada es esencial para una conducción segura y sin interrupciones, lo que aumenta la confianza del conductor (González et al., 2023)

Por ello, Cedeño Vélez et, en su investigación determinó que las vías se construyen con diferentes tipos de pavimentos: Flexibles, rígidos, articulados o semirrígidos. Dando a conocer que, en Ecuador, los pavimentos flexibles son los más utilizados, por el simple hecho de que la compone una mezcla superficial asfáltica muy delgada. También, a través de este estudio se pudo conocer la capacidad resistente de la estructura del pavimento flexible en la ciudad de Portoviejo, lo hicieron a través del método de cálculo de espesores de pavimentos flexibles mediante la norma AASHTO-93 y con la Guía de diseño empírico mecanicista AASHTO-2004. Obteniendo como resultado que las estructuras diseñadas mediante ambos procedimientos, cumplen con los criterios de comportamiento, tanto agrietamiento, como deformación permanente. Sin embargo, una diferencia apreciable en los espesores, siendo significativamente menores en las estructuras calculadas mediante el procedimiento AASHTO 2004 en comparación con las diseñadas aplicando la Norma AASHTO-93 (Cedeño et al., 2023)

En otra ocasión, Vásquez Vargas et al, presentó una investigación con respecto a las vías de la Provincia de El Oro, dando a conocer que las estructuras viales no cumplen con los requisitos mínimos de construcción, considerando que existen sobredimensionamiento en los espesores de la estructura, lo que conlleva a que se reduzca la vida útil del proyecto y a su vez aumente los costos de construcción y/o mantenimiento. El método que se aplicó en este estudio fue el de la ASSTHO-93, el método analítico por fatiga y deformación. Obteniendo como resultado, que la mejor opción es proponer un modelo de optimización donde indique que la capa de rodadura será de espesor mayor a 9 cm, la base entre 10 y 15 cm, la subbase mayor a 20 cm, con una capa estabilizada de suelo-cemento de 15 cm (Oña y Veliz, 2024).

Meso

En países de América Latina, en especial Ecuador en su parte rural, cuentan con caminos sin pavimentar, lo que ocasiona una gran dificultad al momento de implementar soluciones de pavimento con materiales de construcción convencionales. Según Cuenca Borrero et al, en su estudio presenta un catálogo en dónde da a conocer las diferentes secciones de pavimentos predefinidas con un enfoque empírico-mecanicista, determinando los diferentes espesores de capas necesarios del paquete estructural, teniendo en cuenta la capacidad portante del suelo y la caracterización de los materiales. Resultando que las vías de bajo tráfico pueden ser rehabilitadas para que acojan el volumen de tráfico que existen en cada región (Flores de Valgas y Mogrovejo, 2023).

Los niveles de servicio y relación de volumen-capacidad resultan un análisis que se debe llevar a cabo en Ecuador, pues el congestionamiento vehicular se vuelve una problemática con respecto al daño que le provoca a la estructura del pavimento. Sin embargo, no existe información que hable acerca de la demanda vehicular, capacidad vial y mucho menos del nivel de servicio de las vías del país. Lo que provoca una desinformación al momento de querer implementar una solución (Peñañiel et al., 2023).

Siguiendo esta línea de estudio, se puede observar que la circulación del sistema integrado de transporte público es vital para mejorar la calidad de vida de los usuarios que transitan por aquella zona, por lo que, en definitiva, el análisis estructural del pavimento ayuda a evaluar las alternativas económicas y constructivas de un país, sin olvidar que se debe estimar los aspectos de diseño, teniendo en cuenta las características geotécnicas y de tránsito de la zona evaluada (Román et al., 2024)

Macro

En relación a lo anterior, el sistema de gestión de pavimentos y la evaluación económica de proyectos de carreteras han sido adoptados en los países en desarrollo. En consecuencia, a esto, se ha visto afectado el diseño del asfalto, esto se da por las tensiones que se ejercen en el pavimento, provocando fatigas, baches, surcos, parches, caídas de borde, entre otros, provocando que disminuya el tiempo de vida útil. Por ejemplo, Harinder et al, muestra una solución óptima en su investigación, aquella que se llevó a cabo en Hyderabad, Telangana, India. Propuso estimar el deterioro del pavimento a través del índice de rugosidad internacional basado en el HDM-4, obteniendo como respuesta el deterioro avanzado de la vía, tomando la decisión de aplicar un mantenimiento adicional para que el deterioro sea menos progresivo (Zambrano y Villacreses, 2023).

Por último, para mejorar la efectividad de la evaluación del pavimento, se debe tener en cuenta diferentes tipos de métodos, que permitan conocer las condiciones funcionales y estructurales de una sección de carretera, con el fin, de poder tomar decisiones para mejorar la efectividad del pavimento (Lilian y Martha, 2024).

Antecedente Conceptuales

Evaluación Geotécnica

Según (Hernández et al., 2022), en su análisis interpreta que la gestión de pavimentos es fundamental para conocer sus propiedades e indicadores. Sin embargo, en algunas ocasiones la evaluación geotécnica, es necesaria para identificar los espesores de las capas y sus características in situ. No obstante, la ubicación de los sondeos cumple un rol importante en el área de construcción, pues, dependiendo de la debilidad estructural y el nivel de degradación se tomará la decisión de hacer el ensayo destructivo o no destructivo.

Evaluación del Pavimento Flexible

De la Cuz Vega et al, establece que la evaluación del pavimento flexible proporciona información acerca del estado actual de un pavimento, permitiendo de esta manera tomar acciones oportunas e inmediatas según sea el caso. Además, propone dos tipos de evaluación de pavimento: Evaluación funcional que se relaciona con el confort del usuario y la evaluación estructural que tiene que ver con la capacidad de soporte de un pavimento frente a la carga vehicular. Por esta razón, conocer la evaluación de



repositoriotec.tec.ac.cr

https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/2238/9936/1/dimensionamiento_estructura_pavimento_calle_jsidro.pdf

la regularidad superficial del pavimento y del paquete estructural en cualquier periodo de su servicio o de la vida útil, permitirá definir las acciones de mantenimiento o rehabilitación necesarias en el momento

oportuno (De la Cruz et al., 2022).

Superficie del Pavimento

Es el contacto entre el neumático y el pavimento, rigiéndose por el mecanismo de fricción que está íntimamente relacionado con la condición de ésta y las propiedades del caucho del neumático, por lo que debe tener suficiente resistencia al deslizamiento para permitir que un vehículo que pasa sobre ella acelere y pare/frene de manera segura y cómoda. Siguiendo esta línea, la resistencia al deslizamiento, es aquella fuerza de fricción producida por la rotación de las ruedas sobre la superficie del pavimento, determinando así su valor único bajo un conjunto de pruebas identificando las características del pavimento en un momento dado puesto que evoluciona con el tiempo debido a los esfuerzos del tráfico, las condiciones climáticas y en ocasiones a una mala gestión de pavimentos. Conceptos que se deben tener claros al momento de construir un proyecto o a la vez de brindar soluciones a lo que ya existe (Muñoz y Zevallos, 2021).

Infraestructura Vial

Es un referente cuando trata acerca de la influencia en el progreso de una región, si bien es cierto, el estado de las vías disminuye la calidad del servicio, aumenta el costo de transporte y afecta la seguridad vial. En relación a lo anterior, la evaluación de la condición de pavimentos detecta las fallas que este presenta, por lo que, se puede esclarecer mejor el panorama y brindar soluciones acordes a lo evaluado (Ríos et al., 2020).

Capacidad Vial

Toma como referencia al máximo de vehículos que pueden pasar en un punto específico, pues bien, esto va a depender de las condiciones que tenga la carretera, es decir, la infraestructura vial, condiciones de tránsito y condiciones de control, aquellas que modifican la capacidad del sistema (Tarek et al., 2020).

Congestión Vehicular

Chamba González y Yaguana Condoy, en su investigación, definen que la aglomeración de vehículos se da por la capacidad vial insuficiente, lo que provoca no poder satisfacer la demanda vehicular, desencadenando diferentes tipos de causas tales como: Tiempos de espera, sonidos molestos, retraso en tiempos de viaje, contaminación ambiental, consumo de combustible y accidentes de tránsito. Si bien es cierto,



Documento de otro usuario

El documento proviene de otro grupo

La congestión vehicular es uno de los problemas que afectan la calidad de vida de la sociedad día con día. Ejemplo: La cantidad de vehículos que se acumulan en una vía, generando una obstrucción que dificulta la libre circulación y aumenta el tiempo de llegada de los vehículos a su destino (Chamba y Yaguana, 2023).

Pavimento

La Asociación de Administradores de Carreteras de los Estados Unidos (AASHTO: 1993) señala que: "Existen dos puntos de vista para definir un pavimento: El de la Ingeniería y el del Usuario." Desde la perspectiva de la Ingeniería: Lo describen como un elemento estructural el cual se encuentra apoyado en toda su superficie sobre el terreno defundición llamada subrasante (ASTM).

Subrasante

Es una de las capas más importantes, pues en ella se derivan las cargas vehiculares más pesadas. Por lo que, debe soportar un sistema de capas de espesores diferentes, denominado paquete estructural, este ha sido diseñado para soportar cargas externas durante un periodo determinado de tiempo.

Capa de Rodadura

El pavimento está conformado por diferentes capas, uno de ellas es el de la capa de rodadura, esta puede verse directamente afectada por los vehículos de carga pesada. No obstante, se ubica en la parte superior del pavimento que se la puede describir de diferentes tipos, bituminoso (flexible), concreto cemento portland (Rígido) o a su vez de adoquines, siempre que cumplan con la función de sostener el tránsito en la ciudad.

Base

Se la conoce como la capa inferior de la capa de rodadura o segunda capa, cumple con la



hdl.handle.net | Control del nivel freático superficial mediante el uso de material granular en pavimentación -Av. Cultura - Tres de Diciembre - Chupaca

<https://hdl.handle.net/20.500.12848/1820>

función de sostener, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por



hdl.handle.net | Evaluación de la Aplicación de los Métodos A, B Y C del Ensayo Proctor Modificado en los Agregados de las Canteras Estrella, Pumpunya, Mitupampa - Ch...

<https://hdl.handle.net/20.500.12848/526>

el tránsito.

El material que la conforma es granular drenante (CBR \geq 80%) o puede ser tratado con asfalto, cal o cemento.

Subbase

Capa con un material especificado y un espesor de diseño exclusivo, cumple con el rol de soportar la carga de la base y carpeta. Además, cumple con el rol de



Documento de otro usuario

El documento proviene de otro grupo

capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Esto va a depender del tipo de diseño y dimensionamiento del pavimento, sin embargo, esta capa puede obviarse. El material que la conforma es granular (CBR \geq 40%) o tratada con asfalto, cal o cemento

(Baque, 2020).

Pavimento Asfáltico

En la mayoría de los países, si es que no es en todos, utilizan el pavimento asfáltico, esto se da por su buen rendimiento, valor relativamente bajo y su proceso fácil. Esta muestra bituminosa según Orlando Jefferson et al, dice que está conformado en esencia por la unión de cemento asfáltico, áridos y relleno. Sin embargo, con el pasar el tiempo se va desintegrando por los diversos factores ambientales y la carga pesada que recibe a diario (Orlando et al., 2022).

Cargas Vehiculares

El ministerio de obras públicas (Mop), esclarece que las cargas vehiculares que el contratista opera sobre las bases, pavimento o estructuras dentro del proyecto, no deben sobrepasar los límites fijados en las leyes y reglamentos pertinente en vigencia, exceptuando que se estipule lo contrario en los documentos contractuales (MOP - 001-F 2002, 2002).

Resistencia al Deslizamiento

Es una medida de fricción que se obtiene bajo condiciones específicas y estandarizadas, se da debido al tráfico y condiciones climáticas. Con el fin de ayudar en la optimización de la materia prima antes de la construcción de la vía y durante el tiempo de vida útil, programando trabajos de mantenimiento y reparación (Do et al., 2020).

Antecedentes Referenciales

En la presente investigación, se empleará diferentes enfoques metodológicos entre los cuales se encuentra Cuenca Barrero et al, con su estudio: "En vías de Bajos Volúmenes de Tráfico en la Provincia de Manabí", en el cual presenta un catálogo de secciones de pavimentos predefinidas, pero lo desarrolla con una metodología empírico-mecanicista, en dónde determina los espesores de capas necesarios del paquete estructural. Obteniendo como respuesta que los enfoques empírico-mecanicista con el apoyo de programas informáticos permiten evaluar la respuesta de la estructura, fundamentándose en el cuidado de la cimentación de las diferentes deformaciones que se presenten, variando el espesor de la capa base granular, limitando la deformación vertical en la parte superior de la cimentación teniendo en cuenta los factores de diseño de la región (Cuenca Borrero et al., 2023).

La evaluación estructural del pavimento es importante a emplear en esta investigación, por ello, American Society for Testing and Materials (ASTM), en su estudio "



repositoriotec.tec.ac.cr

https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/2238/9936/1/dimensionamiento_estructura_pavimento_calle_isidro.pdf

Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index

Surveys¹", determina el tipo, cantidad y severidad del deterioro del pavimento, utilizando el método del Pavement Condition Index (PCI) (SACHIN et al., 2021).

El análisis de los espesores con respecto a lo que propone la norma, es parte de este estudio, según Vásquez Vargas et al, en su estudio "Modelo De Optimización De Estructuras Viales", presenta el desarrollo de modelo de optimización de espesores de pavimento, estableciendo la subrasante con cemento para mejorar de esta forma las propiedades mecánicas del suelo y a su vez la resistencia a las condiciones climáticas en las vías. Aplicando el método de análisis y diseño con el método ASSTHO 93 y el análisis del método analítico por fatiga y deformación. Obteniendo como resultado que la deformación tangencial dentro de la capa de asfalto. La fatiga indica un tráfico admisible inferior al tráfico de diseño por lo que la carpeta asfáltica fallará antes de lo calculado (Vásquez et al., 2023).

Otro método a emplear es el que presenta Zadehmohamad et al, en su estudio: "Evaluating long-term benefits of geosynthetics in flexible pavements built over weak subgrades by finite element and Mechanistic-Empirical analyses", en dónde evalúa los beneficios del refuerzo geo sintético en pavimentos flexibles construídos sobre subrasantes débiles, utilizando la metodología de elemento finitos (FE), resultando que la mejora/beneficio de los pavimentos flexibles reforzados debido al refuerzo geosintético se demuestra comparando los resultados de secciones similares de pavimento no reforzado (Mehdi et al., 2022).

El método que se empleó en el "System reliability-based design optimization of flexible pavements using adaptive meta-modelling techniques" fue acerca de la optimización del Diseño Basado en la Confiabilidad del Sistema (SRBDO), en donde se predefinió la combinación óptima de espesores y módulos de capas de pavimento, de esta forma cumpliendo con los niveles objetivo de confiabilidad, para Integra eficientemente el análisis económico de varias alternativas de diseño de pavimentos con el procedimiento Mecánico-Empírico en un marco de confiabilidad del sistema (Deepthi y Sivakumar, 2023).

No obstante, Hochmair et al, en su estudio realizó el proceso de imágenes aéreas para producir estimaciones del índice de condición del pavimento (PCI), aquellas que se clasifican en cuatro escalas de Bueno (PCI 70), Regular (50 PCI < 70), Malo (25 PCI < 50), y Muy Pobre (PCI < 25), con el fin demostrar que la mejor precisión de validación tiene el mejor rendimiento de precisión de prueba de 0,97, y precisión promedio ponderada, recuperación y puntuación F1 de 0,98, 0,97 y 0,97, respectivamente (Sisi et al., 2023). Haga clic o pulse aquí para escribir

texto.

En el caso de Solativan et al, en su investigación dio a conocer que la metodología acerca de diseño AASHTO y Mecanístico-Empírico (ME). El TBR (Relación de beneficio del tráfico) y el BCR (Reducción de la capa base) son dos coeficientes que generalmente se han empleado en el enfoque de diseño de AASHTO para tener en cuenta el efecto de refuerzo de las capas geosintéticas, obteniendo como respuestas del sistema reforzado en ubicaciones críticas del sistema de pavimento. La geometría de modelos constitutivos de la mezcla asfáltica y del geosintético y el tipo de carga se identifican como factores que influyen y controlan la precisión del método de diseño (Ehsan et al., 2020).

Finalmente, "Evaluation of Flexible Pavement Performance Based on HGM-4 and International", evalúa el desempeño funcional del pavimento en tránsito con el objetivo de conocer cómo se deteriora la estructura del pavimento debido al aumento del tráfico. En esta ocasión, utilizó el método International Roughness Index (IRI), determina la rugosidad y el parámetro de referencia con respecto a la medición de la calidad de rodadura. Concluyendo que la predicción de la vida del pavimento a 10 años en términos de valores IRI reveló la falla de tramos viales por deterioro durante el periodo de 10 años con y sin mantenimiento, además ayuda en la toma de decisiones para aplicar un tratamiento demantenimiento adicional de estas rutas particulares (Harinder et al., 2023).

Tabla 4: Análisis Comparativo de Metodología para la Evaluación de la Estructura del Pavimento

Título Autores Método Conclusiones Referencias

Catálogo para el Diseño de Pavimentos Flexibles en Vías de Bajos Volúmenes de Tráfico en la Provincia De Manabí Cuenca, E. Hernández, F. Moll, R. Enfoque empírico mecanicista de los espesores de capas necesarios del paquete estructural. Se empleó el software ALIZE LCPC versión 1.5.0, el cual permitió obtener la respuesta de los distintos paquetes estructurales Establecer un catálogo con soluciones estructurales para el diseño de proyectos de construcción rehabilitación de vías de bajo volumen de tráfico en la región. Cuenca Borrero et al., 2023



repositoriotec.tec.ac.cr

https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/2238/9936/1/dimensionamiento_estructura_pavimento_calle_isidro.pdf

Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index

Surveys1 ASTM Pavement Condition Index (PCI) Determina el tipo, cantidad y severidad del deterioro del pavimento SACHIN et al., 2021

Modelo de Optimización de Estructuras Viales Vásquez, J. Medina, Y. Sánchez, C. Carrión, L. Cálculo de espesores en base al Método AASHTO 93. Demostrando simulaciones donde se analizan los valores de fatiga y deformación, de la capa de rodadura y deformación vertical admisible de la subrasante Deformación tangencial dentro de la capa de asfalto. La fatiga indica un tráfico admisible inferior al tráfico de diseño por lo que la carpeta asfáltica fallará antes de lo calculado. Vásquez Vargas et al., 2023

Evaluating long-term benefits of geosynthetics in flexible pavements built over weak subgrades by finite element and Mechanistic-Empirical analyses Zadehmoha, M. AbuFarsakh, Murad. Modelos de elementos finitos (FE), evaluó los beneficios del refuerzo geosintético en pavimentos flexibles construidos sobre subrasantes débiles Determinan secciones similares de pavimento no reforzado. Zadehmohamad et al., 2022

System reliability-based design optimization of flexible pavements using adaptive meta-modelling techniques Dilip, MSivakumar, G. Optimización del Diseño Basado en la Confiabilidad del Sistema (SRBDO), diseñar la combinación óptima de espesores y módulos de capas de pavimento, para cumplir con los niveles objetivo de confiabilidad, dada la demanda de tráfico esperada y la resistencia de la subrasante en un sitio de pavimento. Integra eficientemente el análisis económico de varias alternativas de diseño de pavimentos con el procedimiento Mecanístico-Empírico en un marco de confiabilidad del sistema. Dilip & Sivakumar Babu, 2023

A review on mechanical behavior and design considerations for reinforced-rehabilitated bituminous pavements Solatyan, E Bueche, NCarter, A Efectos mecánicos de los geosintéticos en los métodos de diseño AASHTO y Mecanístico-Empírico (ME). El TBR (Relación de beneficio del tráfico) y el BCR (Reducción de la capa base) son dos coeficientes que generalmente se han empleado en el enfoque de diseño de AASHTO para tener en cuenta el efecto de refuerzo de las capas geosintéticas Respuestas del sistema reforzado en ubicaciones críticas del sistema de pavimento. La geometría de modelos constitutivos de la mezcla asfáltica y del geosintético y el tipo de carga se identifican como factores que influyen y controlan la precisión del método de diseño

PCler: Pavement Condition Evaluation Using Aerial Imagery and Deep Learning Hochmair, HHan, SisiChung, In-HunJiang, YuhanUwakweh, Benjamin Procesar imágenes aéreas y producir estimaciones del índice de condición del pavimento (PCI), que se clasifican en cuatro escalas de Bueno (PCI 70), Regular (50 PCI < 70), Malo (25 PCI < 50), y Muy Pobre (PCI < 25). Las comparaciones de rendimiento demostraron que la mejor precisión de validación tiene el mejor rendimiento de precisión de prueba de 0,97, y precisión promedio ponderada, recuperación y puntuación F1 de 0,98, 0,97 y 0,97, respectivamente Sisi et al., 2023

Evaluation of Flexible Pavement Performance Based on HGM-4 and International Roughness Index D. Harinder, P. Anusha, A Ramesh Método IRI, deterioro de la superficie como surcos, parches, grietas y deshilachado y las características geométricas de las vías mediante el equipo denominado "Road Sistema de Medición y Adquisición de Datos (ROMDAS)." Programa HDM-4 y KENLAY para predecir qué tan flexible es Pavimento a 10 años en términos de valores IRI reveló la falla de tramos viales por deterioro durante el periodo de 10 años con y sin mantenimiento. Harinder et al., 2023

Fuente: Autor

CAPÍTULO III:

METODOLOGÍA

Modalidad Básica de la Investigación

La propuesta temática "Evaluación Geotécnica de Pavimento Flexible en Vías Urbanas de Machala, un Enfoque para Ciudades Costeras, Aplicando la Metodología Empírico Mecanista" es de índole descriptivo, cualitativo y cuantitativo; a través de estudios, simulaciones en software acerca del paquete estructural y evaluación de fatiga, investigación bibliográfica, artículos, libros, normativas.

Tipo de Investigación

En el transcurso de encontrar información de valor, se desarrolló tres enfoque de investigación tales como: Documental, campo y descriptiva.

Investigación Descriptiva

Se enfoca en hallar información relacionada a la zona de estudio, con el fin de evaluar el estado del pavimento utilizando el método PCI (Paviment Condition Index) (Tello-Cifuentes et al., 2021). Por consiguiente, mediante el programa ALIZE - LCPC, modelar los datos obtenidos de evaluación y degradación para brindar un adecuado servicio de vialidad (Claudia et al., 2023).

Investigación Documental

Emplea como base una muestra significativa de textos, que con el paso del tiempo recopilan y analizan información mediante lectura de documentos, libros, revistas, tesis, maestrías, facilitando datos en relación al software ya mencionado (Morgan, 2022). Con el fin de conocer las falencias que tiene la vía y a raíz de aquello, presentar una eficiente movilidad motorizada.

Investigación Experimental

Se fundamenta en la manipulación intencional de la variable independiente y del impacto de una variable dependiente acerca de un estudio investigativo. Por lo que, elaborar ensayos de CBR en el laboratorio, ayuda a obtener los datos precisos acerca del estado de la estructura del pavimento, de esta manera se puede identificar el problema, establecer una hipótesis, recopilar y analizar datos, y a su vez interpretar los resultados (Ramos, 2021).

Objeto de Estudio

El propósito del estudio, se centra en evaluar el pavimento flexible en vías urbanas para identificar la escala de servicialidad, teniendo en cuenta los datos obtenidos de los métodos aplicados para la mejora de la movilidad motorizada para los usuarios que transitan por estas vías.

Población

El trabajo en cuestión, analiza el inadecuado servicio de vialidad que tienen las vías urbanas de la ciudad de Machala. Esta investigación va dirigida a los habitantes que residen en el tramo de la Avenida de las Palmeras desde la calle 25 de junio hasta la calle Manuel Estomba, abarcando 0.72 km de vía que corresponde al límite urbano del cantón.

Métodos Teóricos y Empíricos con los Materiales Utilizados

Se enfoca en recolectar información mediante artículos científicos, que respalden las bases teóricas y técnicas del estudio que se lleva a cabo. No obstante, facilita los métodos y análisis con respecto a la "Evaluación Geotécnica de Pavimento Flexible en Vías Urbanas de Machala, un Enfoque para Ciudades Costeras, Aplicando la Metodología Empírico Mecanista".

El método empírico mecanista, se encarga de analizar estructuralmente el pavimento a través de ciertos criterios establecidos, con el fin de obtener como resultado un buen desempeño estructural. Tal como, la capacidad portante de la subrasante (CBR), según (Mamami et al., 2022) permite conocer a través de muestras de suelo, cuánta carga puede llegar a soportar sin que se provoque un daño adicional; seguidamente, el criterio de Condición de Pavimento (capa de rodadura), determina los niveles de serviciabilidad del pavimento a través de una revisión superficial, midiendo el área de daño y reconociendo el tipo de deterioro que se encuentra en la vía (Boris et al., 2021). A continuación. El Drenaje del Pavimento, evita erosiones y reduce el desgaste acelerado de la vía, por ello, dentro del análisis constructivo se debe tener en cuenta un sistema urbano de drenaje sostenible, para evitar riegos accidentales (Eduardo et al., 2022); luego, La granulometría del material granular, se define en la compactación del suelo, mejorando la resistencia del pavimento, pese que, es vital mencionar que la cohesión de asfaltos y agregados derivados, afectando la resistencia al desgaste (Ignacio et al., 2021). Posteriormente, la densidad y compacidad del pavimento, son factores que afectan la resistencia y capacidad estructural del pavimento, pese a que ambas tienen su propio concepto, se dice que entre mayor densidad exista, mejor será la capacidad de carga (Hugo et al., 2021).

En base a los criterios, se establece si se cuenta con información de campo, en el caso de que si se cuenta, se emplea un análisis estadístico como por ejemplo: Desviación estándar y aplicación del análisis estadístico (ANOVA). Por el contrario, si no se cuenta con datos de campo, se recomienda que inicie con los ensayos in situ, incluyendo CBR, placa de carga dinámica, evaluación del sistema de drenaje, granulometría, ensayo Proctor modificado y medición de la resistencia a la fatiga de la capa de rodadura. Con el fin de evaluar los espesores de capa del paquete estructural, arrojando información precisa acerca del desempeño que cumple el pavimento en la vía.

□

Ilustración 14: Descripción de la Secuencia Metodológica

Fuente: Elaboración Propia

Método Empírico

A través de una supervisión eficiente, se aspira conocer las condiciones superficiales en que se encuentra el pavimento. Pese que, en la actualidad se han identificado algunas fallas, estas serán clasificadas y evaluadas, de forma que se obtenga la capacidad portante de la subrasante (CBR)

Mediante los ensayos de CBR ejecutados, se pueda recopilar información sobre la resistencia del suelo, la capacidad portante de la subrasante, la durabilidad del pavimento bajo condiciones locales de tráfico y ambiente. De forma que se establezcan las muestras y porcentajes del CBR.

Método de Evaluación

La evaluación del pavimento flexible en la zona de estudio, ha demostrado la condición en que se encuentra actualmente, sin dejar a un lado las causas que provocan el deterioro en la capa de rodadura. A continuación, se presentan criterios para evaluar el pavimento flexible:

Capacidad Portante de la Subrasante (CBR)

De acuerdo a lo expresado por (Bojacá y Campagnoli, 2022) en su investigación, dan a conocer que el California Bearing Ratio (CBR) puede ser una opción económica y sencilla para determinar el módulo resiliente (M_r) de suelos blandos, aquellos que se encuentran en la subrasante. Por ello, existe un nivel de medición entre el valor de cbr y el soporte del suelo. El rango promedio en el que se debe de evaluar es el siguiente: Para los cbr que tengan menor al 3% se los denomina bajos, mientras que para los cbr del 4% al 9% se los cataloga como mediano. Por el contrario, los que se encuentran mayor al 10%, se los ubica en un nivel alto.

Condiciones del Pavimento (Capa de Rodadura)

(Cárdena, 2024) en su estudio, desarrolla un tipo de modelo predictivo en dónde evalúa la estructura del pavimento y determina las condiciones de la carpeta asfáltica en relación a la capa de rodadura. Por lo tanto, su indicador, verifica si pasa los niveles de fatiga, es decir, existen niveles entre un mínimo y máximo pero el rango aceptable de fatiga debe ser $\leq 200 \mu\epsilon$ (Microstrain), lo que significa que debe tener un espesor mínimo 5 cm

Drenaje del Pavimento

Siguiendo esta línea de pensamiento, (Alaneme et al., 2021) su documento da a conocer la importancia de instalar correctamente el sistema de drenaje, puesto que, el no darle la validación correspondiente hará que el pavimento sufra una falla prematura debido a la alta acumulación de contenido de humedad. Pese a ello, se recomienda que durante la construcción de la vía, se tome en cuenta el estudio topográfico como también la evaluación de las precipitaciones anuales o como en este caso, rediseñar el sistema de drenaje y reconstruir la carretera fallida. Dentro de los criterios de evaluación, la medición del drenaje se basa en un método observatorio, en dónde se toma como satisfactorio: La vía que se encuentra sin agua acumulada.

Granulometría del Material Granular

Por otro parte, el análisis granulométrico cumple un papel fundamental en la rama de la ingeniería civil, específicamente en el área de geotecnia, debido a la necesidad de comprender el comportamiento del suelo como: Cimentación, pavimento y terraplenes, ya sea que, se encuentre expuesta a varias condiciones y aplicaciones (Gutiérrez, 2023). No obstante, es vital seguir rigurosamente el cumplimiento de las normas, como es el caso de la norma American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), aquella que maneja las directrices del diseño y construcción de carreteras, permitiéndose clasificar los suelos de manera eficiente con calidad y consistencia (AASHTO, 2021). Por esta razón, su rango de medición se basa en los porcentajes de los tamaños de partículas, si se lo cataloga como fino, le corresponde un porcentaje del 5%, partículas medianas con valor del 15%, finalmente partículas gruesas dentro del 80%.

Tabla 5: Masa mínima de la muestra de prueba por tamaño de tamiz

Tamaño de tamiz retenido Masa mínima de la muestra de prueba inicial (g)

3,75 mm (1 1/2 pulg) 10000 (± 50)

19,0 mm (3/4 pulg) 5000 (± 50)

12,5 mm (1/2 pulg) 2000 (± 50)

9,5 mm (3/8 pulg) 1000 (± 50)

4,75 mm ($n^{\circ}4$) 750 (± 25)

1,19 mm ($n^{\circ}16$) 300 (± 10)

Fuente: Elaboración propia

Densidad y Compacidad del Pavimento

En relación con lo anterior, la densidad y compacidad del suelo cumplen un papel fundamental a la hora de hablar de pavimento flexible, puesto que, ambos son factores que tienen que ver con la capacidad de carga de suelo, resistencia y permeabilidad de agua, es decir, la densidad va en relación al peso y volumen del suelo, mientras que, la compacidad se define como una medida de la proximidad entre partículas del suelo. Ambos, permiten conocer las variaciones del suelo a profundidad. Tal como es el caso de (Marco y Ronald, 2023) en su análisis geotécnico con respecto a la implementación de una base de cimentación de 7 torres, dan a conocer que los suelos se componen de arenas consolidadas tipo sp, con una compacidad que puede variar entre medianamente densa y densa, lo que significa que proporcionan suelos de baja resistencia y con futuros problemas de asentamientos. Asimismo, cuando se realizan los ensayos de procto modificado, el valor $>95\%$ se lo establece como Alto, mientras que los rangos de 85-95%, se los clasifican como medianas y finalmente el promedio $<85\%$ es bajo.

Tabla 6: Criterios de Evaluación

Criterio Definición Indicador Nivel de Medición Unidad de Medida Índice Rango/Valor

Capacidad Portante de la Subrasante (CBR) Resistencia del suelo evaluada mediante el ensayo CBR (California Bearing Ratio), indicador directo de la capacidad de soporte. Valor de CBR Baja, media, alta Porcentaje (%) Relación entre el valor de CBR y el soporte del suelo (Huaman et al., 2024) Baja: $<3\%$, Media: 4%-9%, Alta: $>10\%$

Condiciones del Pavimento (Capa de Rodadura) Estado de la capa asfáltica en función de su espesor y resistencia a la fatiga bajo tráfico repetido y condiciones ambientales. Espesor de la capa y resistencia a la fatiga Mínima, media, alta Centímetros (cm) / Microstrain ($\mu\epsilon$) Verificar fatiga (Zapata et al., 2024) Fatiga aceptable $\leq 200 \mu\epsilon$, Espesor mínimo 5 cm

Drenaje del Pavimento Capacidad del sistema de drenaje para evitar la acumulación de agua en el pavimento. Presencia de agua en la superficie y en la subrasante Satisfactorio, regular, deficiente Observación visual Buen sistema de drenaje evita daños por humedad (Felis et al., 2023) Satisfactorio: sin agua acumulada

Granulometría del Material Granular Distribución del tamaño de partículas en la subbase y base, que influye en la capacidad de soporte del pavimento. Curva granulométrica Fina, media, gruesa Porcentaje en tamiz ASTM D2487 (Morales et al., 2023) 5% Fino, 15% Medio, 80% Grueso

Densidad y Compacidad del Pavimento Nivel de compacidad del pavimento en capas de base y subbase, esencial para la estabilidad del pavimento. Densidad in situ (Prueba Proctor modificado) Alta, media, baja g/cm^3 Densidad máxima del Proctor (Madsen et al., 2024) Alta: $>95\%$ Proctor, Media: 85-95%, Baja: $<85\%$

Fuente: Autor

Según la MTOP 2015: "Normativa para el diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos", clasifican las categorías de la subrasante de la siguiente manera: Para valores de CBR < 3%, se lo denomina inadecuado (S0), mientras que los del 3% ≥ CBR < 6% son Pobres (S1), de la misma forma los rangos de 6% ≥ CBR < 10%, son suelos regulares (S2), avanzando con el 10% ≥ CBR < 20% se los cataloga como buenos (S3), además el 20% ≥ CBR < 30% son suelos de muy buena calidad (S4) y finalmente los suelos denominados Excelente (S5) por su valor de CBR ≥ 30%.

Tabla 7: Escala de Clasificación de las Categorías de la Subrasante – CBR

Tipo Categoría de la Subrasante CBR

S0 Inadecuada CBR < 3%

S1 Pobre 3% ≥ CBR < 6%

S2 Regular 6% ≥ CBR < 10%

S3 Buena 10% ≥ CBR < 20%

S4 Muy Buena 20% ≥ CBR < 30%

S5 Excelente CBR ≥ 30%

Fuente: MTOP 2015

El índice de condición del pavimento también clasifica a la vía dependiendo del estado en que se encuentre, puesto que, para suelos "Excelentes" se encuentra en un rango de 86-100, mientras el suelo baja su categoría, de la misma manera lo hará su valor de rango estimado.

Tabla 8: Evaluación del PCI

PCI Clasificación

86 – 100 Excelente

71 – 85 Muy Bueno

56 – 70 Bueno

41 – 55 Regular

26 – 40 Pobre

11 – 25 Muy Pobre

0 – 10 Fallado

Fuente: ASTM 5340

Procedimiento de los Datos Obtenidos

Además de lo expuesto anteriormente, otro punto crucial es la importancia del análisis estadístico de los resultados obtenidos a través de los métodos empíricos que se pusieron en práctica; cabe señalar que la visita in situ dio a conocer el deterioro de la vía, en consecuencia a esto se debe de emplear el método de PCI, donde lo principal es la Capacidad Portante de la Subrasante (CBR). En términos más específicos, en el transcurso de este análisis se realizó ensayos alternativos, producto de aquello se obtuvo: La resistencia del suelo, capacidad portante de la subrasante y la durabilidad del pavimento bajo condiciones locales de tráfico y ambiente.

CAPÍTULO IV

Análisis e Interpretación de Resultados

Evaluación Geotécnica del Pavimento Flexible en la Zona de Estudio

En síntesis a la metodología propuesta en el CAPÍTULO III, con respecto a los diferentes criterios establecidos para evaluar el pavimento flexible, es fundamental continuar con la aplicación de cada criterio.

Para el criterio de la capacidad portante del suelo (CBR), los resultados obtenidos de CBR, se tiene dos muestras y cada una de ellas tiene su propia media establecida, para la muestra 1: 2.10%, según los criterios de evaluación establecidos se dice que se debe de clasificar como bajo, puesto que se encuentra por debajo del valor de 3%, lo que indicaría que su capacidad de soporte es limitada y podría causar inestabilidad en el pavimento. Por otro lado, la muestra 2: 4.20%, lo toma como un rango medio, puesto que se ubica entre los valores de 4% al 9%, determinando que tiene un soporte de suelo moderado y se aplicaría en vías con un nivel de tráfico bajo.

Asimismo, la condición de pavimento para el CBR 2.10% se lo toma como bajo, ya que tiene un soporte de capacidad limitado, lo que ocasionaría fallas en el pavimento, puesto que, depende de la estabilidad de su espesor y base, mientras que el CBR 4.20% tiene una capacidad portante media, lo que significa que tiene una subrasante más estable, con una resistencia a la fatiga buena. El drenaje de pavimento para el primer cbr, detalla que existen niveles de humedad altos, puesto que la presencia de agua acumulado en el pavimento reduce la resistencia y la vuelve deficiente, mientras que para el segundo, si muestra presencia de agua pero nada alarmante como el primer caso.

Por consiguiente, la granulometría del material granular para el caso 1: CBR 2.10%, detalla que existe una mayor presencia de partículas finas (menores al tamiz N°200), lo que reduce la capacidad de soporte y afecta al sistema de drenaje, clasificándose como fina a media, con problemas de soporte. Sin embargo, para el caso 2, tiene granulometría mejor graduada, lo que significa que tiene una combinación de partículas gruesas y finas, lo que favorece la estabilidad tomando en cuenta el drenaje del suelo, clasificándose como media a gruesa, con un mejor nivel de desempeño.

Finalmente, la densidad y compactación del pavimento, para el caso 1: Se dice que tiene una subrasante insuficiente. Con una compactación baja que no alcanza ni el 85% de la densidad máxima del Proctor, lo que se convierte en un riesgo de asentamientos provocando fisuración y deformaciones permanente. En el caso 2: Es una compactación adecuada, dentro del promedio del 85% al 95% de la densidad máxima del Proctor, catalogándola como insuficiente para proporcionar estabilidad en el pavimento. Sin embargo, a diferencia del primer caso, sí ayuda a mitigar deformaciones y fallas en el pavimento temprano.

Obtención de Datos en la Zona de Estudio

Según la (NORMA ASTM D 5340, 2005), determina en su libro que existen aproximadamente 16 o más tipos de fallas o enfermedades que se pueden presentar en el pavimento durante su tiempo de vida útil.

Tabla 9: Clasificación de los Deterioros de Degradación de un Pavimento

Tipos Nivel de Severidad

Piel de Cocodrilo Deterioro Estructural mayor

Bajo: Grietas que no presentan desprendimiento en el material Medio: Fallas de Interconexión Alto: Grietas con desprendimiento del material, causa peligro potencial

Exudación No se define grados de severidad

Fisura de Bloque En consecuencia a cargas de tráfico repetitivas

Bajo: Grietas representan un poco o ningún desprendimiento en el material Medio: Grietas selladas o vacías con un moderado desprendimiento Alto: Grietas con desprendimiento del material, causa peligro

Ondulación El tráfico combinando arroja como resultado una superficie inestable

Bajo: Menores, no interfiere en la calidad de la circulación Medio: Notables, interfiere significativamente en la calidad de la circulación Alto: Notorias, interfiere severamente la calidad de circulación

Depresión Asentamientos del terreno que ocasionan desniveles y causan hidroplaneo

Bajo: Afecta ligeramente la circulación y causa un potencial problema de hidroplaneo Medio: Afecta moderadamente la circulación y causa un potencial peligro de hidroplaneo Alto: Afecta severamente la circulación y existe un potencial peligro de hidroplaneo

Erosión por Chorro de Turbina No se define grados de severidad

Fisuras por Reflexión de Juntas Daño por cambios térmicos y de humedad

Bajo: Poco desprendimiento de material Medio: Moderado desprendimiento de material Alto: Gran desprendimiento de material

Fisuras Longitudinales y Transversales No se producen por repetición de carga

Bajo: Poco desprendimiento de material Medio: Moderado desprendimiento de material Alto: Gran desprendimiento de material



alacpa.org

https://alacpa.org/index_archivos/alacpa2009-2.pdf

Capas Porosas de Alto Grado de Fricción (Porous Friction Courses)

Bajo: El área promedio desmoronada con ancho menor a 1/4 in. (6 mm) Medio: El área promedio desmoronada con ancho menor a 1 in. (25 mm)

Deterioro por Derrame de Combustible No se define grados de severidad

Bacheos Defecto sin importar su perfecto estado

Bajo: Buenas condiciones y funcionamiento satisfactorio Medio: Deteriorado y afecta la calidad en la circulación Alto: Muy

deteriorado y afecta la calidad del andar de forma significativa

Agregados Pulidos No se define grados de severidad

Peladura y Efecto de la Intemperie Desgaste del pavimento

Bajo: Poco peligro potencial Medio: Algún peligro potencial Alto: Alto peligro potencial

Ahuellamiento Falla estructural en el pavimento

Bajo (L): (6 a 13 mm) Medio (M): (13 a 25 mm) Alto (H): in (25 mm)

PCC Expuesto. (Empuje del Concreto Asfáltico (AC) por losas de Hormigón de Cemento Pórtland (PCC))

L: L: (20 a 40 mm) H: (> 40 mm)

Fisura por Resbalamiento o Deslizamiento No se define grados de severidad

Hinchamiento Estallido de la losa de hormigón

Bajo: Apenas visible y efecto despreciable Medio: Observado sin dificultad y efecto importante Alto: Fácilmente detectado y efecto severo

Fuente: Autor

Identificación de Fallas en la Zona de Estudio

Dentro de la evaluación del estado del pavimento flexible, es vital clasificar los deterioros de degradación: Según (Tello et al., 2021) las insuficiencias en la capacidad estructural o deficiencias constructivas y condiciones locales. Por lo tanto, algunos de los daños que padecen las vías transitadas son:

Ilustración 15: Piel de Cocodrilo de Alta Severidad

□

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 16: Fisura de Bloque de Severidad Media

□

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 17: Bacheo

□

Fuente: Elaboración Propia

Tabla: Registro del estado del pavimento

□

Fuente: Elaboración propia

Estudio Geotécnico

Según (Madsen et al., 2024) un estudio geotécnico permite estudiarla capacidad de soporte que tiene la estructura de pavimento, puede identificar las características de suelo, determina la placa de carga dinámica, la resistencia a la fatiga, entre otros, tal como se muestra en la tabla 10, con el fin de que no existan riesgos ni fallas en la estructura, de esta forma garantizando la seguridad de los usuarios

Tabla 10: Materiales requeridos para los ensayos

Ensayo Cantidad de Muestras Cantidad de Material Requerido

CBR In Situ 3-5 ensayos N/A (en sitio)

Placa de Carga Dinámica 3-5 ensayos N/A (en sitio)

Granulometría (Laboratorio) 3 muestras por tipo 2-3 kg por muestra

Proctor Modificado (Laboratorio) 3 muestras por tipo 15-20 kg por muestra

Fatiga de Capa Asfáltica 4-5 probetas 4 kg por probeta

Fuente: Elaboración propia

□ Figura 21. Extracción N°2

□

Fuente: Elaboración Propia

Figura 22. Muestra N°2

□

Fuente: Elaboración Propia

Figura 21. Extracción N°2

□

Fuente: Elaboración Propia
Figura 22. Muestra N°2

□

Fuente: Elaboración Propia

□ Figura 23. Extracción N°3

□

Fuente: Elaboración Propia
Figura 24. Muestra N°3

□

Fuente: Elaboración Propia

Figura 23. Extracción N°3

□

Fuente: Elaboración Propia
Figura 24. Muestra N°3

□

Fuente: Elaboración Propia

□ Figura 19. Extracción N°1

□

Fuente: Elaboración Propia
Figura 20. Muestra N°1

□

Fuente: Elaboración Propia

Figura 19. Extracción N°1

□

Fuente: Elaboración Propia
Figura 20. Muestra N°1

□

Fuente: Elaboración Propia

□ Figura 27. Extracción N°5

□

Fuente: Elaboración Propia
Figura 28. Muestra N°5

□

Fuente: Elaboración Propia

Figura 27. Extracción N°5

□

Fuente: Elaboración Propia
Figura 28. Muestra N°5

□

Fuente: Elaboración Propia

Figura 25. Extracción N°4

□

Fuente: Elaboración Propia

Figura 26. Muestra N°4

□

Fuente: Elaboración Propia

Figura 25. Extracción N°4

□

Fuente: Elaboración Propia

Figura 26. Muestra N°4

□

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, en referente a la tabla 11, se presenta un resumen de resultados obtenidos de laboratorio, donde muestra los diferentes tipos de cbr que se obtuvieron en los debidos ensayos realizados. Para un CBR de 57,42%, lo que significa que existe un suelo con grava bien graduada con limo sin plasticidad color café, 20,70% significa que tiene una grava limosa color gris, asimismo 2,00%, equivale a la denominación de arcilla de alta plasticidad color gris, valor de cbr 4,20% de arcilla de alta plasticidad color café y finalmente 74,80%, tipo de suelo de grava con limo color café

Tabla 11: Resumen de resultados obtenidos de laboratorio

Autor: Elaboración Propia

CALICATAS	HUMEDAD NATURAL %	GRANULOMETRÍA (PASANTE)	PLASTICIDAD	SUCS	CBR			
PUNTO MUESTRA COORDENADAS PROFUNDIDAD 3" 2" 1" No. 4 No. 10 No. 40 No. 200 LL LP IP SÍMBOLO DESCRIPCIÓN								
6 1	0616679 E - 9641548 N	0,00 - 0,65 m	5,66%	100,0% 100,0% 100,0%	59,5% 29,84% 18,00% 8,94%	NP NP NP GW - GM Grava bien graduada con limo sin plasticidad color café 57,42%		
2	0,65 - 1,40 m	11,04%	100,0% 100,0%	100,0%	0,701 36,78% 26,72% 18,08%	NP NP NP GM Grava limosa color gris 20,70%		
3	1,40 - 2,00 m	74,09%	100,0% 100,0%	100,0%	100,0% 99,92% 99,79%	77,09% 34,53% 42,57%	CH Arcilla de alta plasticidad color gris 2,00%	
7 1	0616513 E - 9641358 N	0,10 - 1,00 m	21,07%	100,0% 100,0%	100,0%	100,0% 89,00% 26,88%	NP NP NP SM Arena limosa color café 4,20%	
2	1,00 - 1,50 m	42,59%	100,0% 100,0%	100,0%	100,0%	99,94% 99,65%	60,68% 26,82% 33,86%	CH Arcilla de alta plasticidad color café 4,20%
8 1	0616338 E - 9641333 N	0,00 - 1,00 m	5,61%	100,0% 100,0%	100,0%	75,7% 40,86% 29,45%	13,01%	NP NP NP GM grava con limo color café 74,80%

Análisis Estadístico

Según (Andrade et al., 2024) una vez que se obtienen los datos específicos de los ensayos de laboratorio, se procede a elaborar un análisis de condición de pavimento a través de la visualización in situ, con el fin de identificar patrones de deterioros del pavimento, además de los volúmenes del tráfico que se manejan diariamente.

Datos de Ensayos de CBR in situ

Los datos de CBR, se los adquirió a través de ensayos de laboratorio, mediante una extracción pequeña de terreno, a una profundidad de 1.5 a 2 m, con el fin de obtener información acerca de la composición del suelo, su capacidad portante y también su nivel freático.

Análisis de Varianza (ANOVA)

Es un medio metodológico que se enfoca en el cálculo estadístico de medias de 3 o más grupos, con el fin de reconocer si existen diferencias significativas entre ambos datos. No obstante, se aplica la prueba F o mayormente conocida como FISHER, que se encarga de determinar las medias significativas que se diferencian del resto (Henson, 2015). A continuación, se presenta una tabla de resultados en donde se tomó en cuenta los datos de CBR extraídos en la vía de interés.

Desviación Estándar y Coeficiente de Variación

En los resultados obtenidos, se comparó dos secciones de valores de CBR (%), es decir, la muestra 1 detalla valores tales como: 2.20%, 2.10%, 2.00%, mientras que la muestra 2 tiene los siguientes datos: 4.30%, 4.20%, 4.10%. La media que se obtuvo de cada muestra es de 2.10% y 4.20%, especificando que la segunda tiene una resistencia superior. Por consiguiente, el resultado de la suma de cuadrados entre los grupos (SSB) es de 661.50, sin embargo, la suma de cuadrados dentro de los grupo (SSW) es de 0.04, cuantificando que existe una alta variabilidad proveniente de las diferenciad entre secciones. Con grados de libertad "entre grupos de 1" y "dentro de grupos de 4", se cuantifica que existe un promedio cuadrático entre grupos (MSentre) de 661.50, mientras que dentro de grupos (MSdentro) de 0.01, arrojando un valor estadístico F de 661.50. Finalmente el valor p es de 0.0000135746, inferior a $\alpha = 0.05$, lo que lleva a concluir que se debe de rechazar la hipótesis nula y reafirmar que existen diferencias estadísticamente significativas, indicando que la muestra 2 se caracteriza por tener un mejor desempeño estructural, esto puede tener varias razones, pero unas de ellas pueden ser por la mayor compactación, buena calidad de materiales o quizás un excelente sistema de drenaje, mientras que la muestra uno podría mejorar tratando la subrasante, de esta manera se optimiza la capacidad portante.

Especificación para la Capa de Rodadura (Mezcla Asfáltica)

Las especificaciones de un paquete estructural garantizan un desempeño único vial, característicamente en su funciones, como la transmisión de cargas y su resistencia estructural para establecer un pavimento duradero y eficiente (MOP - 001-F 2002, 2002).

Tabla 12: Resumen de las Especificaciones de Porcentaje de la Estructura de Capa

Capa Granulometría (Tamiz 0.075) CBR Mínimo (%) Densidad Compactación Índice de Plasticidad (IP) Otros Parámetros

Subbase Granular $\leq 12\%$ $30 \geq 95\%$ Proctor Modificado ≤ 6 Material bien graduado, permeable.

Base Granular $\leq 8\%$ $80 \geq 100\%$ Proctor Modificado ≤ 4 Alta resistencia, material triturado.

Capa de Rodadura 2 - 8% N/A $\geq 95\%$ Densidad Teórica 0 (no plástico) Estabilidad Marshall ≥ 820 kg, asfalto 4.5-6.5%

Fuente: Republica del Ecuador Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones

Propuesta de Alternativa de Espesores

Mantenimiento Rutinario

En el estudio de (Sleyther y Guirlo, 2021) acerca de emplear

tiene presente la importante decisión de establecer un mantenimiento rutinario en la vía, principalmente para conservar la vida útil de una carretera, ya que esta depende directamente de la condición estructural que exhibe, por tanto, si no se establece un mantenimiento eficiente, su tiempo de vida útil se decrementa. Asimismo, (Sholevar et al., 2022) detalla la necesidad de mantener una carretera en buen estado y por ello, se debe de implementar sistemas de gestión de carreteras para enfrentar los grandes desafíos, aquellos que provienen de la condición que se encuentra el pavimento.

Mantenimiento Periódico

Una vía en mal estado equivale a una afectación directa para usuario que transita por esa vía, no solo la parte económica sino también el tiempo de demora al trasladarse de un lugar a otro. Por esta razón, se debe gestionar mantenimientos y rehabilitación de pavimentos para satisfacer la demanda de los usuarios, volúmenes de tráfico y a su vez prolongar el tiempo de vida útil a un reducido costo de inversión posible (Ramírez y Valenzuela, 2023).

Rehabilitación

Las normativas viales enfatizan acerca de lo vital que es la seguridad vial, la prolongación de tiempo de vida útil y la optimización de invertir en una adecuada infraestructura vial. La ASTM D6433 o la AASHTO R35, definen los rendimientos que se deben de cumplir para asegurar la durabilidad de los pavimentos rehabilitados. Por tal motivo, el cumplir con lo que dice la norma permite conocer mejores estrategias de rehabilitación, evitando la improvisación y a su vez prolongar la vida útil de la carretera (Flores De Valgas y Mogrovejo, 2023)

Reconstrucción

(Torres y Muñoz, 2023) en su estudio, establece una medida un poco tajante al momento de tratar el tema de rehabilitación de los pavimentos, puesto que, en casos severos la mejor opción es reemplazar total o parcialmente la estructura del pavimento, ya que su tiempo de vida útil llegó a un fin que por más rehabilitación que se le preste, esta no va a dar su servicialidad como debe de ser, lo más probable es que aumente el daño y un gasto innecesario económico.

Alternativa 1: Espesor Reducido

En relación a los datos de CBR que se obtuvo como resultado en los ensayos de laboratorio, se da como alternativa utilizar un suelo con CBR alto (Muestra 2: 4.10 – 4.20), específicamente para vías urbanas con tráfico liviano moderado, es una forma de mantenimiento vial segura y sin daño acelerado.

Capa de Rodadura: 5 cm

Base Granular: 15 cm

Subbase Granular: 20 cm

Espesor Total: 40 cm

Alternativa 2: Pavimento Intermedio

Otra de las opciones es establecer una alternativa para un suelo con CBR medio (Promedio de ambas muestras), es recomendado utilizar dentro de calles secundarias con tráfico de buses o camiones ligeros.

Capa de Rodadura: 6 cm

Base Granular: 18 cm

Subbase Granular: 22 cm

Espesor Total: 46 cm

Alternativa 3: Vías de Alto Tránsito

La resistencia en las vías cumple un papel fundamental al momento de soportar cargas pesadas, por ello, se establecen las siguientes alternativas para un suelo con CBR bajo (Muestra 1: 2.00 -2.20). Se lo recomienda utilizar en avenidas principales y vías con tránsito pesado, como es el caso de este estudio.

Capa de Rodadura: 7 cm (Mayor estabilidad estructural)

Base Granular: 20 cm

Subbase Granular: 25 cm

Espesor Total: 52 cm

Alternativa 4: Estabilización de Suelo

Esta alternativa es una opción económica en el caso de que exista un suelo con CBR muy bajo (Muestra 1). Recomendado utilizar en vías de zonas con alto nivel freático o problemas de estabilidad.

Capa de Rodadura: 5 cm

Base Granular: 15 cm

Subbase Granular: 18 cm (compensada con cemento para mejorar la resistencia)

Espesor Total: 38 cm (Menor espesor, compensado con estabilización)

Alternativa 5: Pavimento Optimizado

La larga durabilidad de la vía es uno de los propósitos que se propone cada ingeniero civil, especialmente cuando se lo aplica en suelos variables (CBR bajo y medio). Por ello, la siguiente alternativa se lo recomienda aplicar en vías urbanas con alto tráfico y larga vida útil, con el fin de proporcionar un buen servicio a la comunidad.

Capa de Rodadura: 8 cm (Mayor durabilidad y resistencia a la fatiga)

Base Granular: 22 cm

Subbase Granular: 20 cm

Espesor Total: 50 cm

Tabla 13: Alternativas de Espesores

Alternativa Capa de Rodadura (cm) Base Granular (cm) Subbase Granular (cm) Espesor Total (cm) Uso Recomendado

1 5 15 20 40 Vías urbanas livianas

2 6 18 22 46 Tráfico moderado

3 7 20 25 52 Alto tránsito

4 5 15 18 (estabilizada) 38 Suelos débiles

5 8 22 20 50 Larga durabilidad

Fuente: Elaboración Propia

Comparativa de Resultados

Según (Norma Ecuatoriana Vial NEVI 12 - MTOP, 2013), establece un rango mínimo de espesores de capa, es decir, para la capa de rodadura existe un mínimo de 5 cm, mientras que, la base granular tiene un valor de 15 cm, sin embargo, la subbase granular se destaca por tener un espesor de 20 cm. Dentro del análisis de la propuesta de espesores, las alternativas 1, 2, 3 y 5 se encuentran dentro del rango establecido por la norma, en contraste la alternativa 4 no pasa el requisito mínimo de espesor de capa, en consecuencia, el pavimento se vería afectado en los suelos débiles. Por otra parte, el (MÉTODO AASHTO 93), determina el principio de "Mayor tráfico, mayor espesor", lo que significa que las alternativas 3 y 5 se acogen a este principio. De la misma forma la mayoría de las alternativas cumplen con el mínimo de 5 cm en su capa de rodadura, la alternativa 5 que tiene 8 cm, podría llegar a ofrecer mayor durabilidad en condiciones de alto tránsito. Por el contrario, el caso de la alternativa 4, no cumple con la subbase granular establecida por la norma, por lo que se requiere que realicen un ajuste viable. Con el fin de recomendar a realizar un análisis completo, donde abarquen los estudios geotécnicos y modelados estructurales para seleccionar correctamente los espesores de capa dependiendo del tipo de tráfico.

Tabla 14: Evaluación de Espesores Mínimos según la Normativa MTOP

Capa del Pavimento Espesor Mínimo MTOP (cm)

Capa de Rodadura 5

Base Granular 15

Subbase Granular 20

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 15: Comparación de la Norma con cada Alternativa

Alternativa Cumple Capa de Rodadura? Cumple Base Granular? Cumple Subbase Granular? Cumple Normativa MTO?

1 (Vías urbanas livianas) □ (5 cm) □ (15 cm) □ (20 cm) □ Cumple

2 (Tráfico moderado) □ (6 cm) □ (18 cm) □ (22 cm) □ Cumple

3 (Alto tránsito) □ (7 cm) □ (20 cm) □ (25 cm) □ Cumple

4 (Suelos débiles) □ (5 cm) □ (15 cm) □ (18 cm) □ No cumple

5 (Larga durabilidad) □ (8 cm) □ (22 cm) □ (20 cm) □ Cumple

Fuente: Elaboración Propia

Tabla. Comparación de Alternativas con la Base Teórica

□

Fuente: Elaboración Propia

CONCLUSIONES

A través de investigaciones bibliográficas, se consiguió identificar los métodos de evaluación adecuados con respecto al tema de estudio, siendo su propósito principal determinar el nivel de servicialidad que puede ofrecer la vía. Con respecto a la metodología estudiada, se enfocó en la importancia de obtener una eficiente movilidad motorizada, por ello, el método empírico mecanista y PCI, fueron clave fundamental para obtener resultados de laboratorio, precisos con alternativas de mejoramiento y rehabilitación del pavimento mediante la aplicación de análisis y varianza (ANOVA).

La vía en cuestión presenta un deficiente sistema vial, por lo que, a través de la inspección visual aplicada, se determinó los puntos que deben de ser analizados, por lo tanto, se realizó la toma de muestra en los puntos específicos, realizando los ensayos no destructivos, teniendo como resultado los diferentes valores de CBR de la subrasante, a través del ANOVA se pudo definir que existen diferencias significativas entre las medidas de las dos muestras obtenidas.

El mantenimiento y rehabilitación de una vía, siempre será vital dentro del sistema de gestión vial, puesto que, es necesario brindar a los usuarios una eficiente movilidad motorizada. A través de los resultados de los ensayos, se pudo establecer 5 alternativas en la estructura del pavimento flexible, estos se clasifican dependiendo del uso recomendado pero el más importante para este estudio es la propuesta del espesor de 52 cm que presta mayor estabilidad estructural en la capa de rodadura con valor de 7 cm mientras que su base granular tiene 20 cm, sin dejar a un lado la subbase granular que presenta un espesor de 25 cm, estableciendo como criterio una alta resistencia para las vías de alto nivel de tránsito.

RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio y el concepto de capacidad vial, se sugiere establecer alternativas de espesores adecuados para el tipo de tráfico de las Av. Las Palmeras., como ejemplo, existen espesores superiores a 46 cm como es el caso de las alternativas 2, 3, 5, reconociendo que tiene un tráfico moderado a alto, entonces se debe de garantizar una estabilidad alta y durabilidad del pavimento de acuerdo con la norma NEVI.

Para la existencia de suelos débiles, se recomienda implementar subbase granular a un valor de 20 cm o más, esto se debe de establecer en tramos con CBR bajo o con capacidad portante relativamente baja. De esta forma se asegura que el pavimento pueda resistir mayormente las cargas dinámicas del tránsito, mejorando la movilidad motorizada en la vía, claro está, que se debe de especificar conforme a los principios de diseño y normativas vigentes.

Una eficiente movilidad motorizada es la que se debe de ofrecer a los usuarios que transitan por la vía, por ello, el análisis de capa de rodadura cumple un papel fundamental a la hora de hablar de fluidez de tránsito, puesto que, se debe establecer un sistema de gestión vial, que se encargue de evaluar periódicamente el estado del pavimento mediante visita in situ, ensayos de laboratorio, etc. Con el fin de conocer a tiempo el deterioro que sufre el pavimento, mejorando de esta manera la eficiencia en la infraestructura vial de la ciudad de Machala.

REFERENCIAS

AASHTO. (2021). American Association of State Highway and Transportation Official s. Washington, D.C.

Alaneme, G., Dimonyeka, M., Ezeokpube, G., Uzoma, I., y Udousoro, I. (2021).



14

doi.org

<https://doi.org/10.1007/s41062-021-00487-z>

Failure assessment of dysfunctional flexible pavement drainage facility using fuzzy analytical hierarchical process. Innovative Infrastructure Solutions, 2(122), 6. <https://doi.org/10.1007/s41062-021-00487-z>

Alexis, A., Gabriela, C., y Cristian, C.



15

dspace.unach.edu.ec

Repositorio Digital UNACH: Efectos de la variabilidad de los datos iniciales en el índice de condición del pavimento y predicción de su deterioro

<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/9895>

(2021).



16

www.academia.edu | (PDF) Efectos de la variabilidad de los datos iniciales en el índice de condición del pavimento y predicción de su deterioro | Alexis Enrique Díaz An...

https://www.academia.edu/122545032/Efectos_de_la_variabilidad_de_los_datos_iniciales_en_el_indice_de_condicion_del_pavimento_y_prediccion_de_su_deterioro

Efectos



17

repositorio.utmachala.edu.ec

https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/20868/1/ESPINOZA_CALDERON_ROSA_AURORA.pdf

de la variabilidad de los datos iniciales en el índice de condición del pavimento y predicción



18

www.academia.edu | (PDF) Efectos de la variabilidad de los datos iniciales en el índice de condición del pavimento y predicción de su deterioro | Alexis Enrique Díaz An...

https://www.academia.edu/122545032/Efectos_de_la_variabilidad_de_los_datos_iniciales_en_el_indice_de_condicion_del_pavimento_y_prediccion_de_su_deterioro

de su deterioro

. Novasinergia., 4(1), 102-114. <https://doi.org/https://doi.org/10.37135/ns.01.07.06>

Andrade, A., Hidrobo, A., Mora, C., y Zúñiga, M. (2024). Google Earth como alternativa para predecir el deterioro de una vía para su gestión a lo largo del ciclo de vida. MQRInvestigar, 8(2), 3499-3511. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.8.2.2024.3499-3511>

ASTM. (s.f.).



19

repositoriotec.tec.ac.cr

https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/2238/9936/1/dimensionamiento_estructura_pavimento_calle_isidro.pdf

Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index



20

Documento de otro usuario

El documento proviene de otro grupo

Surveys.

ASTM INTERNATIONAL.

Baque, B.



21

repositorio.utmachala.edu.ec

https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22779/1/Zamora_Apolo_Erick_18.pdf

(2020).



22

repositorio.utmachala.edu.ec

https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/20868/1/ESPINOZA_CALDERON_ROSA_AURORA.pdf



repositorio.utmachala.edu.ec

[https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22779/1/Zamora Apolo, Erick 18.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22779/1/Zamora%20Apolo,%20Erick%2018.pdf)

Manabí.

dominio de las ciencias, 6(2), 203-228. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.23857/dc.v6i2.1163>

Bojacá, D., y Campagnoli, S.



www.scielo.org.pe | Valorización de Residuos Mineros como Áridos para la Construcción de Carreteras: Economía Circular en la Región Andina del Perú

http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=52313-29572024000200071

(2022). CBR cíclico como método alternativo para la determinación del módulo resiliente en suelos blandos de subrasante.

Ingeniería Neogranadina, 32(2), 85-98. <https://doi.org/https://doi.org/10.18359/rcin.5896>

Boris, O., Ingrid, M., y Carmen, P. (2021). Índice de regularidad



repositorio.utmachala.edu.ec

[https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/20868/1/ESPINOZA CALDERON ROSA AURORA.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/20868/1/ESPINOZA%20CALDERON%20ROSA%20AURORA.pdf)

internacional e índice de condición de pavimento para definir niveles de serviciabilidad de

pavimentos. ITECKNE, 18(2), 170-175. <https://doi.org/https://doi.org/10.15332/iteckne>

Cárdena, J. (2024). Evaluación Estructural y Modelado Predictivo del Pavimento Flexible en Zonas Rurales: Un Caso de Estudio en la Carretera Puente Palca - Palca. Llamkasun, 5(2), 2-12.

<https://doi.org/https://doi.org/10.47797/llamkasun.v5i2.132>

Cárdenas, C., Carrillo, J., Izarra, A., Murga, C., y Vásquez, A.



llamkasun.unat.edu.pe

<https://llamkasun.unat.edu.pe/index.php/revista/article/view/121>

(2023). Herramientas tecnológicas de evaluación de fallas en la superficie de pavimento flexible, una revisión sistemática. Llamkasun, 4(2),

02-09. <https://doi.org/https://doi.org/10.47797/llamkasun.v4i2.121>

Cedeño, E., Zambrano, J., y Tejeda, E. (2023). Revisión de Diseños de Pavimentos Flexibles Mediante el Método Empírico Mecanicista de la AASHTO 2004. Ciencia y Construcción, 4(3), 57-67. <https://doi.org/2789-7605>

Chamba, A., y Yaguana, J. (2023). Simulación y análisis del tráfico vehicular en las avenidas Salvador Bustamante Celi e Isidro Ayora de la ciudad de Loja-Ecuador utilizando SUMO. Green World Journal, 6(2), 1-13. <https://doi.org/https://doi.org/10.53313/gwj62064>

Claudia, C., Jerold, C., Angela, I., Christian, M., y Anais, V.



llamkasun.unat.edu.pe

<https://llamkasun.unat.edu.pe/index.php/revista/article/view/121>

(2023). Herramientas tecnológicas de evaluación de fallas en la superficie de pavimento flexible, una revisión sistemática. Llamkasun, 4(2),



Documento de otro usuario

El documento proviene de otro grupo

10-23.

<https://doi.org/https://doi.org/10.47797/llamkasun.v4i2.121>

Cuenca, E., Hernández, F., y Moll, R. (2023). Catálogo para el Diseño de Pavimentos Flexibles en Vías de Bajos Volúmenes de Tráfico en La Provincia de Manabí. Ciencia y Construcción, 4(2), 16-25. <https://doi.org/2789-7605>

De la Cruz, S., Ibañez, C., y Coaquira, D.



repositorio.utmachala.edu.ec

[https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22779/1/Zamora Apolo, Erick 18.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22779/1/Zamora%20Apolo,%20Erick%2018.pdf)

(2022). Determinación de Índice de Serviabilidad y Capacidad Resistente. Caso Práctico: Pavimentos en Azángaro, Puno, Perú.



www.scielo.org.pe | Valorización de Residuos Mineros como Áridos para la Construcción de Carreteras: Economía Circular en la Región Andina del Perú

http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=52313-29572024000200071

Infraestructura Vial, 24(43), 1-8.

<https://doi.org/10.15517/iv.v24i43.48563>

Deepthi, M., y Sivakumar, B. (2023). System reliability-based design optimization of flexible pavements using adaptive meta-modelling techniques. Constructon and Building Materials, 367(27), 130-351. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130351>

Do, M., Cerezo, V., y Ropert, C. (2020). Questioning the approach to predict the evolution of tire/road friction with traffic from road surface texture. Surf. Topogr, 8, 2-14.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1088/2051-672X/ab8ba9>

Eduardo, G., Jorge, R., Carmen, H., Jose, A., Ignacio, D., y Miguel, M. (2022). Diseño de pavimentos permeables en España: situación actual y necesidades futuras. Ingeniería del Agua, 26(4), 279-296. <https://doi.org/https://doi.org/10.4995/ia.2022.18290>

Ehsan, S., Nicolas, B., y Alan, C. (2020). A review on mechanical behavior and design considerations for reinforced-rehabilitated bituminous pavements. Construction and Building Materials, 257(10), 119-483. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119483>

Felis, I., Candía, N., y Fernández, A. (2023). Tipologías de sistemas urbanos de drenaje sostenible para la reducción del riesgo de inundación en la cuenca del río Andalién, Concepción. URBE. Arquitectura, Ciudad Y Territorio(17), 52-74. <https://doi.org/https://doi.org/10.29393/UR17-4TSA30004>

Flores de Valgas, S., y Mogrovejo, D. (2023). EVALUACIÓN FUNCIONAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA RED VIAL RURAL DE PORTOVIEJO, ECUADOR. Yachasun, 7(13), 212-235.

<https://doi.org/https://doi.org/10.46296/yc.v7i13.0363>

Flores De Valgas, S., y Mogrovejo, D. (2023). EVALUACIÓN FUNCIONAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA RED VIAL RURAL DE PORTOVIEJO, ECUADOR. Multidisciplinaria Arbitrada YACHASUN, 7(13), 212-235. <https://doi.org/https://doi.org/10.46296/yc.v7i13.0363>

García, M., Oyola, E., Carrión, L., y Romero, E. (2023). Reducción del Congestionamiento Vehicular, Mediante Giro Protegido a la Izquierda, en la Ciudad de Huaquillas. Ciencia y Construcción, 4(1), 79-89. <https://doi.org/2789-7605>

González, J., León, B., Sánchez, C., y Medina,



rcc.cujae.edu.ec

<https://rcc.cujae.edu.ec/index.php/rcc/article/view/198>

Y. (2023).



rcc.cujae.edu.ec

https://rcc.cujae.edu.ec/index.php/rcc/user/setLocale/es_ES?source=/index.php/rcc/article/view/208

Metodología para el Diseño Geométrico Sostenible de Ejes Viales en Vías



rcc.cujae.edu.ec

<https://rcc.cujae.edu.ec/index.php/rcc/article/view/198>

Inter-Cantoniales.

Ciencia y Construcción, 4(3), 30-44. <https://doi.org/2789-7605>

Gutiérrez, W. (2023). Ensayo granulométrico de los suelos mediante el método del tamizado. Ciencia Latina, 7(2), 6908-6928. https://doi.org/https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.5834

Harinder, D., Anusha, P., Ramesh, A., y Mehaboob, K. (2023). Evaluation of flexible pavement performance based on HDM-4 and international roughness index. 391(4), 1-9.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339101202>

Henson, R. (2015). Analysis of Variance (ANOVA). *Neuroscience and Biobehavioral Psychology*, 1, 477-481. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397025-1.00319-5>

Hernández, D., Díaz, J., Santos, O., Morciego, H., y García, J. (2022). Métodos de diagnóstico para la evaluación geotécnica de vías urbanas en centros históricos cubanos. *Arquitectura e Ingeniería*, 16(2), 1-17. <https://doi.org/https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193971847003>

Huaman, A., Milla, E., y Pagola, D. (2024). El contenido de humedad y el valor de soporte en suelos cohesivos en el distrito de Independencia. *Aporte Santiaguino*, 17(2), 171-180. <https://doi.org/https://doi.org/10.32911/as.2024.v17.n2.1171>

Hugo, R., William, C., y José, C. (2021). Propiedades dieléctricas de asfaltos: revisión. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 31(2), 61-73. <https://doi.org/https://doi.org/10.18359/rcin.4688>

Ignacio, B., María, P., Jorge, C., Manuel, D., Facundo, C., Lucio, P., y Fernando, D. (2021). Evaluación de escombreras de mármoles para su aprovechamiento como agregado en una estructura de pavimento, Córdoba, Argentina. *Informes de la Construcción*, 73(561), 1-11. <https://doi.org/https://doi.org/10.3989/ic.72256>

Lilian, V., y Martha, H. (2024). Efectividad de los materiales sostenibles para el mejoramiento y aplicación de obras viales. *Ciencia Norandina*, 7(2), 308-327. <https://doi.org/https://doi.org/10.37518/2663-6360X2024v7n2p308>

Madsen, L., Di Martino, C., Pizzorno, L., y Arias, P. (2024).

34

dx.doi.org | Geotecnia de los suelos en el sector sureste de la ciudad de Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires.
<http://dx.doi.org/10.59069/24225703ee015>

Geotecnia de los suelos en el sector sureste de la ciudad de Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires. *Estudios preliminares. Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*(51), 1-9. <https://doi.org/https://doi.org/10.59069/24225703ee015>

Mamami, G., De la Cruz, S., Vega, C., Yllescas, P., y Rea, W. (2022).

35

doi.org
<https://doi.org/10.15517/iv.v24i43.48563>

Estabilización de la subrasante con ceniza de quinua y cal en la Carretera Lago Sagrado, Puno,

36

doi.org
<https://doi.org/10.15517/iv.v25i44.53569>

Perú. **Infraestructura**

Vial, 25(44), 1-7. <https://doi.org/10.15517/iv.v25i44.53569>

Marco, H., y Ronald, V. (2023). Solución geotécnica para el suelo de cimentación de las 7 torres de la villa panamericana. *Perfiles_Ingeniería*, 19(19), 91-108. <https://doi.org/10.31381/perfilesingenieria.v19i19.5792>

Maylle, A., y

37

repositorio.upt.edu.pe
<https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12969/3718/Perca-Laura-Wilmer.pdf?sequence=1>

Avila, P. (2023). Elaboración de un Diseño de Mezcla para la Estabilización de un Suelo con Emulsión Asfáltica Tipo CSS-1h y Pavimento Asfáltico Reciclado (RAP) Basado en el Procedimiento de Marshall Modificado. *Infraestructura Vial del LanammeUCR*, 25(44), 1-17. <https://doi.org/10.15517/iv.v25i44.53441>

Mehdi, Z., Ning, L., Murad, A., y George, V. (2022). Evaluating long-term benefits of geosynthetics in flexible pavements built over weak subgrades by finite element and Mechanistic-Empirical analyses. *Geotextiles and Geomembranes*, 50(3), 455-469. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geotextmem.2022.01.004>

MÉTODO AASHTO 93. (s.f.). Guía AASHTO: Diseño de estructuras de pavimentos, 1993.

MOP - 001-F 2002. (2002). REPUBLICA DEL ECUADOR

38

repositorio.espe.edu.ec | Guía metodológica de diseño y construcción de pavimentos para el Ecuador
<http://repositorio.espe.edu.ec:8080/bitstream/21000/11882/5/T-ESPE-053333.pdf.txt>

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y COMUNICACIONES. Quito, Ecuador.
MOP - 001-F 2002. (2002). REPUBLICA DEL ECUADOR MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y COMUNICACIONES. Quito, Ecuador.

Morales, J., Ortiz, E., y Intriago, C. (2023). Mejoramiento de material granular con cemento tipo MH y agregados finos de arena de playa proveniente de la costa en la provincia Manabí. *INGENIAR: Ingeniería, Tecnología E Investigación*, 6(11), 2-15. <https://doi.org/https://doi.org/10.46296/ig.v6i11edesepfeb.0085>

Morgan, H. (2022). Conducting a Qualitative Document Analysis. *The Qualitative Report*, 27(1), 64-77. <https://doi.org/https://doi.org/10.46743/2160-3715/2022.5044>

Muñoz, S., y Zevallos, F. d. (2021). Los Factores Influyentes en la Resistencia al Deslizamiento en Pavimentos Flexibles: Una Revisión Literaria. *Ciencia Nicolaita*(81), 83-99. <https://doi.org/https://doi.org/10.35830/cn.vi81.535>

NORMA ASTM D 5340. (2005). INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTOS EN AEROPUERTOS (PCI). Norma Ecuatoriana Vial NEVI 12 - MTOP. (2013). Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. Quito, Ecuador.

Oña, C., y Veliz, J. (2024). Desempeño de material granular de subbase estabilizada con diatomita. *Multidisciplinaria Arbitrada de Investigación Científica*, 8(2), 1563-1586. <https://doi.org/https://doi.org/10.56048/MQR20225.8.2.2024.1563-1586>

Orlando, A., Jhon, A., Cristian, P., Ernesto, R., y Sócrates, M. (2022). Uso de distintos tipos de fibras para mejorar las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica: Una revisión literaria. *Infraestructura Vial*, 24(43), 1-16. <https://doi.org/10.15517/iv.v24i43.47931>

Peñañiel, J., Sánchez, C., y Medina, Y. (2023).

39

repositorio.utmachala.edu.ec | Repositorio Digital de la UTMACH: Análisis de la capacidad vial y nivel de servicio de las vías de ingreso de la ciudad de Machala.
<https://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/18743>

Análisis de la Capacidad Vial y Nivel de Servicio de las Vías de Ingreso de la Ciudad de Machala. *Ciencia y Construcción*, 3(4), 65-76. <https://doi.org/2789-7605>

Pillaca, Y., Choque, L., Gamarra, K., y Sánchez, A. (2024). Optimization of the Mechanical Properties of Rigid Pavement Concrete Using Coca Leaves and Steel Fibers. *Gaceta Técnica*, 26(1), 89-108. <https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.51372/gacetatecnica261.6>

Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cantón Machala. (2022). PDOT. Machala, El Oro, Ecuador.

Ramirez, D., y Valenzuela, L.

40

doi.org
<https://doi.org/10.15517/iv.v25i44.51309>

(2023). Plan de mantenimiento periódico del pavimento en el tramo Paradero Las Retamas – Puente Los Ángeles. *Infraestructura Vial*, 25(44), 1-13. <https://doi.org/10.15517/iv.v25i44.51309>

Ramos, C. (2021). DISEÑOS DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL. *CienciAmérica*, 10(1), 1-7. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.33210/ca.v10i1.356>

Rendon, R. (s.f.). Plan de Uso y Gestión de Suelo de Machala. Machala, El Oro, Ecuador: Diplan.

Ríos, N., Bacca, B., Caicedo, E., y Orobio, A.

41

doi.org
<https://doi.org/https://doi.org/10.18359/rcin.4385>

(2020). Revisión de métodos para la clasificación de fallas superficiales en pavimentos flexibles. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 30(2), 109-127. <https://doi.org/https://doi.org/10.18359/rcin.4385>

Román, P., Solórzano, L., Guillen, F., y Orejuela, I. (2024). Análisis técnico de infraestructura vial rural: Evaluación estructural y propuesta de diseño para el acceso al recinto El Secal, Ecuador. *Internacional Arandu UTIC*, 11(1), 2315-2327. <https://doi.org/https://doi.org/10.69639/arandu.v11i2.421>

SACHIN, S., KUZMIN, A., KRISHNAKUMAR, S., SARAVANAN, S., y KANNAN, K.



42

doi.org | Materiale Plastice | Mater Plast Elastomeri Fibre Sint<https://doi.org/https://doi.org/10.37358/MP.21.3.5523>

(2021). Philosophy of Selecting ASTM Standards for Mechanical Characterization of Polymers and Polymer Composites. *MATERIALE PLASTICE*, 58(3), 247-256.

<https://doi.org/https://doi.org/10.37358/MP.21.3.5523>

Sholevar, N., Golroo, A., y Esfahani, S. (2022). Machine learning techniques for pavement condition evaluation. *Automation in Construction*, 136, 104-190.

<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104190>

Sisi, H., In, C., Yuhan, J., y Benjamin, U. (2023). PCler: Pavement Condition Evaluation Using Aerial Imagery. *Geographies*(3), 132-142.

<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/geographies3010008>

Sleyther, D. L., y Guirilo, P.



43

dspace.ups.edu.ec | Diseño geométrico y estructural de pavimento de la vía San Cristóbal - Malima de la abscisa 0+000 hasta la abscisa 2+900 km, perteneciente al cant...<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26963>

(2021). Diseño de infraestructura vial con



44

doi.org | Optimización de las propiedades mecánicas del concreto para pavimentos rígidos empleando hojas de coca y fibras de acero<https://doi.org/10.51372/gacetatecnica261.6>

pavimento flexible para mejora de transitabilidad de la avenida Industrial, Lurín,



45

dspace.ups.edu.ec | Diseño geométrico y estructural de pavimento de la vía San Cristóbal - Malima de la abscisa 0+000 hasta la abscisa 2+900 km, perteneciente al cant...<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26963>

Lima. Memoria

Investigaciones en Ingeniería(21), 108-114. <https://doi.org/https://doi.org/10.36561/ING.21.9>

Tarek, A., Fausto, C., y Olga,



46

Documento de otro usuario

El documento proviene de otro grupo

R.



47

repositorio.utmachala.edu.ec[https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22779/1/Zamora Apolo, Erick 18.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22779/1/Zamora%20Apolo,%20Erick%2018.pdf)

(2020). ANÁLISIS DEL CONGESTIONAMIENTO VEHICULAR PARA EL MEJORAMIENTO DE VÍA PRINCIPAL EN GUAYAQUIL-ECUADOR.

Gaceta Técnica, 21(2), 4-23. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21905.04960>

Tello, L., Aguirre, M., Díaz, J., y Hernández, F. (2021).



48

llamkasun.unat.edu.pe<https://llamkasun.unat.edu.pe/index.php/revista/article/view/121>

Evaluación de daños en pavimento flexible usando fotogrametría terrestre y redes

neuronales. *Tecnológicas*, 24(50), 1-13. <https://doi.org/https://doi.org/10.22430/22565337.1686>

Torres, L., y Muñoz, S. (2023). Evaluación de un pavimento flexible aplicando el método Pavement Condition Index - PCI. *ITECKNE*, 20(1), 45-57. <https://doi.org/10.15332/iteckne.v20i1.2919>

Vásquez, J., Medina, Y., Sánchez, C., y Carrión, L. (2023). Modelo de Optimización de Estructuras Viales. *Ciencia y Construcción*, 4(2), 6-15. <https://doi.org/2789-7605>

Zambrano, C., y Villacreses, C. (2023). GESTIÓN DE LA CONSERVACIÓN DE LA VÍA DE ACCESO A SAN JUAN DEL CANTÓN MANTA-ECUADOR A TRAVÉS DEL SISTEMA HDM-4. *Yachasun*, 7(12),

286-322. <https://doi.org/https://doi.org/10.46296/%20yc.v7i12.0288>

Zapata, A., Luna, M., Sánchez, C., y Medina, Y.



49

rcc.cujae.edu.cuhttps://rcc.cujae.edu.cu/index.php/rcc/user/setLocale/es_ES?source=/index.php/rcc/article/view/208

(2023). Evaluación de la Estructura de Pavimento en Carreteras de Montaña.

Ciencia y Construcción, 56-66.

Zapata, I., Botasso, G., y Rivera, J. (2024). Estudio de Fatiga en Mezclas Asfálticas con NFU Mediante el Ensayo de Viga Semi Circular. *AJEA (Actas De Jornadas Y Eventos Académicos De*

UTN), 37, 1-6. <https://doi.org/https://doi.org/10.33414/ajea.1687.2024>

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

La que suscribe, FAREZ JOHNSON AMBAR ROSALIA, en calidad de autora del siguiente trabajo escrito titulado **EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN VÍAS URBANAS DE MACHALA, UN ENFOQUE PARA CIUDADES COSTERAS, APLICANDO LA METODOLOGÍA EMPÍRICO MECANISTA**, 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.

La autora 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.

La autora 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.



FAREZ JOHNSON AMBAR ROSALIA

0923736268

DEDICATORIA

El camino hacia el éxito está rodeado de momentos llenos de penurias, soledad y desamparo pero también de mucha alegría, gratitud y bienestar, por ello, me encuentro dichosa de dedicar este arduo trabajo a Dios y a la Virgen, por ser mi fortaleza y consuelo en los momentos más tristes, dónde no encontraba paz y no me hallaba como persona.

Pese a que muchas veces quise dejar todo paralizado ahí estuvieron ustedes, Sr. Armando Farez y Sra. Ivon Johnson, a quienes la vida me dio la gracia de tenerlos como padres, ustedes han sido inspiración y reto a la vez, por eso, les dedico este pequeño esfuerzo, que ha sido realizado con mucho amor y dedicación.

Es vital nombrar a una persona especial, mi hermano Teddy Farez, que con su confianza, apoyo, se ha convertido en una fuente motivacional para cumplir mis metas y lograr mis sueños.

Dios nunca se deja ganar en generosidad y puso en mi camino a mi compañero de vida, por eso, me gustaría dedicar este trabajo a ese ser incondicional Fernando Cáceres, mi cable a tierra, mi soporte y refugio, quien me motiva todos los días a seguir adelante.

Finalmente, entrego este trabajo a mi mascota, mi pequeña nala, quién se ha desvelado cada noche conmigo para poder cristalizar este sueño, su mirada me transmite paz y estoy segura que es la fuente más pura de amor y gratitud

AGRADECIMIENTO

Me gustaría empezar agradeciendo a Dios y a la Virgen, por darme las fuerzas diarias y ayudarme a través de su manifestación de amor, creer en él y en mí.

De la misma forma, expreso mis respetos y gratitud a mi tutor de tesis, al Mgtr. Carlos Eugenio Sánchez Mendieta, por toda la paciencia constante y por el conocimiento impartido para la respectiva culminación de esta investigación.

A mis padre, madre, hermano, enamorado y nalita, gracias por convertirse en esos pilares fundamentales para edificar correctamente mi vida. Su voto de confianza y creencia hacia mí, me han motivado para seguir adelante y culminar de forma exitosa esta etapa universitaria llena de retos y amor. Sin su apoyo, nada de esto hubiese sido posible.

Finalmente agradezco a mis docentes de la Universidad Técnica de Machala, que han sido una pieza clave para dar fin a la etapa universitaria y empezar con grandes aprendizajes en mi nueva etapa laborar, gracias por los conocimientos y consejos brindados a lo largo de este camino.

RESUMEN

La investigación se centra en el inadecuado servicio de vialidad que existen en las vías urbanas de la ciudad de Machala, Ecuador, teniendo en consideración la capacidad vial y capa de rodadura, que se han visto afectadas por el deterioro y aumento del costo operacional. Por ello, este estudio se encarga de evaluar la estructura del pavimento flexible en ciudades costeras, analizando la capacidad vial y capa de rodadura para mejorar la movilidad en Machala. No obstante, se aplicó la metodología empírico-mecanicista con pruebas de CBR, Proctor modificado, granulometría y ensayos de fatiga. Mediante el análisis estadístico (ANOVA), se obtuvieron los siguientes resultados: Muestra 1 presentó valores de 2.20%, 2.10% y 2.00%, mientras que la muestra 2 obtuvo 4.30%, 4.20% y 4.10%, con medias de 2.10% y 4.20%, respectivamente, indicando mayor resistencia en la segunda. Se evidenciaron diferencias significativas en la capacidad portante de la subrasante, por lo que se propone una capa de rodadura de 7 cm, base granular de 20 cm y espesor de 25 cm para vías de alto tránsito. Se determina, la importancia de contar con un sistema de gestión vial que garantice el mantenimiento y rehabilitación de las carreteras para ofrecer vías eficientes y seguras.

Palabras Claves: Infraestructura vial, Movilidad motorizada, Pavimento flexible, Capacidad vial, Capa de rodadura.

ABSTRACT

The research focuses on the inadequate road service present in the urban roads of Machala, Ecuador, taking into account the road capacity and the wearing course, which have been affected by deterioration and increased operational costs. Therefore, this study aims to evaluate the structure of flexible pavements in coastal cities, analysing road capacity and the wearing course to improve mobility in Machala. An empirical-mechanistic methodology was applied, using CBR tests, modified Proctor, granulometry, and fatigue tests. Through statistical analysis (ANOVA), the following results were obtained: Sample 1 showed values of 2.20%, 2.10%, and 2.00%, while Sample 2 recorded 4.30%, 4.20%, and 4.10%, with averages of 2.10% and 4.20%, respectively, indicating greater strength in the second sample. Significant differences were observed in the bearing capacity of the subgrade, leading to the proposal of a 7 cm wearing course, a 20 cm granular base, and a 25 cm thickness for high-traffic roads. The study highlights the importance of having a road management system that ensures the maintenance and rehabilitation of roads to provide efficient and safe transport routes.

Keywords: Road infrastructure, Motorised mobility, Flexible pavement, Road capacity, Wearing course.

INDICE

INTRODUCCIÓN	10
Importancia del Tema	10
Actualidad de la Problemática	10
CAPÍTULO I	13
1. Planteamiento del Problema	13
1.1. Línea Base del Proyecto	13
1.1.1. Ubicación, límites y extensión.....	13
1.1.2. Población	14
1.1.3. Servicio de Educación	14
1.1.4. Uso de Suelo	16
1.1.5. Geología.....	17
1.1.6. Intensidad Sísmica	18
1.1.7. Movimientos en Masa.....	18
1.1.8. Susceptibilidad a la Erosión.....	18
1.1.9. Situación Vial.....	18
1.2. Descripción de la Situación Problemática (Causa y Efectos).....	20
1.3. Formulación del Problema: Preguntas Científicas.....	23
1.4. Delimitación del objeto de estudio	23
1.5. Justificación	24
1.6. Objetivos: General y Específicos.....	25
1.6.1. Objetivo General.....	25
1.6.2. Objetivos Específicos	25
2. MARCO TEORICO.....	26
2.1. Antecedentes Contextuales	26
2.1.1. Micro.....	26
2.1.2. Meso.....	27
2.1.3. Macro	28
2.2. Antecedente Conceptuales.....	28
2.2.1. Evaluación Geotécnica	28
2.2.2. Evaluación del Pavimento Flexible	29

2.2.3.	Superficie del Pavimento	29
2.2.4.	Infraestructura Vial	29
2.2.5.	Capacidad Vial	30
2.2.6.	Congestión Vehicular	30
2.2.7.	Pavimento	30
2.2.8.	Subrasante	30
2.2.9.	Capa de Rodadura	30
2.2.10.	Base.....	31
2.2.11.	Subbase	31
2.2.12.	Pavimento Asfáltico	31
2.2.13.	Cargas Vehiculares.....	31
2.2.14.	Resistencia al Deslizamiento	32
2.3.	Antecedentes Referenciales	32
CAPÍTULO III:.....		36
3.	METODOLOGÍA	36
3.1.	Modalidad Básica de la Investigación	36
3.2.	Tipo de Investigación.....	36
3.2.1.	Investigación Descriptiva	36
3.2.2.	Investigación Documental	36
3.2.3.	Investigación Experimental	36
3.3.	Objeto de Estudio.....	37
3.4.	Población	37
3.5.	Métodos Teóricos y Empíricos con los Materiales Utilizados.....	37
3.6.	Método Empírico	39
3.7.	Método de Evaluación	40
3.7.3.	Procedimiento de los Datos Obtenidos	43
CAPÍTULO IV		44
4.	Análisis e Interpretación de Resultados.....	44
4.1.	Evaluación Geotécnica del Pavimento Flexible en la Zona de Estudio	44
4.2.	Obtención de Datos en la Zona de Estudio.....	45
4.3.	Identificación de Fallas en la Zona de Estudio	47
4.4.	Estudio Geotécnico de Suelo	48

4.5.	Análisis Estadístico.....	53
4.6.	Datos de Ensayos de CBR in situ	53
4.7.	Análisis de Varianza (ANOVA)	53
4.8.	Desviación Estándar y Coeficiente de Variación	53
4.9.	Especificación para la Capa de Rodadura (Mezcla Asfáltica).....	54
4.10.	Propuesta de Alternativa de Espesores	54
4.10.1.	Mantenimiento Rutinario.....	54
4.10.2.	Mantenimiento Periódico.....	55
4.10.3.	Rehabilitación	55
4.10.4.	Reconstrucción.....	55
4.10.5.	Alternativa 1: Espesor Reducido	55
4.10.6.	Alternativa 2: Pavimento Intermedio.....	56
4.10.7.	Alternativa 3: Vías de Alto Tránsito	56
4.10.8.	Alternativa 4: Estabilización de Suelo.....	56
4.10.9.	Alternativa 5: Pavimento Optimizado	57
4.11.	Comparativa de Resultados	57
5.	CONCLUSIONES.....	59
6.	RECOMENDACIONES.....	60
7.	REFERENCIAS.....	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Población Cantonal	14
Tabla 2. Uso de Suelo del Cantón Machala	17
Tabla 3. Estado de las vías	19
Tabla 4. Análisis Comparativo de Metodología para la Evaluación de la Estructura del Pavimento	35
Tabla 5. Masa mínima de la muestra de prueba por tamaño de tamiz	41
Tabla 6. Criterios de Evaluación	42
Tabla 7. Escala de Clasificación de las Categorías de la Subrasante – CBR.....	43
Tabla 8. Evaluación del PCI.....	43
Tabla 9. Clasificación de los Deterioros de Degradación de un Pavimento	46
Tabla 10. Registro del estado del pavimento	48
Tabla 11: Materiales requeridos para los ensayos.....	48
Tabla 12: Resumen de resultados obtenidos de laboratorio.....	52
Tabla 13: Resumen de las Especificaciones de Porcentaje de la Estructura de Capa.....	54
Tabla 14: Alternativas de Espesores	57
Tabla 15: Evaluación de Espesores Mínimos según la Normativa MTOP.....	58
Tabla 16: Comparación de la Norma con cada Alternativa	58
Tabla 17. Comparación de Alternativas con la Base Teórica.....	58

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Plano Territorial de la Ciudad de Machala	13
Ilustración 2: Institución Educativa, Colegio Fiscal 9 de Octubre	15
Ilustración 3: Institución Educativa, Colegio Fiscal Ismael Pérez Pazmiño.....	15
Ilustración 4: Uso de Suelo	16
Ilustración 5: Uso de Suelo	19
Ilustración 6: Árbol de Problemas	21
Ilustración 7: Grietas	22
Ilustración 8: Inadecuado Sistema del Subdrenaje	22
Ilustración 9: Reducción de la Velocidad de Tránsito	22
Ilustración 10: Fisuración.....	22
Ilustración 11: Desgaste de la Capa de Rodadura	22
Ilustración 12: Aumento de la Capacidad Vial Existente.....	22
Ilustración 13: Delimitación de la zona de estudio de la calle Avenida las palmeras	24
Ilustración 14: Descripción de la Secuencia Metodológica	39
Ilustración 15: Piel de Cocodrilo de Alta Severidad	47
Ilustración 16: Fisura de Bloque de Severidad Media	47
Ilustración 17: Bacheo	47
Ilustración 18. Extracción N°1	49
Ilustración 19. Muestra N°1	49
Ilustración 20. Extracción N°2	49
Ilustración 21. Muestra N°2	49
Ilustración 22. Extracción N°3	50
Ilustración 23. Muestra N°3	50
Ilustración 24. Extracción N°4	50
Ilustración 25. Muestra N°4	50
Ilustración 26. Extracción N°5	51
Ilustración 27. Muestra N°5	51

INTRODUCCIÓN

Importancia del Tema

En la actualidad las carreteras no brindan una movilidad motorizada adecuada, se puede dar por diferentes factores, uno de los más repetitivos es la congestión vehicular. Si bien es cierto, tener una vía en buen estado es un complemento para el crecimiento poblacional pero si por el contrario estas vías no son óptimas, se convertirán en un obstáculo, provocando que el desarrollo económico se vaya en decadencia (García et al., 2023).

El daño de las vías no solo provoca accidentes de tránsito, tiempo de viajes prolongados o reducción de la productividad diaria, sino que causa daño vehicular, específicamente daño en el sistema de suspensión del vehículo, lo que determina un aumento en el costo operacional. Por ello, una movilidad adecuada es en consecuencia, una excelente estructura de pavimento; cuando se utiliza el término "Excelente" nos referimos a que los espesores sean los adecuados para las diferentes capas como son: Capa de rodadura, base, subbase, todas ellas apoyadas en la subrasante.

Según (Cárdenas et al., 2023), en su investigación, detalla que los pavimentos comienzan a ser sometidos a acciones diversas, contribuyendo a su degradación, en consecuencia a esto, su deterioro depende de dos grupos de factores: Factores Pasivos, que hacen referencia a los materiales usados, espesor de las capas y la calidad de construcción, mientras que los Factores Activos se refiere al tráfico y agentes climáticos. Así mismo más adelante propone evaluar el estado del pavimento a través de un algoritmo de cálculo de nota global, buscando como resultado que la conservación del pavimento sea funcional.

Actualidad de la Problemática

Con respecto al detalle que establece El Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Machala 2019-2030, da a conocer que el estado de la vía no es del todo óptimo, debido a la desinformación que se tiene.

El daño de las vías se da por la saturación de los vehículos y la carga pesada que soportan a diario, sin embargo, para entender a profundidad el daño que soportan, se debe realizar una evaluación superficial del pavimento, con el fin de obtener una información extraordinaria con respecto a la situación vial, y a su vez conocer sus causas para determinar soluciones (Maylle y Avila, 2023).

Por otro lado, el desempeño del pavimento se encuentra influenciado por varios factores: El factor ambiental, tráfico, la economía y distribución de tensiones, aquellos que se vuelven un desafío a la hora de la planificación y ejecución en la ingeniería vial. (Bayat et al., 2023).

Navarrete en su estudio da a conocer que el pavimento cuando es estable es capaz de soportar cargas repetitivas en forma y lisura, siempre y cuando se tenga como prioridad las especificaciones de estabilidad del pavimento, con el propósito de buscar que el volumen de tráfico no cause daño y a su vez reduzca el tiempo de vida útil (Pillaca et al., 2024).

La estructura de este trabajo se compone de 4 capítulos, que parten de la investigación realizada con respecto a la evaluación estructural del pavimento. En otras palabras, el **capítulo uno**, es el planteamiento de problema, parte de la base fundamental de la investigación, es decir, se fundamenta en la línea base del proyecto y la descripción de la situación problemática, donde se toma en cuenta las causas y efectos, formulación del problema a través de preguntas científicas, justificación y los objetivos de la investigación; en correlación al **capítulo dos**, denominado estado del arte, se encarga de presenta la redacción de los antecedentes contextuales, conceptuales y de referencias a través de artículos científicos, aquellos que se convierten en respaldo para poder fundamentar el trabajo actual en contribución de investigaciones precedentes. No obstante, el **capítulo tres**, llamado metodología, detalla el método de estudio, especificando la modalidad y el tipo de investigación que se ejecuta, del mismo modo aborda la población, teniendo en cuenta los métodos empíricos mecanistas utilizados. Por último, el **capítulo cuatro**, análisis e interpretación de resultados, se enfoca en validar la metodología aplicada para el caso investigativo de la ciudad de Machala, obteniendo como resultados diferencias significativas en los espesores de capa, e interpretando que las alternativas se deben de basar en el uso y condición del pavimento.

CAPÍTULO I

1. Planteamiento del Problema

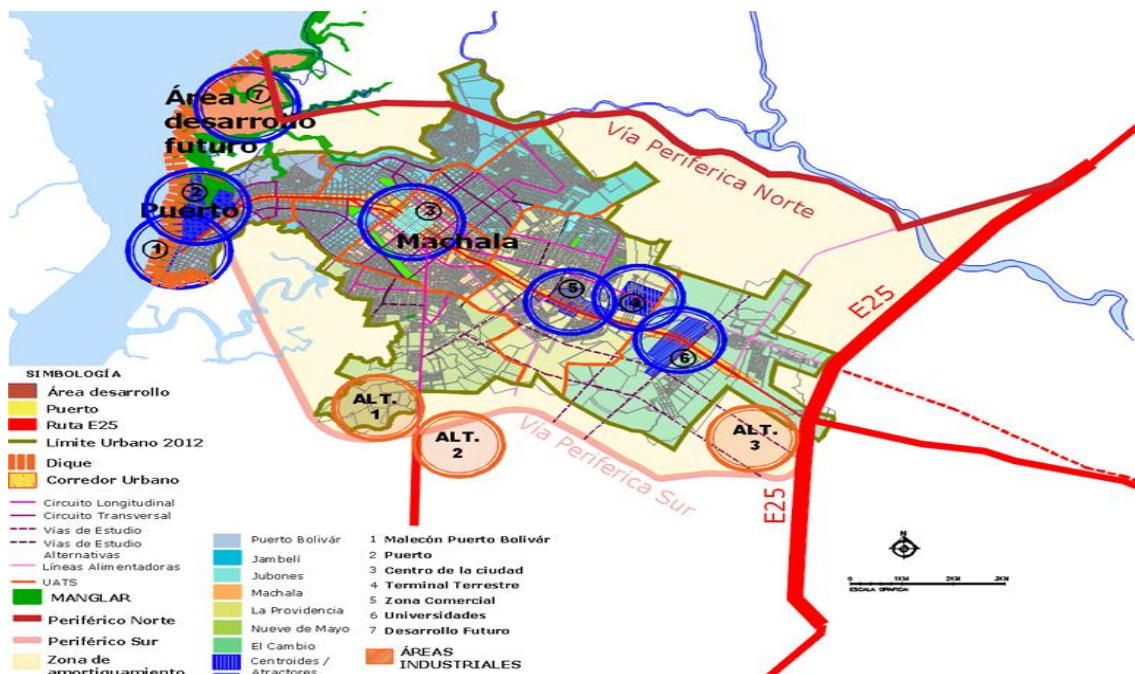
1.1. Línea Base del Proyecto

Los datos e información que se presentarán a continuación, pertenecen al (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cantón Machala, 2022)

1.1.1. Ubicación, límites y extensión

Machala se encuentra localizada al sur de la región litoral del Ecuador, es decir, en la costa ecuatoriana. Es llamada también como San Antonio de Machala, reconocida como el segundo puerto más importante de la República del Ecuador, llevándose el mérito de llamarse capital bananera del mundo. La constituyen 7 parroquias urbanas: Puerto Bolívar, Jambelí, Machala, Jubones, La Providencia, El Cambio y 9 de mayo, y una parroquia rural: El Retiro.

Ilustración 1: Plano Territorial de la Ciudad de Machala



Fuente: DIPLAN Cía. Ltda

El cantón Machala se destaca por tener un movimiento económico estable, es decir, se mantiene siempre en un índice financiero de medio, lo que le permitía tener un crecimiento urbano pacífico, pero con el pasar de los años ha ido creciendo aceleradamente. Por ello, se vio en la necesidad de delimitar a la ciudad, tomando como referencia el cauce del río Jubones, pese a que existieron algunos cambios repentinos por la causa del mismo, nada impidió que la red vial se ampliara, trayendo consigo mayor estabilidad económica para la capital bananera del mundo.

1.1.2. Población

Actualmente el área urbana del cantón Machala ha crecido espontáneamente de habitantes y a la vez ha surgido económicamente, ya que se determina según los censos que la población sería aproximadamente de 289.141 personas, representando un 96%, clasificándose de la siguiente manera: 49,08 % hombres y 50,92 % mujeres. Sin embargo, en el área urbana del cantón tiene una población mínima de habitantes, que representan el 4% de la ciudad.

Tabla 1. Población Cantonal

Sexo	Área Urbana	Área Rural	Total
Hombre	136.234	5.676	141.910
Mujer	141.341	5.889	150.196
Total	277.575	11.566	289.141
<i>Fuente: SNI – INEC 2010/Proyecciones 2020</i>			

1.1.3. Servicio de Educación

La educación cumple un papel fundamental dentro del crecimiento de una ciudad, puesto que, a raíz de aquello surgen grandes profesionales, que permitirán que la bella Machala de San Antonio, crezca no solo económicamente, sino también en sabiduría y conocimiento. Según la INEC 2010 existen 217.696 estudiantes y se clasifican dentro del rango de educación primaria y secundaria.

Por lo tanto, se destacan que dentro de la zona de estudio, se cuenta con dos instituciones educativas. La primera institución que es el colegio 9 de Octubre, se encuentra ubicado a 0.12 km en la Av. Las palmeras entre 25 de Junio y Rocafuerte. La segunda Institución, el colegio Ismael Pérez Pazmiño, se encuentra ubicado a 0.53 km en la Av. Las palmeras y General Manuel Serrano.

Ilustración 2: Institución Educativa, Colegio Fiscal 9 de Octubre



Fuente: Autor

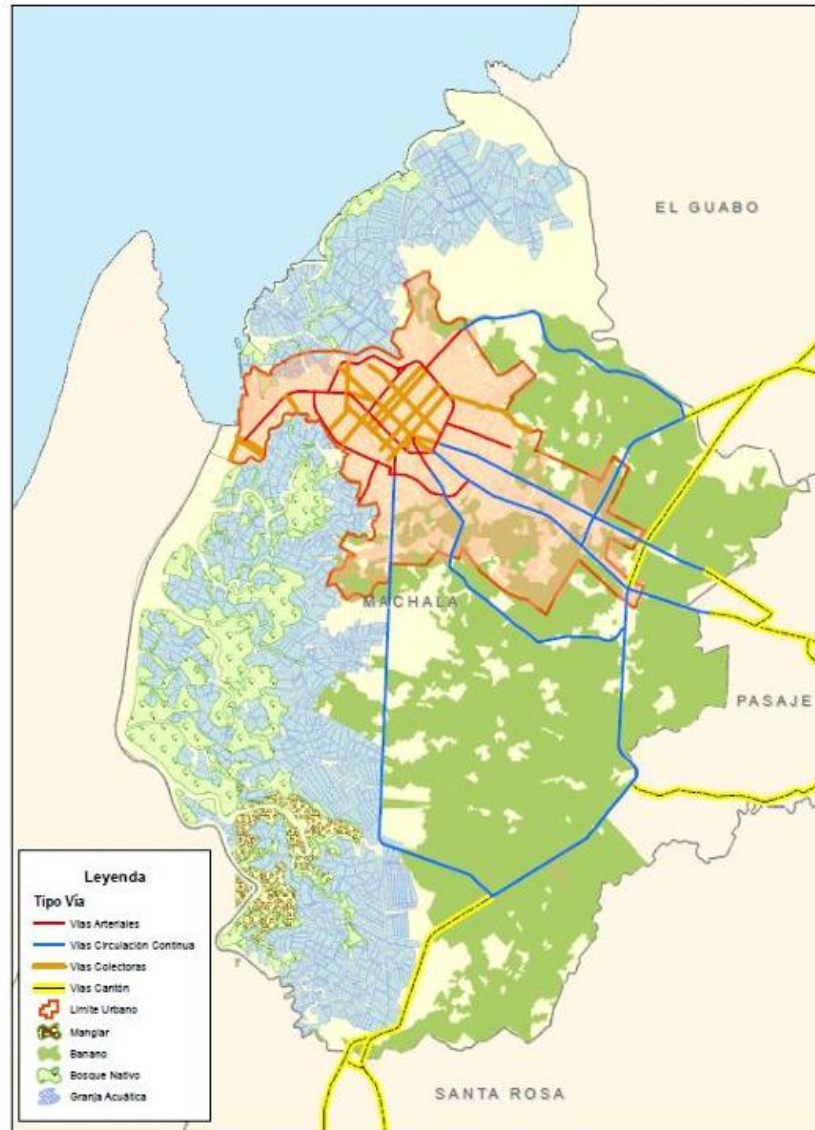
Ilustración 3: Institución Educativa, Colegio Fiscal Ismael Pérez Pazmiño



Fuente: Autor

1.1.4. Uso de Suelo

Ilustración 4: Uso de Suelo



Fuente: Google Earth Pro; PDOT-M 2015.

El uso del suelo cumple un papel fundamental a la hora de hablar de construcción, es bien conocido que Machala se destaca por tener un suelo urbano, es decir, se derivan en suelos consolidados, no consolidados, de protección y tratamientos urbanísticos, la función que cumple cada uno de ellos es para el bienestar de la población, ya que, un suelo consolidado contiene equipamientos e infraestructura necesaria para construir una edificación o urbanización, a diferencia de un suelo no consolidado que no contiene

ningunas de estas opciones y más bien se necesita mejorar su intervención. La protección de suelos urbanos restringe las zonas que nos son aptas de construcción, cuidando de esta manera la vegetación, sin embargo, los tratamientos urbanísticos siguen una ley de protección acerca de la conservación, sostenimiento, renovación y mejoramiento integral (Rendon).

Tabla 2. Uso de Suelo del Cantón Machala

Cobertura y Uso del Suelo	2000		2008		2011	
	Área (HA)	%	Área (HA)	%	Área (HA)	%
Arbórea / arbustiva	3488.03	9.36	3252.90	8.73	4011.44	10.8
Camaroneras	7914.59	21.2	9160.17	24.6	8236.66	22.1
Cuerpos de Agua	1778.74	4.77	1778.74	4.77	1778.74	4.77
Otras tierras	542.05	1.45	459.09	1.23	0	0
Tierras Agropecuarias	18755.50	50.3	19890.86	53.4	19452.81	52.2
Vegetación arbustiva y herbácea	2943.23	7.9	89.93	0.24	0	0
Áreas Urbanas	1853.09	4.97	2643.54	7.09	3795.58	10.2
Total	37275.23	100	37275.23	100	37275.23	100

Fuente: IGM/SNI 2010

1.1.5. Geología

Los suelos geológicos del cantón Machala se los denominan a zonales plásticos de buena calidad en base a la agricultura, si bien es cierto, aumenta al desarrollo económico y productivo. Por otro lado, las llamadas arcillas marinas de estuario, forman parte de los suelos que se mencionó anteriormente, sin embargo, tuvieron afectaciones gracias a la contaminación minera y camaronera, lo que ha provocado que el suelo se vaya degradando poco a poco, dejándolo infértil.

1.1.6. Intensidad Sísmica

Las rocas que se encuentra bajo el subsuelo, son aquellas que restringe el movimiento telúrico del suelo, cuando éstas sufren daños causados por el desprendimiento, rotura o acomodamiento provocan remesones o movimientos bruscos a la tierra, creando una alerta de peligro en la zona habitada, esto puede llegar a sentirse en diversos puntos de la zona afecta y en algunos lugares las ondas de desplazamiento pueden llegar a ser mayor que otras, provocando incluso daños en la infraestructura de viviendas, edificios y carreteras.

1.1.7. Movimientos en Masa

Se denomina así a los desplazamiento de rocas, provocando el cambio del contenido de humedad del suelo. En su mayoría, en carreteras de Montañana, provoca derrumbes e inestabilidad en la vía, lo que la determina como una vía deficiente, en las vías urbanas estos movimientos llegan a causar el llamado fenómeno de licuefacción del suelo, dónde pierde su firmeza y estabilidad.

1.1.8. Susceptibilidad a la Erosión

La erosión en los suelos provoca que su capa superficial se vaya deteriorando, dejando de proporcionar a la vegetación los debidos nutrientes, lo que provoca una disminución en la productividad agrícola, perdiendo de esta manera el recurso alimenticio de la cosecha.

1.1.9. Situación Vial

La infraestructura vial nacional, es un apoyo del desarrollo económico de un país, pero si la misma es deficiente, se convierte en un obstáculo de ese desarrollo. Por ende, es indispensable que las vías se encuentren en buen estado, ya que el servicio de este medio permite el manejo económico y sustentable de una ciudad.

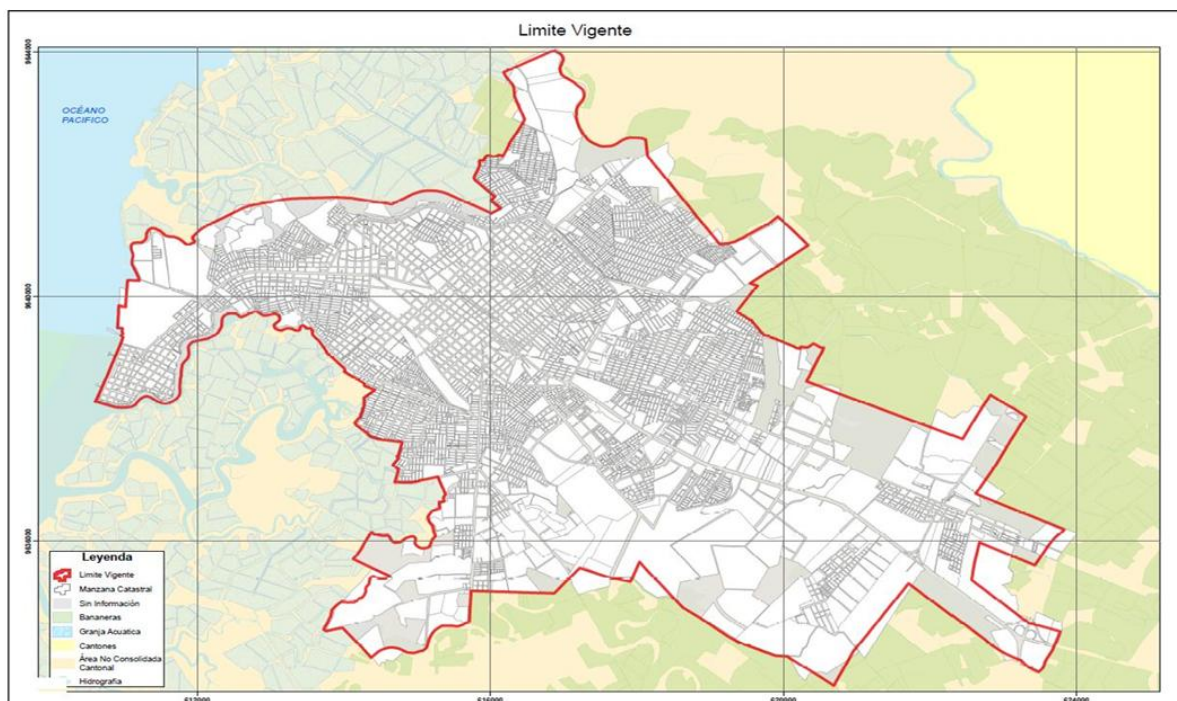
Tabla 3. Estado de las vías

Estado	Longitud (Km)	%
Muy bueno	21,82	1,88
Bueno	52,78	4,54
Regular	17,83	1,54
Malo	69,81	6,01
Sin información	999,02	86,03
Total	1161,25	100

Fuente: Estudios viales y de transporte de la ciudad de Machala, 2011

Se muestran los porcentajes del estudio vial y de transporte de la ciudad de Machala, en el cual se evidencia que, en la zona urbana, el porcentaje de cobertura vial en el estado de muy bueno es de 1,88%, el bueno es de 4,54%, el regular es de 1,54%, el malo es de 6,01%. Sin embargo, existe un porcentaje del 86,03% que se encuentra sin información con respecto al estado vial. Por lo que se puede determinar que cuentan con un alto porcentaje de desinformación acerca del estado de las vías, lo que hace que este medio de servicio a lo largo del periodo del tiempo se encuentre en malas condiciones.

Ilustración 5: Uso de Suelo



Fuente: Dirección de Planificación / Sección de Ordenamiento Territorial – GADMM

Las vías urbanas ocupan el 57,19 % del territorio del cantón. Esto se relaciona con la presencia de la trama urbana de la ciudad. Mientras el 42,81 % corresponde a las vías rurales y de acceso al área urbana. De estas últimas existe un alto porcentaje clasificadas como caminos de verano y senderos o veredas, hecho que afecta la comunicación interna entre los sitios y la dificultad de acceder de manera rápida y efectiva a los principales centros de abastecimiento del cantón

1.2. Descripción de la Situación Problemática (Causa y Efectos)

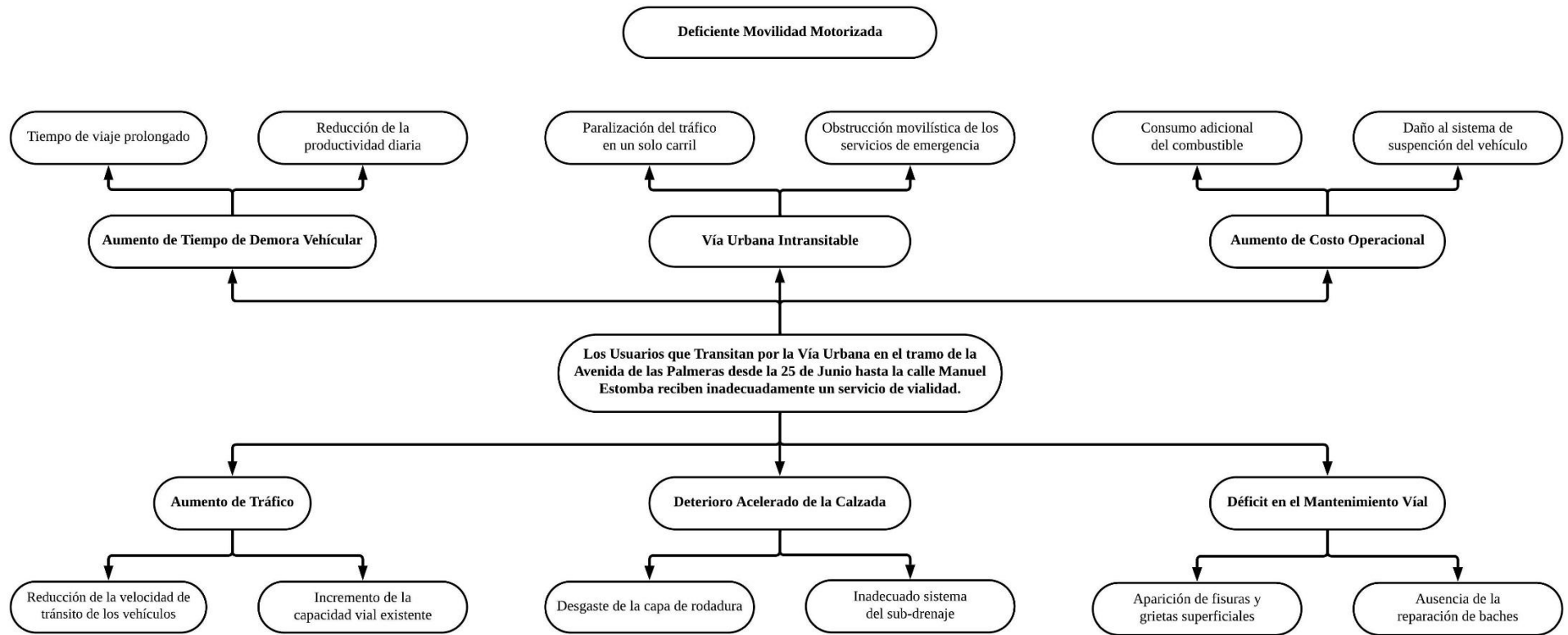
El aumento de tráfico existente en la zona de estudio, se genera por la reducción de la velocidad de tránsito, provocando que incremente la capacidad vial existente, de esta manera se suscita un aumento en el tiempo de demora vehicular viéndose afectada la productividad diaria por el tiempo de viaje prolongado.

Por consiguiente, el deterioro acelerado de la calzada, es provocado por el desgaste de la capa de rodadura y la inadecuada instalación del sistema de subdrenaje, provocando que la vía urbana de la ciudad no sea transitable, causando la paralización del tráfico en un solo carril y la obstrucción movilitica de los servicios de emergencia.

No obstante, la falla en el mantenimiento vial, ocasiona que en el pavimento flexible se manifiesten fisuras y grietas superficiales; sin dejar por alto, la ausencia que existe en reparar los baches, provocando el aumento en el costo operacional, ocasionando el consumo adicional de gasolina y daño al sistema de suspensión del vehículo.

Finalmente, se determina lo siguiente: El análisis de causas y efectos directos mencionados anteriormente y la problemática central se basa en el árbol de problemas planteado acerca del inadecuado servicio de vialidad que presentan los usuarios que transitan en la Avenida las Palmeras desde la calle 25 de junio hasta la calle Manuel Estomba, vía urbana de la ciudad de Machala, lo cual ocasiona una función deficiente en la movilidad motorizada.

Ilustración 6:Árbol de Problemas



Fuente: Autor

Ilustración 7:Grietas



Fuente: Autor

Ilustración 10:Fisuración



Fuente: Autor

Ilustración 8:Inadecuado Sistema del Subdrenaje



Fuente: Autor

Ilustración 11:Desgaste de la Capa de Rodadura



Fuente: Autor

Ilustración 9:Reducción de la Velocidad de Tránsito



Fuente: Autor

Ilustración 12:Aumento de la Capacidad Vial Existente



Fuente: Auto

1.3. Formulación del Problema: Preguntas Científicas

La capacidad vial de los conductores se ve directamente afectada por un inadecuado servicio de vialidad. Como resultado del mismo, la vía es más propensa a que sufra un deterioro en la capa de rodadura, inadecuado sistema del subdrenaje, paralización del tráfico y otros obstáculos que pueden causar la deficiencia en la movilidad motorizada. Además, un servicio de vialidad inadecuado puede ocasionar la reducción de la productividad diaria y prolongar el tiempo de viaje.

Por otra parte, el inadecuado servicio de vialidad puede tener algunas consecuencias, una de ellas se trata de la aparición de las fisuras y grietas en el pavimento, de tal manera que los conductores son los principales afectados, es decir, esta consecuencia provoca que los vehículos adquieran combustible adicional de lo ya establecido, provocando el aumento en el costo diario y a su vez disminuyendo sus ganancias. De la misma forma, afecta al sistema de suspensión.

El aumento de tráfico ha provocado el incremento en la capacidad vial existente, por lo que ha reducido la velocidad de tránsito de los vehículos. Esta situación ha tenido un impacto negativo en diversos aspectos, tales como: El deterioro de la capa de rodadura y el aumento de costo de operación.

Por lo tanto, analizando lo descrito anteriormente en la presente investigación se plantea el siguiente problema, ¿Los usuarios que Transitan por la Vía Urbana en el tramo de la Avenida de las Palmeras desde la calle 25 de junio hasta la calle Manuel Estomba reciben un inadecuado de servicio de vialidad?

1.4. Delimitación del objeto de estudio

El trabajo en cuestión analiza el inadecuado servicio de vialidad que tienen las vías urbanas de la ciudad de Machala, específicamente en el tramo de la Avenida de las Palmeras desde la calle 25 de junio hasta la calle Manuel Estomba.

Ilustración 13: Delimitación de la zona de estudio de la calle Avenida las palmeras



Fuente: Openstreetmap

La carretera inicia con la calle principal “Las Palmeras” desde la calle secundaria Av. 25 de Junio hasta la calle Manuel Estomba, abarcando 0.72 km de vía que corresponde al límite urbano del cantón. No obstante, lleva consigo un ancho estimado de 4,59 m y una longitud de 736,36 m, es revestida en su mayoría por pavimento flexible.

1.5. Justificación

El estudio en curso se sustenta con una exhaustiva investigación bibliográfica, en la que se ha tomado en cuenta artículos científicos, proyectos de tesis publicados, el PDOT oficial de la ciudad de Machala, entre otros. Con el propósito de justificar la información recopilada acerca de las vías urbanas para el análisis del inadecuado servicio de vialidad en la ciudad de Machala.

La vía a estudiar es una de las principales de la ciudad, a través de ella se movilizan los vehículos de carga pesada que traen consigo mercadería de otras ciudades, la misma que es despachada en el puerto marítimo (Portuaria) de Puerto Bolivar, se toma en consideración esto, ya que, a través de este medio permite que la ciudad crezca en desarrollo económico, de modo que, es vital que las vías se encuentren en buen estado, para que el desarrollo económico no sea un obstáculo y más bien sea un sustento para la ciudad. Sin embargo, el inadecuado servicio de vialidad es uno de las problemáticas más grandes que presenta esta vía, lo que es preocupante tanto en la deficiente movilidad motorizada y el impacto que tendrá el desarrollo socioeconómico de la ciudad, dado que,

el tiempo de demora vehicular provoca retrasos al lugar de destino e incluso accidentes de tránsitos en la vía.

Una evaluación estructural de pavimento sería eficaz para determinar el daño que sufre la vía a través de los vehículos con cargas pesadas, de manera que el mercado no se vea afectado y al contrario se motiven las empresas a surgir la economía de la ciudad, generando empleos y buscando mejorar la calidad de vida de las personas que residen en la misma. De esta forma, aumentar la seguridad vial para que los ciudadanos lleguen a tiempo al lugar de destino.

La importancia que se tiene al evaluar la estructura del pavimento es para mejorar la movilidad motorizada para los usuarios que transitan por esta vía. Si bien es cierto, una carretera en buen estado disminuye el tráfico y los accidentes vehiculares. No obstante, mejora la calidad de vida de los usuarios al facilitar el acceso a los servicios y oportunidades. De igual forma, una vía en buen estado disminuye el costo operacional permitiendo que sea una movilidad segura. Además, este documento tiene como finalidad obtener el título de Ingeniería Civil.

1.6. Objetivos: General y Específicos

1.6.1. Objetivo General

Evaluar la estructura del pavimento flexible en ciudades costeras, mediante el estudio de la capacidad vial y capa de rodadura para el mejoramiento de la movilidad motorizada en la ciudad de Machala.

1.6.2. Objetivos Específicos

- Fundamentar conceptualmente la evaluación de la estructura del pavimento flexible mediante referencias bibliográficas que garanticen una movilidad motorizada eficiente en vías urbanas.
- Analizar la capacidad vial y capa de rodadura mediante el trabajo de campo y laboratorio para una mejora en la fluidez del tránsito vehicular en el tramo de la Avenida de las Palmeras desde la calle 25 de junio hasta la calle Manuel Estomba.

- Plantear alternativas en la estructura del pavimento flexible mediante los resultados obtenidos en el análisis de la capacidad vial y capa de rodadura para el mejoramiento de la movilidad motorizada en las vías urbanas.

CAPÍTULO II:

2. MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes Contextuales

2.1.1. Micro

El crecimiento de un País, se desarrolla en el aspecto político, social, cultural y económico, siendo este último una parte esencial para el avance de una ciudad. Según algunos autores como es el caso de Zapata Rogel et al, en su investigación, determinan que las carreteras constituyen un pilar esencial en la economía y desarrollo de un país porque permiten la accesibilidad y movilización de personas o bienes a diferentes comunidades, por tal razón, es importante que la estructura vial se mantenga en estado óptimo garantizando un alto nivel de seguridad a todos los usuarios (Zapata et al., 2023; Zapata et al., 2023)

Si bien es cierto, la población ha tenido un rápido crecimiento, por ende, las demandas de movilidad y los problemas de seguridad vial requieren un diseño más estratégico que favorezca el desarrollo económico, social y ambiental. Por ende, una infraestructura vial adecuadamente diseñada es esencial para una conducción segura y sin interrupciones, lo que aumenta la confianza del conductor (González et al., 2023)

Por ello, Cedeño Vélez et, en su investigación determinó que las vías se construyen con diferentes tipos de pavimentos: Flexibles, rígidos, articulados o semirrígidos. Dando a conocer que, en Ecuador, los pavimentos flexibles son los más utilizados, por el simple hecho de que la compone una mezcla superficial asfáltica muy delgada. También, a través de este estudio se pudo conocer la capacidad resistente de la estructura del pavimento flexible en la ciudad de Portoviejo, lo hicieron a través del método de cálculo de espesores de pavimentos flexibles mediante la norma AASHTO-93 y con la Guía de diseño empírico mecanicista AASHTO-2004. Obteniendo como resultado que las estructuras diseñadas mediante ambos procedimientos, cumplen con los criterios de comportamiento, tanto

agrietamiento, como deformación permanente. Sin embargo, una diferencia apreciable en los espesores, siendo significativamente menores en las estructuras calculadas mediante el procedimiento AASHTO 2004 en comparación con las diseñadas aplicando la Norma AASHTO-93 (Cedeño et al., 2023)

En otra ocasión, Vásquez Vargas et al, presentó una investigación con respecto a las vías de la Provincia de El Oro, dando a conocer que las estructuras viales no cumplen con los requisitos mínimos de construcción, considerando que existen sobredimensionamiento en los espesores de la estructura, lo que conlleva a que se reduzca la vida útil del proyecto y a su vez aumente los costos de construcción y/o mantenimiento. El método que se aplicó en este estudio fue el de la ASSTHO-93, el método analítico por fatiga y deformación. Obteniendo como resultado, que la mejor opción es proponer un modelo de optimización donde indique que la capa de rodadura será de espesor mayor a 9 cm, la base entre 10 y 15 cm, la subbase mayor a 20 cm, con una capa estabilizada de suelo-cemento de 15 cm (Oña y Veliz, 2024).

2.1.2. Meso

En países de América Latina, en especial Ecuador en su parte rural, cuentan con caminos sin pavimentar, lo que ocasiona una gran dificultad al momento de implementar soluciones de pavimento con materiales de construcción convencionales. Según Cuenca Borrero et al, en su estudio presenta un catálogo en dónde da a conocer las diferentes secciones de pavimentos predefinidas con un enfoque empírico-mecanicista, determinando los diferentes espesores de capas necesarios del paquete estructural, teniendo en cuenta la capacidad portante del suelo y la caracterización de los materiales. Resultando que las vías de bajo tráfico pueden ser rehabilitadas para que acojan el volumen de tráfico que existen en cada región (Flores de Valgas y Mogrovejo, 2023).

Los niveles de servicio y relación de volumen-capacidad resultan un análisis que se debe llevar a cabo en Ecuador, pues el congestionamiento vehicular se vuelve una problemática con respecto al daño que le provoca a la estructura del pavimento. Sin embargo, no existe información que hable acerca de la demanda vehicular, capacidad vial y mucho menos del nivel de servicio de las vías del país. Lo que provoca una desinformación al momento de querer implementar una solución (Peñañiel et al., 2023).

Siguiendo esta línea de estudio, se puede observar que la circulación del sistema integrado de transporte público es vital para mejorar la calidad de vida de los usuarios que transitan por aquella zona, por lo que, en definitiva, el análisis estructural del pavimento ayuda a evaluar las alternativas económicas y constructivas de un país, sin olvidar que se debe estimar los aspectos de diseño, teniendo en cuenta las características geotécnicas y de tránsito de la zona evaluada (Román et al., 2024)

2.1.3. Macro

En relación a lo anterior, el sistema de gestión de pavimentos y la evaluación económica de proyectos de carreteras han sido adoptados en los países en desarrollo. En consecuencia, a esto, se ha visto afectado el diseño del asfalto, esto se da por las tensiones que se ejercen en el pavimento, provocando fatigas, baches, surcos, parches, caídas de borde, entre otros, provocando que disminuya el tiempo de vida útil. Por ejemplo, Harinder et al, muestra una solución óptima en su investigación, aquella que se llevó a cabo en Hyderabad, Telangana, India. Propuso estimar el deterioro del pavimento a través del índice de rugosidad internacional basado en el HDM-4, obteniendo como respuesta el deterioro avanzado de la vía, tomando la decisión de aplicar un mantenimiento adicional para que el deterioro sea menos progresivo (Zambrano y Villacreses, 2023).

Por último, para mejorar la efectividad de la evaluación del pavimento, se debe tener en cuenta diferentes tipos de métodos, que permitan conocer las condiciones funcionales y estructurales de una sección de carretera, con el fin, de poder tomar decisiones para mejorar la efectividad del pavimento (Lilian y Martha, 2024).

2.2. Antecedente Conceptuales

2.2.1. Evaluación Geotécnica

Según (Hernández et al., 2022) , en su análisis interpreta que la gestión de pavimentos es fundamental para conocer sus propiedades e indicadores. Sin embargo, en algunas ocasiones la evaluación geotécnica, es necesaria para identificar los espesores de las capas y sus características in situ. No obstante, la ubicación de los sondeos cumple un rol importante en el área de construcción, pues, dependiendo de la debilidad estructural y el nivel de degradación se tomará la decisión de hacer el ensayo destructivo o no destructivo.

2.2.2. Evaluación del Pavimento Flexible

De la Cruz Vega et al, establece que la evaluación del pavimento flexible proporciona información acerca del estado actual de un pavimento, permitiendo de esta manera tomar acciones oportunas e inmediatas según sea el caso. Además, propone dos tipos de evaluación de pavimento: Evaluación funcional que se relaciona con el confort del usuario y la evaluación estructural que tiene que ver con la capacidad de soporte de un pavimento frente a la carga vehicular. Por esta razón, conocer la evaluación de la regularidad superficial del pavimento y del paquete estructural en cualquier periodo de su servicio o de la vida útil, permitirá definir las acciones de mantenimiento o rehabilitación necesarias en el momento oportuno (De la Cruz et al., 2022).

2.2.3. Superficie del Pavimento

Es el contacto entre el neumático y el pavimento, rigiéndose por el mecanismo de fricción que está íntimamente relacionado con la condición de ésta y las propiedades del caucho del neumático, por lo que debe tener suficiente resistencia al deslizamiento para permitir que un vehículo que pasa sobre ella acelere y pare/frene de manera segura y cómoda. Siguiendo esta línea, la resistencia al deslizamiento, es aquella fuerza de fricción producida por la rotación de las ruedas sobre la superficie del pavimento, determinando así su valor único bajo un conjunto de pruebas identificando las características del pavimento en un momento dado puesto que evoluciona con el tiempo debido a los esfuerzos del tráfico, las condiciones climáticas y en ocasiones a una mala gestión de pavimentos. Conceptos que se deben tener claros al momento de construir un proyecto o a la vez de brindar soluciones a lo que ya existe (Muñoz y Zevallos, 2021).

2.2.4. Infraestructura Vial

Es un referente cuando trata acerca de la influencia en el progreso de una región, si bien es cierto, el estado de las vías disminuye la calidad del servicio, aumenta el costo de transporte y afecta la seguridad vial. En relación a lo anterior, la evaluación de la condición de pavimentos detecta las fallas que este presenta, por lo que, se puede esclarecer mejor el panorama y brindar soluciones acordes a lo evaluado (Ríos et al., 2020).

2.2.5. Capacidad Vial

Toma como referencia al máximo de vehículos que pueden pasar en un punto específico, pues bien, esto va a depender de las condiciones que tenga la carretera, es decir, la infraestructura vial, condiciones de tránsito y condiciones de control, aquellas que modifican la capacidad del sistema (Tarek et al., 2020).

2.2.6. Congestión Vehicular

Chamba González y Yaguana Condoy, en su investigación, definen que la aglomeración de vehículos se da por la capacidad vial insuficiente, lo que provoca no poder satisfacer la demanda vehicular, desencadenando diferentes tipos de causas tales como: Tiempos de espera, sonidos molestos, retraso en tiempos de viaje, contaminación ambiental, consumo de combustible y accidentes de tránsito. Si bien es cierto, La congestión vehicular es uno de los problemas que afectan la calidad de vida de la sociedad día con día. Ejemplo: La cantidad de vehículos que se acumulan en una vía, generando una obstrucción que dificulta la libre circulación y aumenta el tiempo de llegada de los vehículos a su destino (Chamba y Yaguana, 2023).

2.2.7. Pavimento

La Asociación de Administradores de Carreteras de los Estados Unidos (AASHTO: 1993) señala que: “Existen dos puntos de vista para definir un pavimento: El de la Ingeniería y el del Usuario.” Desde la perspectiva de la Ingeniería: Lo describen como un elemento estructural el cual se encuentra apoyado en toda su superficie sobre el terreno de fundición llamada subrasante (ASTM).

2.2.8. Subrasante

Es una de las capas más importantes, pues en ella se derivan las cargas vehiculares más pesadas. Por lo que, debe soportar un sistema de capas de espesores diferentes, denominado paquete estructural, este ha sido diseñado para soportar cargas externas durante un periodo determinado de tiempo.

2.2.9. Capa de Rodadura

El pavimento está conformado por diferentes capas, uno de ellas es el de la capa de rodadura, esta puede verse directamente afectada por los vehículos de carga pesada. No

obstante, se ubica en la parte superior del pavimento que se la puede describir de diferentes tipos, bituminoso (flexible), concreto cemento portland (Rígido) o a su vez de adoquines, siempre que cumplan con la función de sostener el tránsito en la ciudad.

2.2.10. Base

Se la conoce como la capa inferior de la capa de rodadura o segunda capa, cumple con la función de sostener, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito. El material que la conforma es granular drenante ($\text{CBR} \geq 80\%$) o puede ser tratado con asfalto, cal o cemento.

2.2.11. Subbase

Capa con un material especificado y un espesor de diseño exclusivo, cumple con el rol de soportar la carga de la base y carpeta. Además, cumple con el rol de capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Esto va a depender del tipo de diseño y dimensionamiento del pavimento, sin embargo, esta capa puede obviarse. El material que la conforma es granular ($\text{CBR} \geq 40\%$) o tratada con asfalto, cal o cemento (Baque, 2020).

2.2.12. Pavimento Asfáltico

En la mayoría de los países, si es que no es en todos, utilizan el pavimento asfáltico, esto se da por su buen rendimiento, valor relativamente bajo y su proceso fácil. Esta muestra bituminosa según Orlando Jefferson et al, dice que está conformado en esencia por la unión de cemento asfáltico, áridos y relleno. Sin embargo, con el pasar el tiempo se va desintegrando por los diversos factores ambientales y la carga pesada que recibe a diario (Orlando et al., 2022).

2.2.13. Cargas Vehiculares

El ministerio de obras públicas (Mop), esclarece que las cargas vehiculares que el contratista opera sobre las bases, pavimento o estructuras dentro del proyecto, no deben sobrepasar los límites fijados en las leyes y reglamentos pertinente en vigencia, exceptuando que se estipule lo contrario en los documentos contractuales (MOP - 001-F 2002, 2002).

2.2.14. Resistencia al Deslizamiento

Es una medida de fricción que se obtiene bajo condiciones específicas y estandarizadas, se da debido al tráfico y condiciones climáticas. Con el fin de ayudar en la optimización de la materia prima antes de la construcción de la vía y durante el tiempo de vida útil, programando trabajos de mantenimiento y reparación (Do et al., 2020).

2.3. Antecedentes Referenciales

En la presente investigación, se empleará diferentes enfoques metodológicos entre los cuales se encuentra Cuenca Barrero et al, con su estudio: “En vías de Bajos Volúmenes de Tráfico en la Provincia de Manabí”, en el cual presenta un catálogo de secciones de pavimentos predefinidas, pero lo desarrolla con una metodología empírico-mecanicista, en dónde determina los espesores de capas necesarios del paquete estructural. Obteniendo como respuesta que los enfoques empírico-mecanicista con el apoyo de programas informáticos permiten evaluar la respuesta de la estructura, fundamentándose en el cuidado de la cimentación de las diferentes deformaciones que se presenten, variando el espesor de la capa base granular, limitando la deformación vertical en la parte superior de la cimentación teniendo en cuenta los factores de diseño de la región (Cuenca Borrero et al., 2023).

La evaluación estructural del pavimento es importante a emplear en esta investigación, por ello, American Society for Testing and Materials (ASTM), en su estudio “Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys¹”, determina el tipo, cantidad y severidad del deterioro del pavimento, utilizando el método del Pavement Condition Index (PCI) (SACHIN et al., 2021).

El análisis de los espesores con respecto a lo que propone la norma, es parte de este estudio, según Vásquez Vargas et al, en su estudio “Modelo De Optimización De Estructuras Viales”, presenta el desarrollo de modelo de optimización de espesores de pavimento, estabilizando la subrasante con cemento para mejorar de esta forma las propiedades mecánicas del suelo y a su vez la resistencia a las condiciones climáticas en las vías. Aplicando el método de análisis y diseño con el método ASSTHO 93 y el análisis del método analítico por fatiga y deformación. Obteniendo como resultado que la deformación tangencial dentro de la capa de asfalto. La fatiga indica un tráfico admisible

inferior al tráfico de diseño por lo que la carpeta asfáltica fallará antes de lo calculado (Vásquez et al., 2023).

Otro método a emplear es el que presenta Zadehmohamad et al, en su estudio: “Evaluating long-term benefits of geosynthetics in flexible pavements built over weak subgrades by finite element and Mechanistic-Empirical analyses”, en dónde evalúa los beneficios del refuerzo geo sintético en pavimentos flexibles construídos sobre subrasantes débiles, utilizando la metodología de elemento infinitos (FE), resultando que la mejora/beneficio de los pavimentos flexibles reforzados debido al refuerzo geosintético se demuestra comparando los resultados de secciones similares de pavimento no reforzado (Mehdi et al., 2022).

El método que se empleó en el “System reliability-based design optimization of flexible pavements using adaptive meta-modelling techniques” fue acerca de la optimización del Diseño Basado en la Confiabilidad del Sistema (SRBDO), en donde se predefinió la combinación óptima de espesores y módulos de capas de pavimento, de esta forma cumpliendo con los niveles objetivo de confiabilidad, para Integra eficientemente el análisis económico de varias alternativas de diseño de pavimentos con el procedimiento Mecanístico-Empírico en un marco de confiabilidad del sistema (Deepthi y Sivakumar, 2023).

No obstante, Hochmair et al, en su estudio realizó el proceso de imágenes aéreas para producir estimaciones del índice de condición del pavimento (PCI), aquellas que se clasifican en cuatro escalas de Bueno (PCI 70), Regular ($50 < \text{PCI} < 70$), Malo ($25 < \text{PCI} < 50$), y Muy Pobre ($\text{PCI} < 25$), con el fin demostrar que la mejor precisión de validación tiene el mejor rendimiento de precisión de prueba de 0,97, y precisión promedio ponderada, recuperación y puntuación F1 de 0,98, 0,97 y 0,97, respectivamente (Sisi et al., 2023).

En el caso de Solativan et al, en su investigación dio a conocer que la metodología acerca de diseño AASHTO y Mecanístico-Empírico (ME). El TBR (Relación de beneficio del tráfico) y el BCR (Reducción de la capa base) son dos coeficientes que generalmente se han empleado en el enfoque de diseño de AASHTO para tener en cuenta el efecto de

refuerzo de las capas geosintéticas, obteniendo como respuestas del sistema reforzado en ubicaciones críticas del sistema de pavimento. La geometría de modelos constitutivos de la mezcla asfáltica y del geosintético y el tipo de carga se identifican como factores que influyen y controlan la precisión del método de diseño (Ehsan et al., 2020).

Finalmente, “Evaluation of Flexible Pavement Performance Based on HGM-4 and International”, evalúa el desempeño funcional del pavimento en tránsito con el objetivo de conocer cómo se deteriora la estructura del pavimento debido al aumento del tráfico. En esta ocasión, utilizó el método International Roughness Index (IRI), determina la rugosidad y el parámetro de referencia con respecto a la medición de la calidad de rodadura. Concluyendo que la predicción de la vida del pavimento a 10 años en términos de valores IRI reveló la falla de tramos viales por deterioro durante el periodo de 10 años con y sin mantenimiento, además ayuda en la toma de decisiones para aplicar un tratamiento de mantenimiento adicional de estas rutas particulares (Harinder et al., 2023).

Tabla 4. Análisis Comparativo de Metodología para la Evaluación de la Estructura del Pavimento

Título	Autores	Método	Conclusiones	Referencias
Catálogo para el Diseño de Pavimentos Flexibles en Vías de Bajos Volúmenes de Tráfico en la Provincia De Manabí	Cuenca, E. Hernández, F. Moll, R.	Enfoque empírico mecanicista de los espesores de capas necesarios del paquete estructural.	Establecer un catálogo con soluciones estructurales para el diseño de proyectos de construcción rehabilitación de vías de bajo volumen de tráfico en la región.	Cuenca Borrero et al., 2023
Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys1	ASTM	Pavement Condition Index (PCI)	Determina el tipo, cantidad y severidad del deterioro del pavimento	SACHIN et al., 2021
Modelo de Optimización de Estructuras Viales	Vásquez, J. Medina, Y. Sánchez, C. Carrión, L.	Cálculo de espesores en base al Método ASSHTO 93. Demostrando simulaciones donde se analizan los valores de fatiga y deformación, de la capa de rodadura y deformación vertical admisible de la subrasante	Deformación tangencial dentro de la capa de asfalto. La fatiga indica un tráfico admisible inferior al tráfico de diseño por lo que la carpeta asfáltica fallará antes de lo calculado.	Vásquez Vargas et al., 2023
Evaluating long-term benefits of geosynthetics in flexible pavements built over weak subgrades by finite element and Mechanistic-Empirical analyses	Zadehmoha, M. AbuFarsakh, Murad.	Modelos de elementos finitos (FE), evaluó los beneficios del refuerzo geosintético en pavimentos flexibles construidos sobre subrasantes débiles	Determinan secciones similares de pavimento no reforzado.	Zadehmohamad et al., 2022
System reliability-based design optimization of flexible pavements using adaptive meta-modelling techniques	Dilip, M Sivakumar, G.	Optimización del Diseño Basado en la Confiabilidad del Sistema (SRBDO), diseñar la combinación óptima de espesores y módulos de capas de pavimento, para cumplir con los niveles objetivo de confiabilidad, dada la demanda de tráfico esperada y la resistencia de la subrasante en un sitio de pavimento.	Integra eficientemente el análisis económico de varias alternativas de diseño de pavimentos con el procedimiento Mecanístico-Empírico en un marco de confiabilidad del sistema.	Dilip & Sivakumar Babu, 2023
A review on mechanical behavior and design considerations for reinforced-rehabilitated bituminous pavements	Solatiyan, E Bueche, N Carter, A	Efectos mecánicos de los geosintéticos en los métodos de diseño AASHTO y Mecanístico-Empírico (ME). El TBR (Relación de beneficio del tráfico) y el BCR (Reducción de la capa base) son dos coeficientes que generalmente se han empleado en el enfoque de diseño de AASHTO para tener en cuenta el efecto de refuerzo de las capas geosintéticas	Respuestas del sistema reforzado en ubicaciones críticas del sistema de pavimento. La geometría de modelos constitutivos de la mezcla asfáltica y del geosintético y el tipo de carga se identifican como factores que influyen y controlan la precisión del método de diseño	Hochmair et al., 2023
PCIer: Pavement Condition Evaluation Using Aerial Imagery and Deep Learning	Hochmair, H Han, Sisi Chung, In-Hun Jiang, Yuhan Uwakweh, Benjamin	Procesar imágenes aéreas y producir estimaciones del índice de condición del pavimento (PCI), que se clasifican en cuatro escalas de Bueno (PCI > 70), Regular (50 < PCI < 70), Malo (25 < PCI < 50), y Muy Pobre (PCI < 25).	Las comparaciones de rendimiento demostraron que la mejor precisión de validación tiene el mejor rendimiento de precisión de prueba de 0,97, y precisión promedio ponderada, recuperación y puntuación F1 de 0,98, 0,97 y 0,97, respectivamente	Sisi et al., 2023
Evaluation of Flexible Pavement Performance Based on HGM-4 and International Roughness Index	D. Harinder, P. Anusha, A Ramesh	Método IRI, deterioro de la superficie como surcos, parches, grietas y deshilachado y las características geométricas de las vías mediante el equipo denominado "Road Sistema de Medición y Adquisición de Datos (ROMDAS)." Programa HDM-4 y KENLAY para predecir qué tan flexible es	Pavimento a 10 años en términos de valores IRI reveló la falla de tramos viales por deterioro durante el periodo de 10 años con y sin mantenimiento.	Harinder et al., 2023

Fuente: Autor

CAPÍTULO III:

3. METODOLOGÍA

3.1. Modalidad Básica de la Investigación

La propuesta temática “Evaluación Geotécnica de Pavimento Flexible en Vías Urbanas de Machala, un Enfoque para Ciudades Costeras, Aplicando la Metodología Empírico Mecanista” es de índole descriptivo, cualitativo y cuantitativo; a través de estudios, simulaciones en software acerca del paquete estructural y evaluación de fatiga, investigación bibliográfica, artículos, libros, normativas.

3.2. Tipo de Investigación

En el transcurso de encontrar información de valor, se desarrolló tres enfoque de investigación tales como: Documental, campo y descriptiva.

3.2.1. Investigación Descriptiva

Se enfoca en hallar información relacionada a la zona de estudio, con el fin de evaluar el estado del pavimento utilizando el método PCI (Paviment Condition Index) (Tello-Cifuentes et al., 2021).

3.2.2. Investigación Documental

Emplea como base una muestra significativa de textos, que con el paso del tiempo recopilan y analizan información mediante lectura de documentos, libros, revistas, tesis, maestrías, facilitando datos en relación al software ya mencionado (Morgan, 2022). Con el fin de conocer las falencias que tiene la vía y a raíz de aquello, presentar una eficiente movilidad motorizada.

3.2.3. Investigación Experimental

Se fundamenta en la manipulación intencional de la variable independiente y del impacto de una variable dependiente acerca de un estudio investigativo. Por lo que, elaborar ensayos de CBR en el laboratorio, ayuda a obtener los datos precisos acerca del estado de la estructura del pavimento, de esta manera se puede identificar el problema, establecer

una hipótesis, recopilar y analizar datos, y a su vez interpretar los resultados (Ramos, 2021).

3.3. Objeto de Estudio

El propósito del estudio, se centra en evaluar el pavimento flexible en vías urbanas para identificar la escala de servicialidad, teniendo en cuenta los datos obtenidos de los métodos aplicados para la mejora de la movilidad motorizada para los usuarios que transitan por estas vías.

3.4. Población

El trabajo en cuestión, analiza el inadecuado servicio de vialidad que tienen las vías urbanas de la ciudad de Machala. Esta investigación va dirigida a los habitantes que residen en el tramo de la Avenida de las Palmeras desde la calle 25 de junio hasta la calle Manuel Estomba, abarcando 0.72 km de vía que corresponde al límite urbano del cantón.

3.5. Métodos Teóricos y Empíricos con los Materiales Utilizados

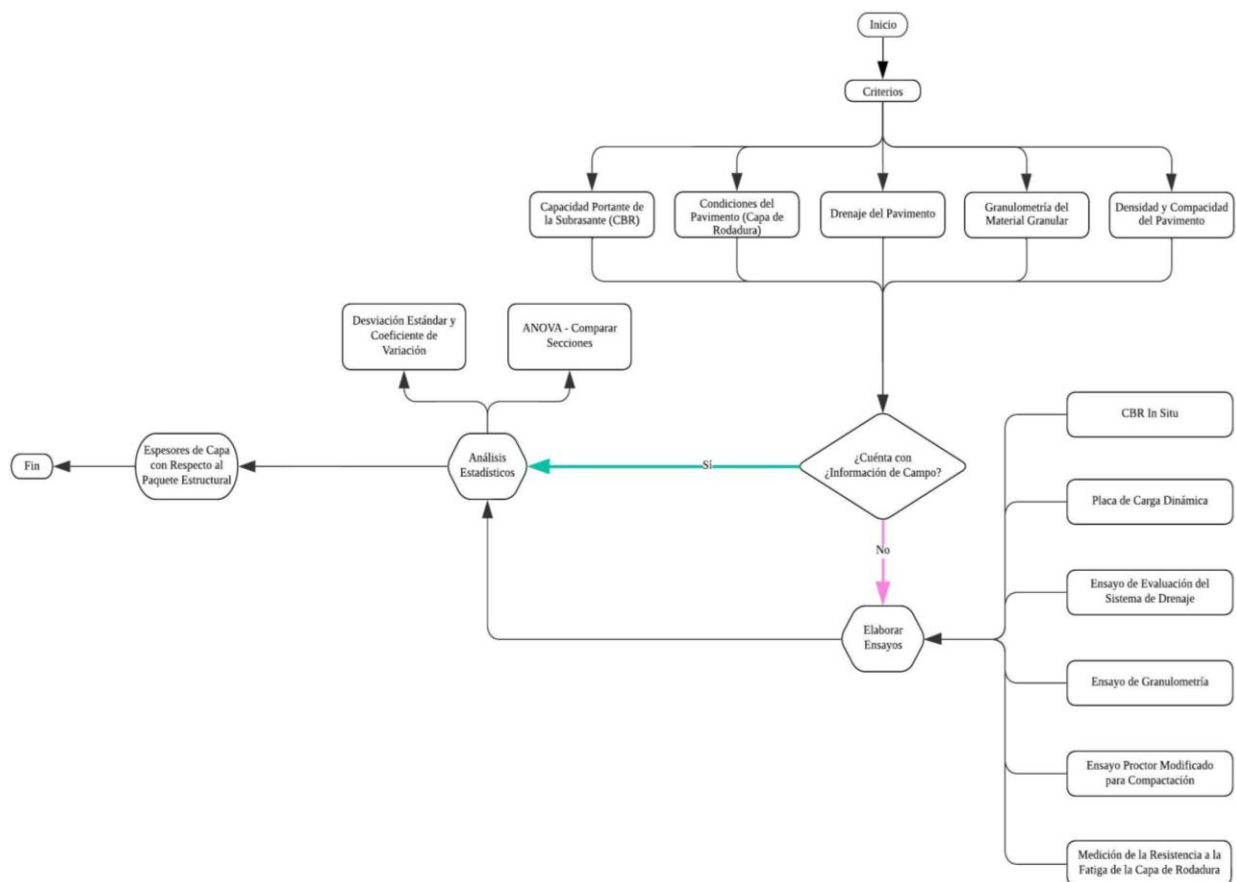
Se enfoca en recolectar información mediante artículos científicos, que respalden las bases teóricas y técnicas del estudio que se lleva a cabo. No obstante, facilita los métodos y análisis con respecto a la " Evaluación Geotécnica de Pavimento Flexible en Vías Urbanas de Machala, un Enfoque para Ciudades Costeras, Aplicando la Metodología Empírico Mecanista ".

El método empírico mecanista, se encarga de analizar estructuralmente el pavimento a través de ciertos criterios establecidos, con el fin de obtener como resultado un buen desempeño estructural. Tal como, **la capacidad portante de la subrasante (CBR)**, según (Mamami et al., 2022) permite conocer a través de muestras de suelo, cuánta carga puede llegar a soportar sin que se provoque un daño un daño adicional; seguidamente, **el criterio de Condición de Pavimento (capa de rodadura)**, determina los niveles de serviciabilidad del pavimento a través de una revisión superficial, midiendo el área de daño y reconociendo el tipo de deterioro que se encuentra en la vía (Boris et al., 2021). A continuación. **El Drenaje del Pavimento**, evita erosiones y reduce el desgaste acelerado de la vía, por ello, dentro del análisis constructivo se debe tener en cuenta un sistema urbano de drenaje sostenible, para evitar riegos accidentales (Eduardo et al., 2022); luego,

La granulometría del material granular, se define en la compactación del suelo, mejorando la resistencia del pavimento, pese que, es vital mencionar que la cohesión de asfaltos y agregados derivados, afectando la resistencia al desgaste (Ignacio et al., 2021). Posteriormente, **la densidad y compacidad del pavimento**, son factores que afectan la resistencia y capacidad estructural del pavimento, pese a que ambas tienen su propio concepto, se dice que entre mayor densidad exista, mejor será la capacidad de carga (Hugo et al., 2021).

En base a los criterios, se establece si se cuenta con información de campo, en el caso de que si se cuenta, se emplea un análisis estadístico como por ejemplo: Desviación estándar y aplicación del análisis estadístico (ANOVA). Por el contrario, si no se cuenta con datos de campo, se recomienda que inicie con los ensayos in situ, incluyendo CBR, placa de carga dinámica, evaluación del sistema de drenaje, granulometría, ensayo Proctor modificado y medición de la resistencia a la fatiga de la capa de rodadura. Con el fin de evaluar los espesores de capa del paquete estructural, arrojando información precisa acerca del desempeño que cumple el pavimento en la vía.

Ilustración 14: Descripción de la Secuencia Metodológica



Fuente: Autor

3.6. Método Empírico

A través de una supervisión eficiente, se aspira conocer las condiciones superficiales en que se encuentra el pavimento. Pese que, en la actualidad se han identificado algunas fallas, estas serán clasificadas y evaluadas, de forma que se obtenga la capacidad portante de la subrasante (CBR)

Mediante los ensayos de CBR ejecutados, se pueda recopilar información sobre la resistencia del suelo, la capacidad portante de la subrasante, la durabilidad del pavimento bajo condiciones locales de tráfico y ambiente. De forma que se establezcan las muestras y porcentajes del CBR.

3.7. Método de Evaluación

La evaluación del pavimento flexible en la zona de estudio, ha demostrado la condición en que se encuentra actualmente, sin dejar a un lado las causas que provocan el deterioro en la capa de rodadura. A continuación, se presentan criterios para evaluar el pavimento flexible:

3.7.1. Capacidad Portante de la Subrasante (CBR)

De acuerdo a lo expresado por (Bojacá y Campagnoli, 2022) en su investigación, dan a conocer que el California Bearing Ratio (CBR) puede ser una opción económica y sencilla para determinar el módulo resiliente (Mr) de suelos blandos, aquellos que se encuentran en la subrasante. Por ello, existe un nivel de medición entre el valor de cbr y el soporte del suelo. El rango promedio en el que se debe de evaluar es el siguiente: Para los cbr que tengan menor al 3% se los denomina bajos, mientras que para los cbr del 4% al 9% se los cataloga como mediano. Por el contrario, los que se encuentran mayor al 10%, se los ubica en un nivel alto.

3.7.2. Condiciones del Pavimento (Capa de Rodadura)

(Cárdena, 2024) en su estudio, desarrolla un tipo de modelo predictivo en dónde evalúa la estructura del pavimento y determina las condiciones de la carpeta asfáltica en relación a la capa de rodadura. Por lo tanto, su indicador, verifica si pasa los niveles de fatiga, es decir, existen niveles entre un mínimo y máximo pero el rango aceptable de fatiga debe ser $\leq 200 \mu\epsilon$ (Microstrain), lo que significa que debe tener un espesor mínimo 5 cm

1.1.1. Drenaje del Pavimento

Siguiendo esta línea de pensamiento, (Alaneme et al., 2021) su documento da a conocer la importancia de instalar correctamente el sistema de drenaje, puesto que, el no darle la validación correspondiente hará que el pavimento sufra una falla prematura debido a la alta acumulación de contenido de humedad. Pese a ello, se recomienda que durante la construcción de la vía, se tome en cuenta el estudio topográfico como también la evaluación de las precipitaciones anuales o como en este caso, rediseñar el sistema de drenaje y reconstruir la carretera fallida. Dentro de los criterios de evaluación, la medición del drenaje se basa en un método observatorio, en dónde se toma como satisfactorio: La vía que se encuentra sin agua acumulada.

1.1.2. Granulometría del Material Granular

Por otro parte, el análisis granulométrico cumple un papel fundamental en la rama de la ingeniería civil, específicamente en el área de geotecnia, debido a la necesidad de comprender el comportamiento del suelo como: Cimentación, pavimento y terraplenes, ya sea que, se encuentre expuesta a varias condiciones y aplicaciones (Gutiérrez, 2023). No obstante, es vital seguir rigurosamente el cumplimiento de las normas, como es el caso de la norma American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), aquella que maneja las directrices del diseño y construcción de carreteras, permitiéndose clasificar los suelos de manera eficiente con calidad y consistencia (AASHTO, 2021). Por esta razón, su rango de medición se basa en los porcentajes de los tamaños de partículas, si se lo cataloga como fino, le corresponde un porcentaje del 5%, partículas medianas con valor del 15%, finalmente partículas gruesas dentro del 80%.

Tabla 5. Masa mínima de la muestra de prueba por tamaño de tamiz

Tamaño de tamiz retenido	Masa mínima de la muestra de prueba inicial (g)
3,75 mm (1 1/2 pulg)	10000 (± 50)
19,0 mm (3/4 pulg)	5000 (± 50)
12,5 mm (1/2 pulg)	2000 (± 50)
9,5 mm (3/8 pulg)	1000 (± 50)
4,75 mm (n°4)	750 (± 25)
1,19 mm (n°16)	300 (± 10)
Fuente: Autor	

1.1.3. Densidad y Compacidad del Pavimento

En relación con lo anterior, la densidad y compacidad del suelo cumplen un papel fundamental a la hora de hablar de pavimento flexible, puesto que, ambos son factores que tienen que ver con la capacidad de carga de suelo, resistencia y permeabilidad de agua, es decir, la densidad va en relación al peso y volumen del suelo, mientras que, la compacidad se define como una medida de la proximidad entre partículas del suelo. Ambos, permiten conocer las variaciones del suelo a profundidad. Tal como es el caso de (Marco y Ronald, 2023) en su análisis geotécnico con respecto a la implementación de una base de cimentación de 7 torres, dan a conocer que los suelos se componen de arenas consolidadas tipo sp, con una compacidad que puede variar entre medianamente densa y

densa, lo que significa que proporcionan suelos de baja resistencia y con futuros problemas de asentamientos. Asimismo, cuando se realizan los ensayos de procto modificado, el valor >95% se lo establece como Alto, mientras que los rangos de 85-95%, se los clasifican como medianas y finalmente el promedio <85% es bajo.

Tabla 6. Criterios de Evaluación

Criterio	Definición	Indicador	Nivel de Medición	Unidad de Medida	Índice	Rango/ Valor
Capacidad Portante de la Subrasante (CBR)	Resistencia del suelo evaluada mediante el ensayo CBR (California Bearing Ratio), indicador directo de la capacidad de soporte.	Valor de CBR	Baja, media, alta	Porcentaje (%)	Relación entre el valor de CBR y el soporte del suelo (Huaman et al., 2024)	Baja: <3%, Media: 4%-9%, Alta: >10%
Condiciones del Pavimento (Capa de Rodadura)	Estado de la capa asfáltica en función de su espesor y resistencia a la fatiga bajo tráfico repetido y condiciones ambientales.	Espesor de la capa y resistencia a la fatiga	Mínima, media, alta	Centímetros (cm) / Microstrain ($\mu\epsilon$)	Verificar fatiga (Zapata et al., 2024)	Fatiga aceptable $\leq 200 \mu\epsilon$, Espesor mínimo 5 cm
Drenaje del Pavimento	Capacidad del sistema de drenaje para evitar la acumulación de agua en el pavimento.	Presencia de agua en la superficie y en la subrasante	Satisfactorio, regular, deficiente	Observación visual	Buen sistema de drenaje evita daños por humedad (Felis et al., 2023)	Satisfactorio: sin agua acumulada
Granulometría del Material Granular	Distribución del tamaño de partículas en la subbase y base, que influye en la capacidad de soporte del pavimento.	Curva granulométrica	Fina, media, gruesa	Porcentaje en tamiz	ASTM D2487 (Morales et al., 2023)	5% Fino, 15% Medio, 80% Grueso
Densidad y Compacidad del Pavimento	Nivel de compacidad del pavimento en capas de base y subbase, esencial para la estabilidad del pavimento.	Densidad in situ (Prueba Proctor modificado)	Alta, media, baja	g/cm ³	Densidad máxima del Proctor (Madsen et al., 2024)	Alta: >95% Proctor, Media: 85-95%, Baja: <85%

Fuente: Autor

Según la MTOP 2015: "Normativa para el diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos", clasifican las categorías de la subrasante de la siguiente manera: Para valores de CBR < 3%, se lo denomina inadecuado (S0), mientras que los del $3\% \geq \text{CBR} < 6\%$ son Pobres (S1), de la misma forma los rangos de $6\% \geq \text{CBR} < 10\%$, son suelos regulares (S2), avanzando con el $10\% \geq \text{CBR} < 20\%$ se los cataloga como buenos (S3), además el $20\% \geq \text{CBR} < 30\%$ son suelos de muy buena calidad (S4) y finalmente los suelos denominados Excelente (S5) por su valor de $\text{CBR} \geq 30\%$.

Tabla 7. Escala de Clasificación de las Categorías de la Subrasante – CBR

Tipo	Categoría de la Subrasante	CBR
S ₀	Inadecuada	$\text{CBR} < 3\%$
S ₁	Pobre	$3\% \geq \text{CBR} < 6\%$
S ₂	Regular	$6\% \geq \text{CBR} < 10\%$
S ₃	Buena	$10\% \geq \text{CBR} < 20\%$
S ₄	Muy Buena	$20\% \geq \text{CBR} < 30\%$
S ₅	Excelente	$\text{CBR} \geq 30\%$
Fuente: MTOP 2015		

El índice de condición del pavimento también clasifica a la vía dependiendo del estado en que se encuentre, puesto que, para suelos "Excelentes" se encuentra en un rango de 86–100, mientras el suelo baje su categoría, de la misma manera lo hará su valor de rango estimado.

Tabla 8. Evaluación del PCI

PCI	Clasificación
86 – 100	Excelente
71 – 85	Muy Bueno
56 – 70	Bueno
41 – 55	Regular
26 – 40	Pobre
11 – 25	Muy Pobre
0 – 10	Fallado
Fuente: ASTM 5340	

3.7.3. Procedimiento de los Datos Obtenidos

Además de lo expuesto anteriormente, otro punto crucial es la importancia del análisis estadístico de los resultados obtenidos a través de los métodos empíricos que se pusieron en práctica; cabe señalar que la visita in situ dio a conocer el deterioro de la vía, en

consecuencia a esto se debe de emplear el método de PCI, dónde lo principal es la Capacidad Portante de la Subrasante (CBR). En términos más específicos, en el transcurso de este análisis se realizó ensayos alternativos, producto de aquello se obtuvo: La resistencia del suelo, capacidad portante de la subrasante y la durabilidad del pavimento bajo condiciones locales de tráfico y ambiente.

CAPÍTULO IV

4. Análisis e Interpretación de Resultados

4.1. Evaluación Geotécnica del Pavimento Flexible en la Zona de Estudio

En síntesis a la metodología propuesta en el CAPÍTULO III, con respecto a los diferentes criterios establecidos para evaluar el pavimento flexible, es fundamental continuar con la aplicación de cada criterio.

Para el criterio de **la capacidad portante del suelo (CBR)**, los resultados obtenidos de CBR, se tiene dos muestras y cada una de ellas tiene su propia media establecida, para la muestra 1: 2.10%, según los criterios de evaluación establecidos se dice que se debe de clasificar como bajo, puesto que se encuentra por debajo del valor de 3%, lo que indicaría que su capacidad de soporte es limitada y podría causar inestabilidad en el pavimento. Por otro lado, la muestra 2: 4.20%, lo toma como un rango medio, puesto que se ubica entre los valores de 4% al 9%, determinando que tiene un soporte de suelo moderado y se aplicaría en vías con un nivel de tráfico bajo.

Asimismo, **la condición de pavimento** para el CBR 2.10% se lo toma como bajo, ya que tiene un soporte de capacidad limitado, lo que ocasionaría fallas en el pavimento, puesto que, depende de la estabilidad de su espesor y base, mientras que el CBR 4.20% tiene una capacidad portante media, lo que significa que tiene una subrasante más estable, con un resistencia a la fatiga buena. **El drenaje de pavimento** para el primer cbr, detalla que existen niveles de humedad altos, puesto que la presencia de agua acumulado en el pavimento reduce la resistencia y la vuelve deficiente, mientras que para el segundo, si muestra presencia de agua pero nada alarmante como el primer caso.

Por consiguiente, **la granulometría del material granular** para el caso 1: CBR 2.10%, detalla que existe una mayor presencia de partículas finas (menores al tamiz N°200), lo que reduce la capacidad de soporte y afecta al sistema de drenaje, clasificándose como fina a media, con problemas de soporte. Sin embargo, para el caso 2, tiene granulometría mejor graduada, lo que significa que tiene una combinación de partículas gruesas y finas, lo que favorece la estabilidad tomando en cuenta el drenaje del suelo, clasificándose como media a gruesa, con un mejor nivel de desempeño.

Finalmente, la densidad y compactación del pavimento, para el caso 1: Se dice que tiene una subrasante insuficiente. Con una compactación baja que no alcanza ni el 85% de la densidad máxima del Proctor, lo que se convierte en un riesgo de asentamientos provocando fisuración y deformaciones permanente. En el caso 2: Es una compactación adecuada, dentro del promedio del 85% al 95% de la densidad máxima del Proctor, catalogándola como insuficiente para proporcionar estabilidad en el pavimento. Sin embargo, a diferencia del primer caso, si ayuda a mitigar deformaciones y fallas en el pavimento temprano.

4.2. Obtención de Datos en la Zona de Estudio

Según la (NORMA ASTM D 5340, 2005), determina en su libro que existen aproximadamente 16 o más tipos de fallas o enfermedades que se pueden presentar en el pavimento durante su tiempo de vida útil.

Tabla 9. Clasificación de los Deterioros de Degradación de un Pavimento

Tipos	Nivel de Severidad		
Piel de Cocodrilo	Deterioro Estructural mayor		
	Bajo: Grietas que no presentan desprendimiento en el material	Medio: Fallas de Interconexión	Alto: Grietas con desprendimiento del material, causa peligro potencial
Exudación	No se define grados de severidad		
Fisura de Bloque	En consecuencia a cargas de tráfico repetitivas		
	Bajo: Grietas representan un poco o ningún desprendimiento en el material	Medio: Grietas selladas o vacías con un moderado desprendimiento	Alto: Grietas con desprendimiento del material, causa peligro
Ondulación	El tráfico combinando arroja como resultado una superficie inestable		
	Bajo: Menores, no interfiere en la calidad de la circulación	Medio: Notables, interfiere significativamente en la calidad de la circulación	Alto: Notorias, interfiere severamente la calidad de circulación
Depresión	Asentamientos del terreno que ocasionan desniveles y causan hidroplaneo		
	Bajo: Afecta ligeramente la circulación y causa un potencial problema de hidroplaneo	Medio: Afecta moderadamente la circulación y causa un potencial peligro de hidroplaneo	Alto: Afecta severamente la circulación y existe un potencial peligro de hidroplaneo
Erosión por Chorro de Turbina	No se define grados de severidad		
Fisuras por Reflexión de Juntas	Daño por cambios térmicos y de humedad		
	Bajo: Poco desprendimiento de material	Medio: Moderado desprendimiento de material	Alto: Gran desprendimiento de material
Fisuras Longitudinales y Transversales	No se producen por repetición de carga		
	Bajo: Poco desprendimiento de material	Medio: Moderado desprendimiento de material	Alto: Gran desprendimiento de material
Capas Porosas de Alto Grado de Fricción (Porous Friction Courses)	Bajo: El área promedio desmoronada con ancho menor a 1/4 in. (6 mm)	Medio: El área promedio desmoronada con ancho menor a 1/4 a 1 in. (6 mm a 25 mm)	Alto: El área promedio desmoronada con ancho menor a 1 in. (25 mm)
Deterioro por Derrame de Combustible	No se define grados de severidad		
Bacheos	Defecto sin importar su perfecto estado		
	Bajo: Buenas condiciones y funcionamiento satisfactorio	Medio: Deteriorado y afecta la calidad en la circulación	Alto: Muy deteriorado y afecta la calidad del andar de forma significativa
Agregados Pulidos	No se define grados de severidad		
Peladura y Efecto de la Intemperie	Desgaste del pavimento		
	Bajo: Poco peligro potencial	Medio: Algún peligro potencial	Alto: Alto peligro potencial
Ahuellamiento	Falla estructural en el pavimento		
	Bajo (L): 1/4 a 1/2 in (6 a 13 mm)	Medio (M): 1/2 a 1 in (13 a 25 mm)	Alto (H): > 1 in (25 mm)
PCC Expuesto. (Empuje del Concreto Asfáltico (AC) por losas de Hormigón de Cemento Pórtland (PCC))	L: < 3/4 in (< 20mm)	L: 3/4 a 1 1/2 in (20 a 40 mm)	H: > 1 1/2 in (> 40 mm)
Fisura por Resbalamiento o Deslizamiento	No se define grados de severidad		
Hinchamiento	Estallido de la losa de hormigón		
	Bajo: Apenas visible y efecto despreciable	Medio: Observado sin dificultad y efecto importante	Alto: Fácilmente detectado y efecto severo

Fuente: Autor

4.3. Identificación de Fallas en la Zona de Estudio

Dentro de la evaluación del estado del pavimento flexible, es vital clasificar los deterioros de degradación: Según (Tello et al., 2021) las insuficiencias en la capacidad estructural o deficiencias constructivas y condiciones locales. Por lo tanto, algunos de los daños que padecen las vías transitadas son:

Ilustración 15: Piel de Cocodrilo de Alta Severidad



Fuente: Autor

Ilustración 16: Fisura de Bloque de Severidad Media



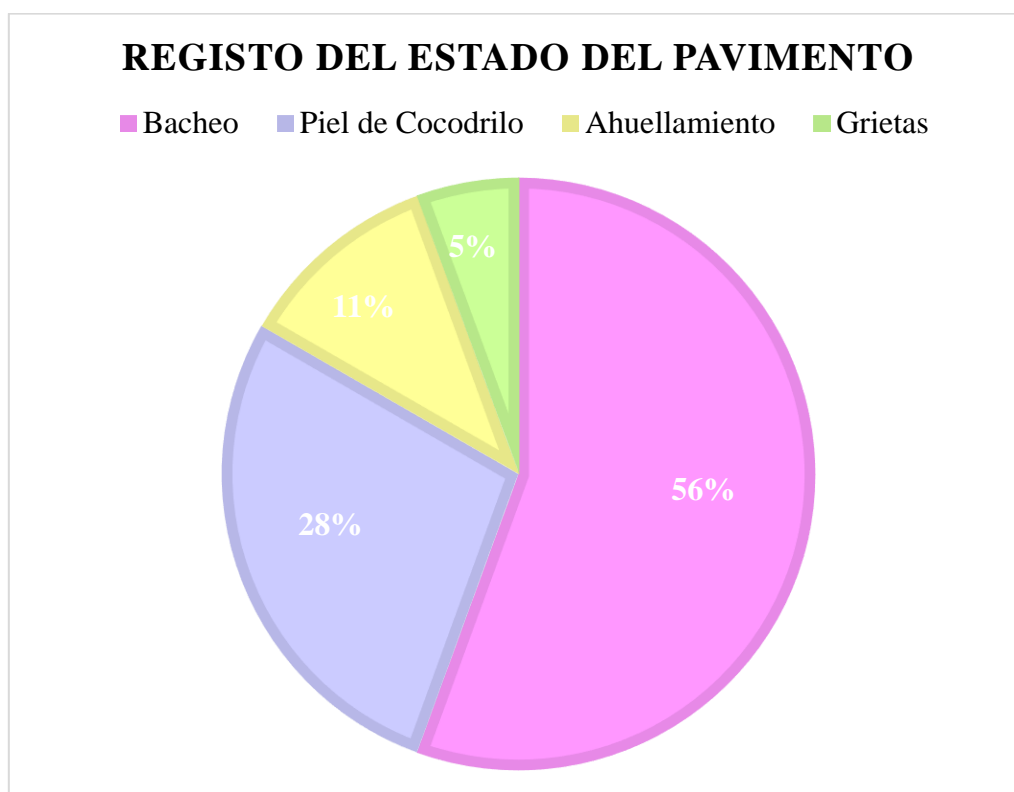
Fuente: Autor

Ilustración 17: Bacheo



Fuente: Autor

Tabla 10. Registro del estado del pavimento



Fuente: Autor

4.4. Estudio Geotécnico de Suelo

Según (Madsen et al., 2024) un estudio geotécnico permite estudiarla capacidad de soporte que tiene la estructura de pavimento, puede identificar las características de suelo, determina la placa de carga dinámica, la resistencia a la fatiga, entre otros, tal como se muestra en la tabla 10, con el fin de que no existan riesgos ni fallas en la estructura, de esta forma garantizando la seguridad de los usuarios

Tabla 11: Materiales requeridos para los ensayos

Ensayo	Cantidad de Muestras	Cantidad de Material Requerido
CBR In Situ	3-5 ensayos	N/A (en sitio)
Placa de Carga Dinámica	3-5 ensayos	N/A (en sitio)
Granulometría (Laboratorio)	3 muestras por tipo	2-3 kg por muestra
Proctor Modificado (Laboratorio)	3 muestras por tipo	15-20 kg por muestra
Fatiga de Capa Asfáltica	4-5 probetas	4 kg por probeta

Fuente: Autor

Ilustración 18. Extracción N°1



Fuente: Autor

Ilustración 20. Extracción N°2



Fuente: Autor

Ilustración 19. Muestra N°1



Fuente: Autor

Ilustración 21. Muestra N°2



Fuente: Autor

Ilustración 22. Extracción N°3



Fuente: Autor

Ilustración 24. Extracción N°4



Fuente: Autor

Ilustración 23. Muestra N°3



Fuente: Autor

Ilustración 25. Muestra N°4



Fuente: Autor

Ilustración 26. Extracción N°5



Fuente: Autor

Ilustración 27. Muestra N°5



Fuente: Autor

A continuación, en referente a la tabla 11, se presenta un resumen de resultados obtenidos de laboratorio, donde muestra los diferentes tipos de cbr que se obtuvieron en los debidos ensayos realizados. Para un CBR de 57,42% , lo que significa que existe un suelo con grava bien graduada con limo sin plasticidad color café, 20,70% significa que tiene una grava limosa color gris, asimismo 2,00%, equivale a la denominación de arcilla de alta plasticidad color gris, valor de cbr 4,20% de arcilla de alta plasticidad color café y finalmente 74,80%, tipo de suelo de grava con limo color café.

Tabla 12: Resumen de resultados obtenidos de laboratorio

CALICATAS				HUMEDAD NATURAL %	GRANULOMETRÍA (PASANTE)						PLASTICIDAD			SUCS		CBR	
PUNTO	MUESTRA	COORDENADAS	PROFUNDIDAD		3"	2"	1"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200	LL	LP	IP	SÍMBOLO		DESCRIPCIÓN
6	1	0616679 E - 9641548 N	0,00 - 0,65 m	5,66%	100,0%	100,0%	100,0%	59,5%	29,84%	18,00%	8,94%	NP	NP	NP	GW - GM	<i>Grava bien graduada con limo sin plasticidad color café</i>	57,42%
	2		0,65 - 1,40 m	11,04%	100,0%	100,0%	100,0%	0,701	36,78%	26,72%	18,08%	NP	NP	NP	GM	<i>Grava limosa color gris</i>	20,70%
	3		1,40 - 2,00 m	74,09%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100%	99,92%	99,79%	77,09%	34,53%	42,57%	CH	<i>Arcilla de alta plasticidad color gris</i>	2,00%
7	1	0616513 E - 9641358 N	0,10 - 1,00 m	21,07%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100%	89,00%	26,88%	NP	NP	NP	SM	<i>Arena limosa color café</i>	4,20%
	2		1,00 - 1,50 m	42,59%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100%	99,94%	99,65%	60,68%	26,82%	33,86%	CH	<i>Arcilla de alta plasticidad color café</i>	4,20%
8	1	0616338 E - 9641333 N	0,00 - 1,00 m	5,61%	100,0%	100,0%	100,0%	75,7%	40,86%	29,45%	13,01%	NP	NP	NP	GM	<i>grava con limo color café</i>	74,80%

Fuente: Autor

4.5. Análisis

a elaborar un análisis de condición de pavimento a través de la visualización in situ, con el fin de identificar patrones de deterioros del pavimento, además de los volúmenes del tráfico que se manejan diariamente.

4.6. Datos de Ensayos de CBR in situ

Los datos de CBR, se los adquirió a través de ensayos de laboratorio, mediante una extracción pequeña de terreno, a una profundidad de 1.5 a 2 m, con el fin de obtener información acerca de la composición del suelo, su capacidad portante y también su nivel freático.

4.7. Análisis de Varianza (ANOVA)

Es un medio metodológico que se enfoca en el cálculo estadístico de medias de 3 o más grupos, con el fin de reconocer si existen diferencias significativas entre ambos datos. No obstante, se aplica la prueba F o mayormente conocida como FISHER, que se encarga de determinar las medias significativas que se diferencian del resto (Henson, 2015). A continuación, se presenta una tabla de resultados en donde se tomó en cuenta los datos de CBR extraídos en la vía de interés.

4.8. Desviación Estándar y Coeficiente de Variación

En los resultados obtenidos, se comparó dos secciones de valores de CBR (%), es decir, la muestra 1 detalla valores tales como: 2.20%, 2.10%, 2.00%, mientras que la muestra 2 tiene los siguientes datos: 4.30%, 4.20%, 4.10%. La media que se obtuvo de cada muestra es de 2.10% y 4.20%, especificando que la segunda tiene una resistencia superior. Por consiguiente, el resultado de la suma de cuadrados entre los grupos (SSB) es de 661.50, sin embargo, la suma de cuadrados dentro de los grupo (SSW) es de 0.04, cuantificando que existe una alta variabilidad proveniente de las diferenciad entre secciones. Con grados de libertad “entre grupos de 1” y “dentro de grupos de 4”, se cuantifica que existe un promedio cuadrático entre grupos ($M_{S\text{entre}}$) de 661.50, mientras que dentro de grupos ($M_{S\text{dentro}}$) de 0.01, arrojando un valor estadístico F de 661.50. Finalmente el valor p es de 0.0000135746, inferior a $\alpha = 0.05$, lo que lleva a concluir que se debe de rechazar la hipótesis nula y reafirmar que existen diferencias estadísticamente significativas,

indicando que la muestra 2 se caracteriza por tener un mejor desempeño estructural, esto puede tener varias razones, pero unas de ellas pueden ser por la mayor compactación, buena calidad de materiales o quizás un excelente sistema de drenaje, mientras que la muestra uno podría mejorar tratando la subrasante, de esta manera se optimiza la capacidad portante.

4.9. Especificación para la Capa de Rodadura (Mezcla Asfáltica)

Las especificaciones de un paquete estructural garantizan un desempeño único vial, característicamente en su funciones, como la transmisión de cargas y su resistencia estructural para establecer un pavimento duradero y eficiente (MOP - 001-F 2002, 2002).

Tabla 13: Resumen de las Especificaciones de Porcentaje de la Estructura de Capa

Capa	Granulometría (Tamiz 0.075)	CBR Mínimo (%)	Densidad Compactación	Índice de Plasticidad (IP)	Otros Parámetros
Subbase Granular	≤ 12%	30	≥ 95% Proctor Modificado	≤ 6	Material bien graduado, permeable.
Base Granular	≤ 8%	80	≥ 100% Proctor Modificado	≤ 4	Alta resistencia, material triturado.
Capa de Rodadura	2 - 8%	N/A	≥ 95% Densidad Teórica	0 (no plástico)	Estabilidad Marshall ≥ 820 kg, asfalto 4.5-6.5%

Fuente: Republica del Ecuador Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones

4.10. Propuesta de Alternativa de Espesores

4.10.1. Mantenimiento Rutinario

En el estudio de (Sleyther y Guirlo, 2021) acerca de emplear herramientas tecnológicas de evaluación de fallas en la superficie de pavimento flexible, tiene presente la importante decisión de establecer un mantenimiento rutinario en la vía, principalmente para conservar la vida útil de una carretera, ya que esta depende directamente de la condición estructural que exhibe, por tanto, si no se establece un mantenimiento eficiente, su tiempo de vida útil se decrementa. Asimismo, (Sholevar et al., 2022) detalla la necesidad de mantener una carretera en buen estado y por ello, se debe de implementar sistemas de

gestión de carreteras para enfrentar los grandes desafíos, aquellos que provienen de la condición que se encuentra el pavimento.

4.10.2. Mantenimiento Periódico

Una vía en mal estado equivale a una afectación directa para usuario que transita por esa vía, no solo la parte económica sino también el tiempo de demora al trasladarse de un lugar a otro. Por esta razón, se debe gestionar mantenimientos y rehabilitación de pavimentos para satisfacer la demanda de los usuarios, volúmenes de tráfico y a su vez prolongar el tiempo de vida útil a un reducido costo de inversión posible (Ramirez y Valenzuela, 2023).

4.10.3. Rehabilitación

Las normativas viales enfatizan acerca de lo vital que es la seguridad vial, la prolongación de tiempo de vida útil y la optimización de invertir en una adecuada infraestructura vial. La ASTM D6433 o la AASHTO R35, definen los rendimientos que se deben de cumplir para asegurar la durabilidad de los pavimentos rehabilitados. Por tal motivo, el cumplir con lo que dice la norma permite conocer mejores estrategias de rehabilitación, evitando la improvisación y a su vez prolongar la vida útil de la carretera (Flores De Valgas y Mogrovejo, 2023)

4.10.4. Reconstrucción

(Torres y Muñoz, 2023) en su estudio, establece una medida un poco tajante al momento de tratar el tema de rehabilitación de los pavimentos, puesto que, en casos severos la mejor opción es reemplazar total o parcialmente la estructura del pavimento, ya que su tiempo de vida útil llegó a un fin que por más rehabilitación que se le preste, esta no va a dar su servicialidad como debe de ser, lo más probable es que aumente el daño y un gasto innecesario económico.

4.10.5. Alternativa 1: Espesor Reducido

En relación a los datos de CBR que se obtuvo como resultado en los ensayos de laboratorio, se da como alternativa utilizar un suelo con CBR alto (Muestra 2: 4.10 –

4.20), específicamente para vías urbanas con tráfico liviano moderado, es una forma de mantenimiento vial segura y sin daño acelerado.

- ❖ **Capa de Rodadura:** 5 cm
- ❖ **Base Granular:** 15 cm
- ❖ **Subbase Granular:** 20 cm
- ❖ **Espesor Total:** 40 cm

4.10.6. Alternativa 2: Pavimento Intermedio

Otra de las opciones es establecer una alternativa para un suelo con CBR medio (Promedio de ambas muestras), es recomendado utilizar dentro de calles secundarias con tráfico de buses o camiones ligeros.

- ❖ **Capa de Rodadura:** 6 cm
- ❖ **Base Granular:** 18 cm
- ❖ **Subbase Granular:** 22 cm
- ❖ **Espesor Total:** 46 cm

4.10.7. Alternativa 3: Vías de Alto Tránsito

La resistencia en las vías cumple un papel fundamental al momento de soportar cargas pesadas, por ello, se establecen las siguientes alternativas para un suelo con CBR bajo (Muestra 1: 2.00 -2.20). Se lo recomienda utilizar en avenidas principales y vías con tránsito pesado, como es el caso de este estudio.

- ❖ **Capa de Rodadura:** 7 cm (Mayor estabilidad estructural)
- ❖ **Base Granular:** 20 cm
- ❖ **Subbase Granular:** 25 cm
- ❖ **Espesor Total:** 52 cm

4.10.8. Alternativa 4: Estabilización de Suelo

Esta alternativa es una opción económica en el caso de que exista un suelo con CBR muy bajo (Muestra 1). Recomendado utilizar en vías de zonas con alto nivel freático o problemas de estabilidad.

- ❖ **Capa de Rodadura:** 5 cm
- ❖ **Base Granular:** 15 cm

- ❖ **Subbase Granular:** 18 cm (compensada con cemento para mejorar la resistencia)
- ❖ **Espesor Total:** 38 cm (Menor espesor, compensado con estabilización)

4.10.9. Alternativa 5: Pavimento Optimizado

La larga durabilidad de la vía es uno de los propósitos que se propone cada ingeniero civil, especialmente cuando se lo aplica en suelos variables (CBR bajo y medio). Por ello, la siguiente alternativa se lo recomienda aplicar en vías urbanas con alto tráfico y larga vida útil, con el fin de proporcionar un buen servicio a la comunidad.

- ❖ **Capa de Rodadura:** 8 cm (Mayor durabilidad y resistencia a la fatiga)
- ❖ **Base Granular:** 22 cm
- ❖ **Subbase Granular:** 20 cm
- ❖ **Espesor Total:** 50 cm

Tabla 14: Alternativas de Espesores

Alternativa	Capa de Rodadura (cm)	Base Granular (cm)	Subbase Granular (cm)	Espesor Total (cm)	Uso Recomendado
1	5	15	20	40	Vías urbanas livianas
2	6	18	22	46	Tráfico moderado
3	7	20	25	52	Alto tránsito
4	5	15	18 (estabilizada)	38	Suelos débiles
5	8	22	20	50	Larga durabilidad

Fuente: Autor

4.11. Comparativa de Resultados

Según (Norma Ecuatoriana Vial NEVI 12 - MTOP, 2013), establece un rango mínimo de espesores de capa, es decir, para la capa de rodadura existe un mínimo de 5 cm, mientras que, la base granular tiene un valor de 15 cm, sin embargo, la subbase granular se destaca por tener un espesor de 20 cm. Dentro del análisis de la propuesta de espesores, las alternativas 1, 2, 3 y 5 se encuentran dentro del rango establecido por la norma, en contraste la alternativa 4 no pasa el requisito mínimo de espesor de capa, en consecuencia, el pavimento se vería afectado en los suelos débiles. Por otra parte, el (MÉTODO AASHTO 93), determina el principio de “Mayor tráfico, mayor espesor”, lo que significa que las alternativas 3 y 5 se acogen a este principio. De la misma forma la mayoría de las alternativas cumplen con el mínimo de 5 cm en su capa de rodadura, la alternativa 5 que

tiene 8 cm, podría llegar a ofrecer mayor durabilidad en condiciones de alto tránsito. Por el contrario, el caso de la alternativa 4, no cumple con la subbase granular establecida por la norma, por lo que se requiere que realicen un ajuste viable. Con el fin de recomendar a realizar un análisis completo, dónde abarquen los estudio geotécnicos y modelados estructurales para seleccionar correctamente los espesores de capa dependiendo del tipo de tráfico.

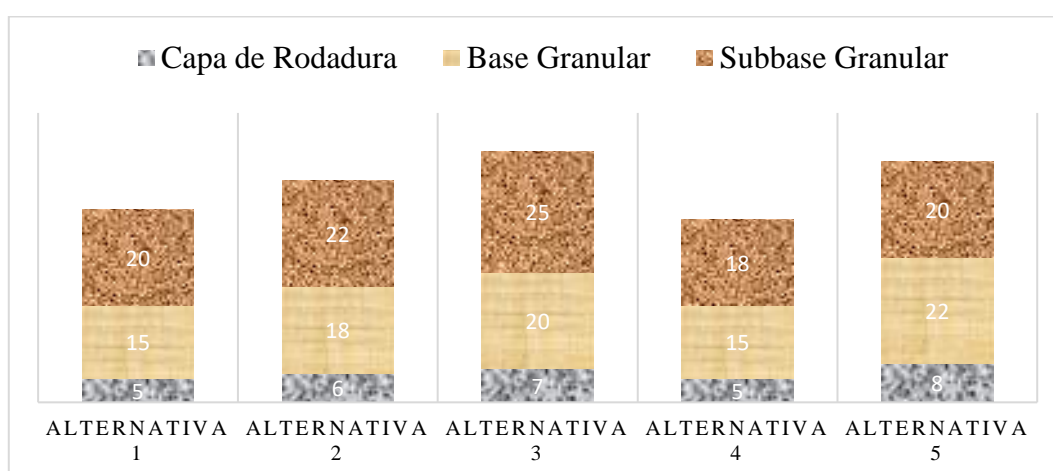
Tabla 15: Evaluación de Espesores Mínimos según la Normativa MTOP

Capa del Pavimento	Espesor Mínimo MTOP (cm)
Capa de Rodadura	5
Base Granular	15
Subbase Granular	20
<i>Fuente: Autor</i>	

Tabla 16: Comparación de la Norma con cada Alternativa

Alternativa	Cumple Capa de Rodadura?	Cumple Base Granular?	Cumple Subbase Granular?	Cumple Normativa MTOP?
1 (Vías urbanas livianas)	✓ (5 cm)	✓ (15 cm)	✓ (20 cm)	✓ Cumple
2 (Tráfico moderado)	✓ (6 cm)	✓ (18 cm)	✓ (22 cm)	✓ Cumple
3 (Alto tránsito)	✓ (7 cm)	✓ (20 cm)	✓ (25 cm)	✓ Cumple
4 (Suelos débiles)	✓ (5 cm)	✓ (15 cm)	✗ (18 cm)	✗ No cumple
5 (Larga durabilidad)	✓ (8 cm)	✓ (22 cm)	✓ (20 cm)	✓ Cumple
<i>Fuente: Autor</i>				

Tabla 17. Comparación de Alternativas con la Base Teórica



Fuente: Autor

5. CONCLUSIONES

A través de investigaciones bibliográficas, se consiguió identificar los métodos de evaluación adecuados con respecto al tema de estudio, siendo su propósito principal determinar el nivel de servicialidad que puede ofrecer la vía. Con respecto a la metodología estudiada, se enfocó en la importancia de obtener una eficiente movilidad motorizada, por ello, el método empírico mecanista y PCI, fueron clave fundamental para obtener resultados de laboratorio, precisos con alternativas de mejoramiento y rehabilitación del pavimento mediante la aplicación de análisis y varianza (ANOVA).

La vía en cuestión presenta un deficiente sistema vial, por lo que, a través de la inspección visual aplicada, se determinó los puntos que deben de ser analizados, por lo tanto, se realizó la toma de muestra en los puntos específicos, realizando los ensayos no destructivos, teniendo como resultado los diferentes valores de CBR de la subrasante, a través del ANOVA se pudo definir que existen diferencias significativas entre las medidas de las dos muestras obtenidas.

El mantenimiento y rehabilitación de una vía, siempre será vital dentro del sistema de gestión vial, puesto que, es necesario brindar a los usuarios una eficiente movilidad motorizada. A través de los resultados de los ensayos, se pudo establecer 5 alternativas en la estructura del pavimento flexible, estos se clasifican dependiendo del uso recomendado pero el más importante para este estudio es la propuesta del espesor de 52 cm que presta mayor estabilidad estructural en la capa de rodadura con valor de 7 cm mientras que su base granular tiene 20 cm, sin dejar a un lado la subbase granular que presenta un espesor de 25 cm, estableciendo como criterio una alta resistencia para las vías de alto nivel de tránsito.

6. RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio y el concepto de capacidad vial, se sugiere establecer alternativas de espesores adecuados para el tipo de tráfico de las Av. Las Palmeras., como ejemplo, existen espesores superiores a 46 cm como es el caso de las alternativas 2, 3, 5, reconociendo que tiene un tráfico moderado a alto, entonces se debe de garantizar una estabilidad alta y durabilidad del pavimento de acuerdo con la norma NEVI.

Para la existencia de suelos débiles, se recomienda implementar subbase granular a un valor de 20 cm o más, esto se debe de establecer en tramos con CBR bajo o con capacidad portante relativamente baja. De esta forma se asegura que el pavimento pueda resistir mayormente las cargas dinámicas del tránsito, mejorando la movilidad motorizada en la vía, claro está, que se debe de especificar conforme a los principios de diseño y normativas vigentes.

Una eficiente movilidad motorizada es la que se debe de ofrecer a los usuarios que transitan por la vía, por ello, el análisis de capa de rodadura cumple un papel fundamental a la hora de hablar de fluidez de tránsito, puesto que, se debe establecer un sistema de gestión vial, que se encargue de evaluar periódicamente el estado del pavimento mediante visita in situ, ensayos de laboratorio, etc. Con el fin de conocer a tiempo el deterioro que sufre el pavimento, mejorando de esta manera la eficiencia en la infraestructura vial de la ciudad de Machala.

7. REFERENCIAS

- AASHTO. (2021). *American Association of State Highway and Transportation Officials*. Washington, D.C.
- Alaneme, G., Dimonyeka, M., Ezeokpube, G., Uzoma, I., y Udousoro, I. (2021). Failure assessment of dysfunctional flexible pavement drainage facility using fuzzy analytical hierarchical process. *Innovative Infrastructure Solutions*, 2(122), 6. <https://doi.org/10.1007/s41062-021-00487-z>
- Alexis, A., Gabriela, C., y Cristian, C. (2021). Efectos de la variabilidad de los datos iniciales en el índice de condición del pavimento y predicción de su deterioro. *Novasinerгия*, 4(1), 102-114. <https://doi.org/https://doi.org/10.37135/ns.01.07.06>
- Andrade, A., Hidrobo, A., Mora, C., y Zúñiga, M. (2024). Google Earth como alternativa para predecir el deterioro de una vía para su gestión a lo largo del ciclo de vida. *MQRInvestigar*, 8(2), 3499-3511. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.8.2.2024.3499-3511>
- ASTM. (s.f.). *Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys*. ASTM INTERNATIONAL.
- Baque, B. (2020). Evaluación del estado del pavimento flexible mediante el método del PCI de la carretera puerto-aeropuerto (Tramo II), Manta. Provincia de Manabí. *dominio de las ciencias*, 6(2), 203-228. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.23857/dc.v6i2.1163>
- Bojacá, D., y Campagnoli, S. (2022). CBR cíclico como método alternativo para la determinación del módulo resiliente en suelos blandos de subrasante. *Ingeniería Neogranadina*, 32(2), 85-98. <https://doi.org/https://doi.org/10.18359/rcin.5896>
- Boris, O., Ingrid, M., y Carmen, P. (2021). Índice de regularidad internacional e índice de condición de pavimento para definir niveles de serviciabilidad de pavimentos. *ITECKNE*, 18(2), 170-175. <https://doi.org/https://doi.org/10.15332/iteckne>
- Cárdena, J. (2024). Evaluación Estructural y Modelado Predictivo del Pavimento Flexible en Zonas Rurales: Un Caso de Estudio en la Carretera Puente Palca – Palca. *Llamkasu*, 5(2), 2-12. <https://doi.org/https://doi.org/10.47797/llamkasun.v5i2.132>
- Cárdenas, C., Carrillo, J., Izarra, A., Murga, C., y Vásquez, A. (2023). Herramientas tecnológicas de evaluación de fallas en la superficie de pavimento flexible, una revisión sistemática. *Llamkasun*, 4(2), 02-09. <https://doi.org/https://doi.org/10.47797/llamkasun.v4i2.121>
- Cedeño, E., Zambrano, J., y Tejeda, E. (2023). Revisión de Diseños de Pavimentos Flexibles Mediante el Método Empírico Mecanicista de la AASHTO 2004. *Ciencia y Construcción*, 4(3), 57-67. <https://doi.org/2789-7605>

- Chamba, A., y Yaguana, J. (2023). Simulación y análisis del tráfico vehicular en las avenidas Salvador Bustamante Celi e Isidro Ayora de la ciudad de Loja-Ecuador utilizando SUMO. *Green World Journal*, 6(2), 1-13.
<https://doi.org/https://doi.org/10.53313/gwj62064>
- Claudia, C., Jerold, C., Angela, I., Christian, M., y Anais, V. (2023). Herramientas tecnológicas de evaluación de fallas en la superficie de pavimento flexible, una revisión sistemática. *Llamkasun*, 4(2), 10-23.
<https://doi.org/https://doi.org/10.47797/llamkasun.v4i2.121>
- Cuenca, E., Hernández, F., y Moll, R. (2023). Catálogo para el Diseño de Pavimentos Flexibles en Vías de Bajos Volúmenes de Tráfico en La Provincia de Manabí. *Ciencia y Construcción*, 4(2), 16-25. <https://doi.org/2789-7605>
- De la Cruz, S., Ibañez, C., y Coaquira, D. (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>
- Deepthi, M., y Sivakumar, B. (2023). System reliability-based design optimization of flexible pavements using adaptive meta-modelling techniques. *Construciton and Building Materials*, 367(27), 130-351.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130351>
- Do, M., Cerezo, V., y Ropert, C. (2020). Questioning the approach to predict the evolution of tire/road friction with traffic from road surface texture. *Surf. Topogr*, 8, 2-14. <https://doi.org/https://doi.org/10.1088/2051-672X/ab8ba9>
- Eduardo, G., Jorge, R., Carmen, H., Jose, A., Ignacio, D., y Miguel, M. (2022). Diseño de pavimentos permeables en España: situación actual y necesidades futuras. *Ingeniería del Agua*, 26(4), 279-296.
<https://doi.org/https://doi.org/10.4995/Ia.2022.18290>
- Ehsan, S., Nicolas, B., y Alan, C. (2020). A review on mechanical behavior and design considerations for reinforced-rehabilitated bituminous pavements. *Construction and Building Materials*, 257(10), 119-483.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119483>
- Felis, I., Candia, N., y Fernández, A. (2023). Tipologías de sistemas urbanos de drenaje sostenible para la reducción del riesgo de inundación en la cuenca del río Andalién, Concepción. *URBE. Arquitectura, Ciudad Y Territorio*(17), 52-74.
<https://doi.org/https://doi.org/10.29393/UR17-4TSIA30004>
- Flores de Valgas, S., y Mogrovejo, D. (2023). EVALUACIÓN FUNCIONAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA RED VIAL RURAL DE PORTOVIEJO, ECUADOR. *Yachasun*, 7(13), 212-235.
<https://doi.org/https://doi.org/10.46296/yc.v7i13.0363>

- Flores De Valgas, S., y Mogrovejo, D. (2023). EVALUACIÓN FUNCIONAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA RED VIAL RURAL DE PORTOVIEJO, ECUADOR. *Multidisciplinaria Arbitrada YACHASUN*, 7(13), 212-235. <https://doi.org/https://doi.org/10.46296/yc.v7i13.0363>
- García, M., Oyola, E., Carrión, L., y Romero, E. (2023). Reducción del Congestionamiento Vehicular, Mediante Giro Protegido a la Izquierda, en la Ciudad de Huaquillas. *Ciencia y Construcción*, 4(1), 79-89. <https://doi.org/2789-7605>
- González, J., León, B., Sánchez, C., y Medina, Y. (2023). Metodología para el Diseño Geométrico Sostenible de Ejes Viales en Vías Inter-Cantoniales. *Ciencia y Construcción*, 4(3), 30-44. <https://doi.org/2789-7605>
- Gutiérrez, W. (2023). Ensayo granulométrico de los suelos mediante el método del tamizado. *Ciencia Latina*, 7(2), 6908-6928. https://doi.org/https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.5834
- Harinder, D., Anusha, P., Ramesh, A., y Mehaboob, K. (2023). Evaluation of flexible pavement performance based on HDM-4 and international roughness index. *391(4)*, 1-9. <https://doi.org/https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339101202>
- Henson, R. (2015). Analysis of Variance (ANOVA). *Neuroscience and Biobehavioral Psychology*, 1, 477-481. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397025-1.00319-5>
- Hernández, D., Díaz, J., Santos, O., Morciego, H., y García, J. (2022). Métodos de diagnóstico para la evaluación geotécnica de vías urbanas en centros históricos cubanos. *Arquitectura e Ingeniería*, 16(2), 1-17. <https://doi.org/https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193971847003>
- Huaman, A., Milla, E., y Pagola, D. (2024). El contenido de humedad y el valor de soporte en suelos cohesivos en el distrito de Independencia. *Aporte Santiaguino*, 17(2), 171-180. <https://doi.org/https://doi.org/10.32911/as.2024.v17.n2.1171>
- Hugo, R., William, C., y José, C. (2021). Propiedades dieléctricas de asfaltos: revisión. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 31(2), 61-73. <https://doi.org/https://doi.org/10.18359/rcin.4688>
- Ignacio, B., María, P., Jorge, C., Manuel, D., Facundo, C., Lucio, P., y Fernando, D. (2021). Evaluación de escombreras de mármoles para su aprovechamiento como agregado en una estructura de pavimento, Córdoba, Argentina. *Informes de la Construcción*, 73(561), 1-11. <https://doi.org/https://doi.org/10.3989/ic.72256>
- Lilian, V., y Martha, H. (2024). Efectividad de los materiales sostenibles para el mejoramiento y aplicación de obras viales. *Ciencia Norandina*, 7(2), 308–327. <https://doi.org/https://doi.org/10.37518/2663-6360X2024v7n2p308>
- Madsen, L., Di Martino, C., Pizzorno, L., y Arias, P. (2024). Geotecnia de los suelos en el sector sureste de la ciudad de Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires.

- Estudios preliminares. *Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*(51), 1-9. <https://doi.org/https://doi.org/10.59069/24225703e015>
- Mamami, G., De la Cruz, S., Vega, C., Yllescas, P., y Rea, W. (2022). Estabilización de la subrasante con ceniza de quinua y cal en la Carretera Lago Sagrado, Puno, Perú. *Infraestructura Vial* , 25(44), 1-7. <https://doi.org/10.15517/iv.v25i44.53569>
- Marco, H., y Ronald, V. (2023). Solución geotécnica para el suelo de cimentación de las 7 torres de la villa panamericana. *Perfiles_Ingenieria*, 19(19), 91-108. <https://doi.org/10.31381/perfilesingenieria.v19i19.5792>
- Maylle, A., y Avila, P. (2023). Elaboración de un Diseño de Mezcla para la Estabilización de un Suelo con Emulsión Asfáltica Tipo CSS-1h y Pavimento Asfáltico Reciclado (RAP) Basado en el Procedimiento de Marshall Modificado. *Infraestructura Vial del LanammeUCR*, 25(44), 1-17. <https://doi.org/10.15517/iv.v25i44.53441>
- Mehdi, Z., Ning, L., Murad, A., y George, V. (2022). Evaluating long-term benefits of geosynthetics in flexible pavements built over weak subgrades by finite element and Mechanistic-Empirical analyses. *Geotextiles and Geomembranes*, 50(3), 455-469. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geotextmem.2022.01.004>
- MÉTODO AASHTO 93. (s.f.). *Guía AASHTO: Diseño de estructuras de pavimentos, 1993*.
- MOP - 001-F 2002. (2002). *REPUBLICA DEL ECUADOR MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y COMUNICACIONES*. Quito, Ecuador.
- MOP - 001-F 2002. (2002). *REPUBLICA DEL ECUADOR MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y COMUNICACIONES*. Quito, Ecuador.
- Morales, J., Ortiz, E., y Intriago, C. (2023). Mejoramiento de material granular con cemento tipo MH y agregados finos de arena de playa proveniente de la costa en la provincia Manabí. *INGENIAR: Ingeniería, Tecnología E Investigación*, 6(11), 2-15. <https://doi.org/https://doi.org/10.46296/ig.v6i11edespfeb.0085>
- Morgan, H. (2022). Conducting a Qualitative Document Analysis. *The Qualitative Report* , 27(1), 64-77. <https://doi.org/https://doi.org/10.46743/2160-3715/2022.5044>
- Muñoz, S., y Zevallos, F. d. (2021). Los Factores Influyentes en la Resistencia al Deslizamiento en Pavimentos Flexibles: Una Revisión Literaria. *Ciencia Nicolaita*(81), 83-99. <https://doi.org/https://doi.org/10.35830/cn.vi81.535>
- NORMA ASTM D 5340. (2005). *INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTOS EN AEROPUERTOS (PCI)*.
- Norma Ecuatoriana Vial NEVI 12 - MTOP. (2013). *Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador*. Quito, Ecuador.

- Oña, C., y Veliz, J. (2024). Desempeño de material granular de subbase estabilizada con diatomita. *Multidisciplinaria Arbitrada de Investigación Científica*, 8(2), 1563-1586. <https://doi.org/https://doi.org/10.56048/MQR20225.8.2.2024.1563-1586>
- Orlando, A., Jhon, A., Cristian, P., Ernesto, R., y Sócrates, M. (2022). Uso de distintos tipos de fibras para mejorar las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica: Una revisión literaria. *Infraestructura Vial*, 24(43), 1-16. <https://doi.org/10.15517/iv.v24i43.47931>
- Peñafiel, J., Sánchez, C., y Medina, Y. (2023). Análisis de la Capacidad Vial y Nivel de Servicio de las Vías de Ingreso de la Ciudad de Machala. *Ciencia y Construcción*, 3(4), 65-76. <https://doi.org/2789-7605>
- Pillaca, Y., Choque, L., Gamarra, K., y Sánchez, A. (2024). Optimization of the Mechanical Properties of Rigid Pavement Concrete Using Coca Leaves and Steel Fibers. *Gaceta Técnica*, 26(1), 89-108. <https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.51372/gacetatecnica261.6>
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cantón Machala. (2022). *PDOT*. Machala, El Oro, Ecuador.
- Ramirez, D., y Valenzuela, L. (2023). Plan de mantenimiento periódico del pavimento en el tramo Paradero Las Retamas – Puente Los Ángeles. *Infraestructura Vial*, 25(44), 1-13. <https://doi.org/10.15517/iv.v25i44.51309>
- Ramos, C. (2021). DISEÑOS DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL. *CienciAmérica*, 10(1), 1-7. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.33210/ca.v10i1.356>
- Rendon, R. (s.f.). Plan de Uso y Gestión de Suelo de Machala. Machala, El Oro, Ecuador: Diplan.
- Ríos, N., Bacca, B., Caicedo, E., y Orobio, A. (2020). Revisión de métodos para la clasificación de fallas superficiales en pavimentos flexibles. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 30(2), 109-127. <https://doi.org/https://doi.org/10.18359/rcin.4385>
- Román, P., Solórzano, L., Guillen, F., y Orejuela, I. (2024). Análisis técnico de infraestructura vial rural: Evaluación estructural y propuesta de diseño para el acceso al recinto El Secal, Ecuador. *Internacional Arandu UTIC*, 11(1), 2315-2327. <https://doi.org/https://doi.org/10.69639/arandu.v11i2.421>
- SACHIN, S., KUZMIN, A., KRISHNAKUMAR, S., SARAVANAN, S., y KANNAN, K. (2021). Philosophy of Selecting ASTM Standards for Mechanical Characterization of Polymers and Polymer Composites. *MATERIALE PLASTICE*, 58(3), 247-256. <https://doi.org/https://doi.org/10.37358/MP.21.3.5523>

- Sholevar, N., Golroo, A., y Esfahani, S. (2022). Machine learning techniques for pavement condition evaluation. *Automation in Construction*, 136, 104-190. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104190>
- Sisi, H., In, C., Yuhan, J., y Benjamin, U. (2023). PCIer: Pavement Condition Evaluation Using Aerial Imagery. *Geographies*(3), 132-142. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/geographies3010008>
- Sleyther, D. L., y Guirlo, P. (2021). Diseño de infraestructura vial con pavimento flexible para mejora de transitabilidad de la avenida Industrial, Lurín, Lima. *Memoria Investigaciones en Ingeniería*(21), 108–114. <https://doi.org/https://doi.org/10.36561/ING.21.9>
- Tarek, A., Fausto, C., y Olga, R. (2020). ANÁLISIS DEL CONGESTIONAMIENTO VEHICULAR PARA EL MEJORAMIENTO DE VÍA PRINCIPAL EN GUAYAQUIL-ECUADOR. *Gaceta Técnica*, 21(2), 4-23. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21905.04960>
- Tello, L., Aguirre, M., Díaz, J., y Hernández, F. (2021). Evaluación de daños en pavimento flexible usando fotogrametría terrestre y redes neuronales. *TecnoLógicas*, 24(50), 1-13. <https://doi.org/https://doi.org/10.22430/22565337.1686>
- Torres, L., y Muñoz, S. (2023). Evaluación de un pavimento flexible aplicando el método Pavement Condition Index - PCI. *ITECKNE*, 20(1), 45-57. <https://doi.org/10.15332/iteckne.v20i1.2919>
- Vásquez, J., Medina, Y., Sánchez, C., y Carrión, L. (2023). Modelo de Optimización de Estructuras Viales. *Ciencia y Construcción*, 4(2), 6-15. <https://doi.org/2789-7605>
- Zambrano, C., y Villacreses, C. (2023). GESTIÓN DE LA CONSERVACIÓN DE LA VÍA DE ACCESO A SAN JUAN DEL CANTÓN MANTA-ECUADOR A TRAVÉS DEL SISTEMA HDM-4. *Yachasun*, 7(12), 286–322. <https://doi.org/https://doi.org/10.46296/%20yc.v7i12.0288>
- Zapata, A., Luna, M., Sánchez, C., y Medina, Y. (2023). Evaluación de la Estructura de Pavimento en Carreteras de Montaña. *Ciencia y Construcción*, 56-66.
- Zapata, I., Botasso, G., y Rivera, J. (2024). Estudio de Fatiga en Mezclas Asfálticas con NFU Mediante el Ensayo de Viga Semi Circular. *AJEA (Actas De Jornadas Y Eventos Académicos De UTN)*, 37, 1-6. <https://doi.org/https://doi.org/10.33414/ajea.1687.2024>