



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

“REHABILITACIÓN DE PAVIMENTO FLEXIBLE EXISTENTE,  
APLICANDO LA METODOLOGÍA AASHTO EN LA VÍA  
MANGLARALTO - DOS MANGAS, SANTA ELENA-ECUADOR”

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**AUTORES:**

MENDEZ MANTUANO IRWIN JOSUE

VILLAO BORBOR JOHN ALEX

**TUTOR:**

ING. DANIEL ROSENDO COMPOVERDE CAMPOVERDE Mg.

La Libertad, Ecuador

2023

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

“REHABILITACIÓN DE PAVIMENTO FLEXIBLE  
EXISTENTE, APLICANDO LA METODOLOGÍA AASHTO EN LA  
VÍA MANGLARALTO - DOS MANGAS, SANTA ELENA-  
ECUADOR”

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**AUTORES:**

MENDEZ MANTUANO IRWIN JOSUE

VILLAO BORBOR JOHN ALEX

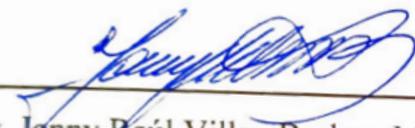
**TUTOR:**

ING. DANIEL ROSENDO COMPOVERDE CAMPOVERDE Mg.

La Libertad, Ecuador

2023

## TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f.   
Ing. Jonny Raúl Villao Borbor, MSc.  
**DIRECTOR DE CARRERA**

f.   
Ing. Daniel Rosendo Campoverde, Mg.  
**DOCENTE TUTOR**

f.   
Ing. Lucrecia Cristina Moreno, Mg.  
**DOCENTE ESPECIALISTA**

f.   
Ing. Lucrecia Cristina Moreno, Mg.  
**DOCENTE UIC**

# DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **MENDEZ MANTUANO IRWIN JOSUE** y **VILLAO BORBOR JOHN ALEX**, declaramos bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado “**REHABILITACIÓN DE PAVIMENTO FLEXIBLE EXISTENTE, APLICANDO LA METODOLOGÍA AASHTO EN LA VÍA MANGLARALTO - DOS MANGAS, SANTA ELENA-ECUADOR**”, no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de **CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**, Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito de nuestra autoría.

Por medio de la presente declaración cedemos los derechos de autoría y propiedad intelectual, correspondientes a este trabajo, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Atentamente,

## AUTORES

f.

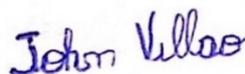


---

**Mendez Mantuano Irwin Josue**

**C.I. 2450598368**

f.



---

**Villao Borbor Jhon Alex**

**C.I. 2450044967**

## **CERTIFICACIÓN DEL TUTOR**

Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, Mg.

**TUTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo **“REHABILITACIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EXISTENTE, APLICANDO LA METODOLOGÍA AASHTO EN LA VÍA MANGLARALTO - DOS MANGAS, SANTA ELENA-ECUADOR”** previo a la obtención del Título de **INGENIERO CIVIL** elaborado por la Sr. **MENDEZ MANTUANO IRWIN JOSUÉ** y el Sr. **VILLAO BORBOR JHON ALEX**, egresados de la **CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**, Facultad **CIENCIAS DE LA INGENIERÍA** de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes.

Atentamente,



f. \_\_\_\_\_

Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, Mg.

**C.I. 0913176541**

**DOCENTE TUTOR**

**Lic. ALEXI JAVIER HERRERA REYES**

*Magíster En Diseño Y Evaluación*

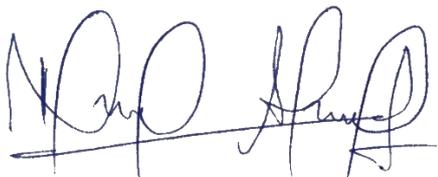
*De Modelos Educativos*

**La Libertad, noviembre 17 del 2023.**

## **Certifica:**

Que después de revisar el contenido del trabajo de integración curricular en opción al título de **INGENIERO/A CIVIL** de: **MENDEZ MANTUANO IRWIN JOSUE & VILLAO BORBOR JOHN ALEX**, cuyo tema es: **“REHABILITACIÓN DE PAVIMENTO FLEXIBLE EXISTENTE, APLICANDO LA METODOLOGÍA AASHTO EN LA VÍA MANGLARALTO - DOS MANGAS, SANTA ELENA-ECUADOR”**, me permito declarar que el trabajo investigativo se encuentra idóneo y puede ser expuesto ante el jurado respectivo para la defensa del tema en mención.

Es todo cuanto puedo manifestar en honor a la verdad.



**Lic. Alexi Herrera R, MSc.**

Docente de Español A: Literatura

Cel: 0962989420

e-mail: alexiherrerareyes@hotmail.com

# **CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO**

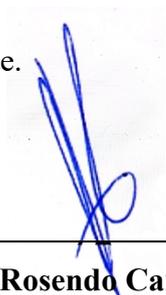
**DOCENTE ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE Mg.**

ID del documento: 421105cc60d998d4eb50f206a1e144b7e7ffa185

La Libertad, 17 noviembre 26 del 2023

En calidad de tutor del trabajo de titulación denominado **“REHABILITACIÓN DE PAVIMENTO FLEXIBLE EXISTENTE, APLICANDO LA METODOLOGÍA AASHTO EN LA VÍA MANGLARALTO - DOS MANGAS, SANTA ELENA-ECUADOR”**, elaborado por los estudiantes **MENDEZ MANTUANO IRWIN JOSUE CI. 2450598368y VILLAO BORBOR JOHN ALEX C.I. 2450044967**, de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de **INGENIERO CIVIL**, me permito haber analizado el sistema Anti plagio **COMPILATIO**, luego de haber cumplido los requerimientos exigidos de valoración, el presente proyecto ejecutado se encuentra con 3% de la valoración permitida, por consiguiente, se procede a emitir el presente informe.

Cordialmente.



---

**Ing. Daniel Rosendo Campoverde, Mg.**

**C.I. 0913176541**

**DOCENTE TUTOR**

P.D.- Adjunto informe de Análisis Compilatio

C.c.- Archivo

# TESIS MENDEZ Y VILLO

**3%**  
Textos sospechosos



2% **Similitudes**  
< 1% similitudes entre comillas  
1% **Idioma no reconocido**  
0% **Textos potencialmente generados por la IA**

Nombre del documento: TESIS MENDEZ Y VILLO.docx  
ID del documento: 421105cc60d998d4eb50f206a1e144b7e7ffa185  
Tamaño del documento original: 17,86 MB

Depositante: DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE  
Fecha de depósito: 17/11/2023  
Tipo de carga: interface  
fecha de fin de análisis: 17/11/2023

Número de palabras: 23.058  
Número de caracteres: 154.294

Ubicación de las similitudes en el documento:



## Fuentes principales detectadas

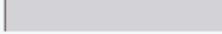
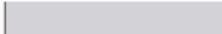
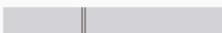
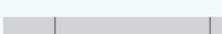
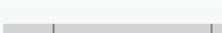
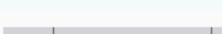
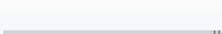
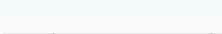
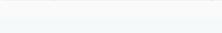
Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<b>Documento de otro usuario</b> #919f73 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (21 palabras)
2	<b>doi.org   A framework for evaluation of existing pavement conditions and selection...</b> <a href="https://doi.org/10.1007/s42452-020-1999-6">https://doi.org/10.1007/s42452-020-1999-6</a> 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (29 palabras)
3	<b>repository.unimilitar.edu.co   Diseño de la estructura de un Pavimento Flexible A...</b> <a href="https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/32870">https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/32870</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (31 palabras)
4	<b>renati.sunedu.gob.pe   Registro Nacional de Trabajos de Investigación: Propuesta ...</b> <a href="https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3413486">https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3413486</a> 3 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (29 palabras)
5	<b>repositorio.espe.edu.ec   Recuperación de asfaltos nacionales envejecidos</b> <a href="http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/1573">http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/1573</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (29 palabras)

## Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<b>Documento de otro usuario</b> #578964 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (24 palabras)
2	<b>Documento de otro usuario</b> #af37f4 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (19 palabras)
3	<b>Documento de otro usuario</b> #4c1534 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (22 palabras)
4	<b>Documento de otro usuario</b> #1c5f62 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
5	<b>Documento de otro usuario</b> #340892 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (15 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	<b>repositorio.upse.edu.ec   Evaluación estructural del pavimento flexible, del tramo ...</b> <a href="https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6497/1/UPSE-TIC-2021-0019.pdf">https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6497/1/UPSE-TIC-2021-0019.pdf</a>	2%		Palabras idénticas: 2% (377 palabras)
2	<b>repositorio.uide.edu.ec   Diseño de la rehabilitación del pavimento flexible en el t...</b> <a href="https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2070/3/T-UIDE-1195.pdf.txt">https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2070/3/T-UIDE-1195.pdf.txt</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (162 palabras)
3	<b>1library.co   Análisis de los métodos de reciclaje en caliente y frio aplicados a conc...</b> <a href="https://1library.co/document/zwgdvq-analisis-metodos-reciclaje-aplicados-asfaltico-utilizacion-ter...">https://1library.co/document/zwgdvq-analisis-metodos-reciclaje-aplicados-asfaltico-utilizacion-ter...</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (146 palabras)
4	<b>Documento de otro usuario</b> #441eb3 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (129 palabras)
5	<b>Documento de otro usuario</b> #618238 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (105 palabras)
6	<b>repositorio.upse.edu.ec</b> <a href="https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/9980/1/UPSE-TIC-2023-0019.pdf">https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/9980/1/UPSE-TIC-2023-0019.pdf</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (93 palabras)
7	<b>repositorio.upse.edu.ec</b> <a href="https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/8442/1/UPSE-TIC-2022-0024.pdf">https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/8442/1/UPSE-TIC-2022-0024.pdf</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (80 palabras)

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
8	 <b>repositorio.upse.edu.ec</b> https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/8437/1/UPSE-TIC-2022-0030.pdf	< 1%		📄 Palabras idénticas: < 1% (76 palabras)
9	 <b>repositorio.upse.edu.ec</b> https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/9929/1/UPSE-TIC-2023-0022.pdf	< 1%		📄 Palabras idénticas: < 1% (73 palabras)
10	 <b>hdl.handle.net</b>   Reutilización de pavimentos asfálticos reciclados en frío, como alt... https://hdl.handle.net/20.500.14138/3683	< 1%		📄 Palabras idénticas: < 1% (70 palabras)
11	 <b>vddocuments.net</b>   Identificación y Evaluación de las fallas superficiales en - [PDF D... https://vddocuments.net/identificacin-y-evaluacin-de-las-fallas-superficiales-en-.html	< 1%		📄 Palabras idénticas: < 1% (76 palabras)
12	 <b>Documento de otro usuario</b> #9e4e55 📌 El documento proviene de otro grupo	< 1%		📄 Palabras idénticas: < 1% (53 palabras)
13	 <b>repository.unimilitar.edu.co</b>   Ingeniería de Pavimentos https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/86	< 1%		📄 Palabras idénticas: < 1% (72 palabras)
14	 <b>repositorio.upse.edu.ec</b>   Repositorio Universidad Estatal Península de Santa Elen... https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6497	< 1%		📄 Palabras idénticas: < 1% (69 palabras)
15	 <b>Documento de otro usuario</b> #9814d2 📌 El documento proviene de otro grupo	< 1%		📄 Palabras idénticas: < 1% (48 palabras)
16	 <b>repositorio.upse.edu.ec</b>   Repositorio Universidad Estatal Península de Santa Elen... https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6500	< 1%		📄 Palabras idénticas: < 1% (60 palabras)
17	 <b>repositorio.upse.edu.ec</b>   Estudios de las patologías y reparación del pavimento fl... https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6500/1/UPSE-TIC-2021-0021.pdf	< 1%		📄 Palabras idénticas: < 1% (60 palabras)
18	 <b>repositorio.ucv.edu.pe</b> https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/20.500.12692/67327/1/Taipe_GAJ-SD.pdf	< 1%		📄 Palabras idénticas: < 1% (45 palabras)
19	 <b>repositorio.upse.edu.ec</b>   Repositorio Universidad Estatal Península de Santa Elen... https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6500?locale=en	< 1%		📄 Palabras idénticas: < 1% (60 palabras)
20	 <b>repository.unimilitar.edu.co</b> http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/37979/3/MontesNemoconJulyAndrea2020.pdf.pdf	< 1%		📄 Palabras idénticas: < 1% (44 palabras)

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

-  [https://fount.aucegypt.edu/retro\\_etds](https://fount.aucegypt.edu/retro_etds)
-  <https://orcid.org/0000-0002-6488-3661>
-  [http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez\\_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
-  <https://orcid.org/0000-0003-4733-4959>
-  <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132758>

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto lo dedico a Dios, por permitirme culminar con éxito uno de mis mayores sueños.

A mis queridos padres por darme la vida, por su apoyo incondicional en todo momento y ser mi mayor inspiración y la base fundamental a lo largo de mi vida, por sus oraciones, amor, comprensión, consejos, valores y fortaleza para alcanzar mis metas.

*John Villao Borbor*

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación está dedicado en primer lugar a Dios por nunca abandonarme ni dejarme rendir por más grande que sea el camino. A mis padres que son pilar fundamental en mi vida que me enseñaron a nunca rendirme y triunfar para llegar a culminar mi carrera. A mis hermanos por su gran apoyo, gracias a todas esas personas que confiaron en mí pude cumplir esta meta de ser ingeniero civil.

*Irwin Josue Mendez Mantuano*

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi más sincero agradecimiento en primer lugar a Dios por permitir llegar hasta estos momentos de mi vida. Gracias a mis padres por ser los principales promotores de mis anhelos, por educarme, guiarme, creer en mí y en mis metas.

A la PhD. Lucrecia Moreno Alcívar por su paciencia y tiempo brindado para el desarrollo y culminación de este trabajo de titulación, por prestar las instalaciones de su Laboratorio de Suelos “INGEOTOP S.A” para la ejecución de los ensayos de laboratorio necesarios para el desarrollo de la presente investigación.

A nuestro tutor de tesis Ing. Daniel Campoverde por impartirnos sus conocimientos, sus exigentes y acertadas correcciones del presente trabajo de titulación.

Gracias también a mis queridos hermanos, por su apoyo y motivación para el desarrollo del presente trabajo de titulación.

*John Villao Borbor*

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi primer agradecimiento va dirigido a mi familia, a mis padres, Jorge Méndez y Tania mantuano que gracias a ellos pude llegar a donde estoy hoy, dándome fuerzas como ese amor grande que me tienen ellos, Tania mantuano mi madre le agradezco por siempre decirme que todo lo puedo en cristo que me fortalece gracias a ella llegue hasta el final, a mis hermanos, Jorge, Luis, Samuel, julexi. Han estado presente en este largo camino dándome fuerzas para lograr llegar a la meta.

A la PhD. Lucrecia moreno Alcívar quien fue una persona importante, brindando sus conocimientos y desempeño de este trabajo de titulación.

También agradezco a mi tutor el Ing. Daniel Campoverde por su dedicación y orientación. Su experiencia y conocimiento desempeñaron un papel importante a lo largo de este proceso.

A mis amigos, Paola Dorado, Anthony Pilco por apoyarme con sus conocimientos en investigaciones y proyectos, han brindado su amistad desde el principio de este camino.

A mi novia Stephanny Estrada por apoyarme con sus consejos de perseverancia y estando presente en días que fueron malos para mí.

Gracias a todos los que han sido parte de este largo camino, sus apoyos fueron muy importante para mí.

*Irwin Josue Mendez Mantuano*

# TABLA DE CONTENIDO

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN .....	iii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	iv
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	v
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO.....	vii
DEDICATORIA .....	x
DEDICATORIA .....	xi
AGRADECIMIENTOS.....	xii
AGRADECIMIENTOS.....	xiii
TABLA DE CONTENIDO .....	xiv
LISTA DE FIGURAS.....	xix
LISTA DE TABLAS.....	xx
LISTA DE ECUACIONES .....	xxii
ABSTRACT.....	xxiv
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	4
1.2. ANTECEDENTES.....	7
1.3. HIPÓTESIS.....	10
1.3.1. Hipótesis General.....	10
1.3.2. Hipótesis Específicas .....	10
1.4. OBJETIVOS .....	11
1.4.1. Objetivo General.....	11

1.4.2. Objetivos Específicos. ....	11
<b>1.5. ALCANCE.....</b>	<b>11</b>
<b>1.6. VARIABLES .....</b>	<b>12</b>
1.6.1. Variables Independientes. ....	12
1.6.2. Variables Dependientes. ....	12
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1. PAVIMENTOS .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2. IMPORTANCIA DE LOS PAVIMENTOS .....</b>	<b>13</b>
2.2.1. Capacidad de Carga y Resistencia Mecánica. ....	13
2.2.2. Seguridad Vial. ....	13
2.2.3. Eficiencia Operativa y Conectividad. ....	14
2.2.4. Impacto Económico. ....	14
2.2.5. Planificación y Gestión de la Infraestructura. ....	14
<b>2.3. ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO .....</b>	<b>14</b>
2.3.1. Subrasante. ....	15
2.3.2. Subbase. ....	15
2.3.3. Base.....	15
2.3.4. Carpeta Asfáltica.....	16
<b>2.4. TIPOS DE PAVIMENTO .....</b>	<b>16</b>
2.4.1. Pavimento Rígido. ....	16
2.4.2. Pavimento Semi-rígido. ....	17
2.4.3. Pavimento Flexible. ....	17
a) Mezclas asfálticas en frío.....	19
<b>2.5. SERVICIABILIDAD .....</b>	<b>21</b>
2.5.1. Curva de comportamiento del Pavimento.....	22
<b>2.6. FACTORES QUE INCIDEN EN EL DETERIORO DEL TRÁFICO</b>	<b>23</b>

2.6.1. Tráfico.....	23
2.6.2. Cargas y ejes mal distribuidos. ....	23
2.6.3. Clima y condiciones ambientales. ....	23
2.6.4. Mantenimiento inadecuado.....	23
2.6.5. Calidad de los materiales. ....	24
2.6.6. Diseño inadecuado.....	25
2.6.7. Inadecuado proceso constructivo.....	25
<b>2.7. FALLAS DEL PAVIMENTO .....</b>	<b>25</b>
2.7.1. Tipos de fallas.....	26
<b>2.8. Evaluación de PAVIMENTOS .....</b>	<b>26</b>
2.8.1. Evaluación Funcional. ....	27
<b>2.9. Rehabilitación de Pavimentos.....</b>	<b>28</b>
2.9.1. Tipos de Rehabilitación de Pavimentos Flexibles. ....	29
2.9.2. Técnicas de rehabilitación de Pavimentos Flexibles. ....	30
<b>2.10. ESTUDIO DE TRÁFICO .....</b>	<b>35</b>
2.10.1. Trafico Promedio Diario Anual (TPDA).....	35
<b>2.11. Evaluación Geotécnica .....</b>	<b>37</b>
2.11.1. Ensayos de Laboratorio. ....	38
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....</b>	<b>40</b>
<b>3.1 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>40</b>
3.1.1. Tipo.....	40
3.1.2. Nivel. ....	40
<b>3.2. MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>40</b>
3.2.1. Método.....	41
3.2.2. Enfoque.....	41
3.2.3. Diseño.....	41

<b>3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO .....</b>	<b>42</b>
3.3.1. Población. ....	42
3.3.2. Muestra. ....	42
3.3.3. Muestreo. ....	42
<b>3.4. UBICACIÓN DE LOS SECTORES DE ESTUDIO.....</b>	<b>43</b>
3.4.1. Descripción del Pavimento Existente. ....	43
<b>3.5. METODOLOGÍA DEL O.E1.: Evaluar el nivel de daños de la estructura de pavimento empleando el método de índice de serviceabilidad (PSI), para identificar el porcentaje de daño del pavimento. ....</b>	<b>45</b>
<b>3.6. METODOLOGÍA DEL O.E2.: Realizar un estudio geotécnico mediante ensayos de laboratorio para conocer las propiedades mecánicas de la subrasante de la vía de 5km “Dos Mangas”. ....</b>	<b>48</b>
<b>3.5.1 Degradación de capas granulares.....</b>	<b>48</b>
<b>3.7. METODOLOGÍA DEL O.E3.: Analizar el tráfico actual, mediante el conteo manual de vehículos y proyectarlo a futuro para la propuesta de rehabilitación del pavimento. ....</b>	<b>49</b>
3.7.1. Tráfico promedio diario semanal y Factor Diario. ....	49
3.7.2. Factor Mensual (Fm) .....	50
3.7.3. Tráfico promedio diario anual (TPDA). ....	54
3.7.4. Tráfico equivalente. ....	55
3.7.5. Tráfico asignado (TA). ....	55
3.7.6. Cálculo de ejes de diseño.....	56
<b>3.8. Metodología del OE 4: Proponer un diseño de rehabilitación de pavimento empleando el método AASHTO 93, para dar solución a las fallas presentes en el pavimento. ....</b>	<b>59</b>
3.8.1. Diseño de Sobrecapa Asfáltica. ....	59
3.8.2. Diseño de Pavimento Reciclado. ....	64
<b>3.9. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....</b>	<b>66</b>

<b>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>67</b>
<b>4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS OE.1: Evaluar el nivel de daños de la estructura de pavimento empleando el método de índice de serviceabilidad (PSI), para identificar el porcentaje de daño del pavimento. ....</b>	<b>67</b>
<b>4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS OE.2: Realizar un estudio geotécnico mediante ensayos de laboratorio para conocer las propiedades mecánicas de la subrasante de la vía “Dos Mangas” .....</b>	<b>69</b>
<b>4.2.1 Cálculo del CBR (Relación de Soporte de California) de la Subrasante .....</b>	<b>71</b>
<b>4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS O.E 3: Analizar el tráfico actual, mediante el conteo manual de vehículos y proyectarlo a futuro para la propuesta de rehabilitación del pavimento. ....</b>	<b>74</b>
<b>4.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS O.E 4: Proponer un diseño de rehabilitación de pavimento empleando el método AASHTO 93, para dar solución a las fallas presentes en el pavimento.....</b>	<b>76</b>
4.4.1. Diseño de sobrecapa asfáltica .....	77
4.4.2. Diseño de Reciclado .....	80
<b>4.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>82</b>
<b>CAPÍTULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>84</b>
<b>5.1 CONCLUSIONES.....</b>	<b>84</b>
<b>5.2 RECOMENDACIONES.....</b>	<b>85</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>86</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Curva de comportamiento del pavimento .....	22
<b>Figura 2</b> Foto satelital de la vía Manglaralto – Dos Mangas.....	43
<b>Figura 3</b> Sección Típica de la vía .....	44
<b>Figura 4</b> Frecuencia del tráfico semanal de la vía Manglaralto – Dos Mangas....	50
<b>Figura 5</b> Frecuencia de tráfico anual de la vía a Barcelona.....	54
<b>Figura 6.</b> Nomograma para la determinación del coeficiente estructural $a_1$ .....	62
<b>Figura 7</b> Modelo de cálculo para el diseño de pavimento reciclado.....	64
<b>Figura 8</b> Trazado del percentil escogido en la gráfica de frecuencias.....	73
<b>Figura 9</b> Sección típica del método de sobrecarpeta .....	79
<b>Figura 10</b> Sección Típica del diseño por reciclado.....	81

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Clasificación de la serviciabilidad del pavimento según AASHTO.....	21
<b>Tabla 2</b> Soluciones con reciclado .....	32
<b>Tabla 3.</b> Características de la estructura de Pavimento Existente.....	44
<b>Tabla 4</b> Especificaciones de daños en la vía cada 500 metros.....	47
<b>Tabla 5</b> Tráfico semanal que incluye el tráfico promedio diario semana y el factor diario .....	52
<b>Tabla 6</b> Aforo mensual del volumen total de tránsito de la vía Barcelona, ambos sentidos años 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 .....	53
<b>Tabla 7</b> Tráfico promedio diario anual clasificado para cada vehículo aforado...	54
<b>Tabla 8</b> Distribución del TPDA del tráfico equivalente .....	55
<b>Tabla 9</b> Tráfico asignado para la distribución equivalente de vehículos .....	56
<b>Tabla 10</b> Tasas de crecimiento anual de tráfico para cada tipo de tráfico .....	57
<b>Tabla 11.</b> Factor Carril y Direccional .....	58
<b>Tabla 12.</b> Coeficiente a en relación a la evaluación de daños del pavimento existente. ....	59
<b>Tabla 13.</b> Cantidad de finos presente en las capas granulares del pavimento .....	60
<b>Tabla 14.</b> Calidad del drenaje .....	61
<b>Tabla 15.</b> Calidad de drenaje en función del tiempo expuesto a humedad cercana a la saturación .....	62
<b>Tabla 16</b> Factor Fe en relación al grado de contaminación .....	64
<b>Tabla 17</b> Espesor de la carpeta asfáltica .....	65
<b>Tabla 18</b> Cuadro de Operacionalización de Variables.....	66
<b>Tabla 19.</b> Porcentaje de daños físicos observados en el capa asfáltica.....	68

<b>Tabla 20</b> Resultados de los ensayos de la subrasante .....	70
<b>Tabla 21.</b> Grado de contaminación de los agregados de la estructura de pavimento existente .....	71
<b>Tabla 22</b> Resultados de los ensayos CBR realizados de las muestras extraídas...	71
<b>Tabla 23</b> Percentiles para determinar el CBR de diseño de acuerdo a los ESAL'	72
<b>Tabla 24</b> Frecuencia de valores CBR's considerados.....	72
<b>Tabla 25</b> Tráfico de Diseño .....	75
<b>Tabla 26.</b> Coeficiente a para la estructura de pavimento existente.....	77
<b>Tabla 27.</b> Valores para el cálculo del espesor de sobrecarpeta.....	79

## LISTA DE ECUACIONES

<b>Ec. 1</b> Tráfico promedio diario anual.....	49
<b>Ec. 2</b> Tráfico promedio diario semanal .....	49
<b>Ec. 3</b> Factor Diario .....	50
<b>Ec. 4</b> Tráfico Promedio Mensual.....	50
<b>Ec. 5</b> Factor Mensual.....	51
<b>Ec. 6</b> Tráfico asignado .....	55
<b>Ec. 7</b> Tráfico de diseño .....	56
<b>Ec. 8</b> Factor de proyección .....	57
<b>Ec. 9</b> Factor de eje .....	57
<b>Ec. 10</b> Relación de ejes equivalentes.....	57
<b>Ec. 11</b> Porosidad Efectiva.....	60
<b>Ec. 12</b> Volumen de Vacíos Efectivo.....	60
<b>Ec. 13</b> Permeabilidad de la capa.....	61
<b>Ec. 14</b> Tiempo de drenaje total.....	61
<b>Ec. 15</b> Tiempo de drenaje t en horas .....	61
<b>Ec. 16</b> Pluviosidad.....	61
<b>Ec. 17</b> Espesor de la Sobrecapa Asfáltica.....	63
<b>Ec. 18</b> Número estructural existente.....	63
<b>Ec. 19</b> Espesor de pavimento Existente.....	65
<b>Ec. 20</b> Espesor granular por reprocesar .....	65
<b>Ec. 21</b> Espesor efectivo .....	65
<b>Ec. 22</b> Espesor corregido de las capas granulares .....	65
<b>Ec. 23</b> Espesor de pavimento por reciclar .....	65

# RESUMEN

## “REHABILITACIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EXISTENTE, APLICANDO LA METODOLOGÍA AASHTO EN LA VÍA MANGLARALTO - DOS MANGAS, SANTA ELENA-ECUADOR”

**Autores:** Mendez Mantuano Irwin Josué y Villao Borbor John Alex

**Tutor:** Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde

El proceso de rehabilitación de pavimento flexible busca mejorar la calidad y durabilidad del pavimento, brindando seguridad y comodidad a los usuarios de la vía. El presente trabajo de titulación tiene por objetivo rehabilitar el pavimento flexible existente de la vía “Dos Mangas 5km”, que comunica a la parroquia Manglaralto (cantón Santa Elena) con Dos Mangas, mediante el análisis de daños del pavimento empleando el método AASHTO, el estudio de tráfico y suelos, para que la estructura sea capaz de resistir cargas futuras de tránsito y mejorar su nivel de serviciabilidad. Los resultados evidenciaron que el pavimento existente posee daños de tipo funcional y el mayor porcentaje de daños correspondió a los agregados pulidos con un valor del 26%, lo que sugiere problemas de adherencia de los agregados que conforman el pavimento. En base a los daños observados se analizaron dos propuestas de rehabilitación; sobrecapa y reciclado con el método AASHTO. Los autores concluyeron que el método de reciclado es la mejor opción de rehabilitación debido a que se logró una reducción significativa en el espesor de carpeta con el obteniendo 7,5 cm frente a los 11 cm con el método de sobrecarpeta. Este análisis no solo implica un uso más eficiente de materiales, sino también brinda beneficios ambientales al minimizar la cantidad de recursos necesarios para la rehabilitación. Finalmente, los autores recomiendan realizar un mantenimiento adecuado de la vía para minimizar el daño de pavimento por agregados pulidos.

*Palabras Clave:* Método AASHTO, sobrecapa, reciclado, daños funcionales

# ABSTRACT

## "REHABILITATION OF THE EXISTING FLEXIBLE PAVEMENT, APPLYING THE AASHTO METHODOLOGY ON THE MANGLARALTO - DOS MANGAS ROAD, SANTA ELENA, ECUADOR."

**Authors:** Mendez Mantuano Irwin Josué y Villao Borbor John Alex

**Tutor:** Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde

The flexible pavement rehabilitation process aims to improve the quality and durability of the pavement, providing safety and comfort to road users. This graduation project aims to rehabilitate the existing flexible pavement of the "Dos Mangas 5km" road, which connects the Manglaralto parish (Santa Elena canton) with Dos Mangas. This will be achieved through the analysis of pavement damage using the AASHTO method, traffic and soil studies, ensuring that the structure can withstand future traffic loads and enhance its serviceability level. The results revealed that the existing pavement has functional damage, with polished aggregates accounting for the highest percentage of damage at 26%, indicating potential issues with aggregate adhesion in the pavement.

Based on the observed damage, two rehabilitation proposals were analyzed: an overlay and recycling using the AASHTO method. The authors concluded that the recycling method is the best rehabilitation option, achieving a significant reduction in the asphalt layer thickness, measuring 7.5 cm compared to 11 cm with the overlay method. This analysis not only implies a more efficient use of materials but also provides environmental benefits by minimizing the resources required for rehabilitation. Finally, the authors recommend proper road maintenance to minimize pavement damage from polished aggregates.

**Key words:** *AASHTO method, overlay, recycling, functional damage*

# CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

El proceso de rehabilitación de pavimento flexible busca mejorar la calidad y durabilidad del pavimento, brindando seguridad y comodidad de los usuarios de la vía (Orrel Pino, 2009, p.10). Según el Manual de Diseño de Pavimentos del Instituto de Investigación del Transporte de Texas, esta acción se orienta a la restauración de la capacidad estructural del pavimento, la optimización de la superficie de rodadura y la prolongación de la vida útil.

La rehabilitación de pavimentos flexibles abarca un proceso multifacético que incluye opciones como el reciclaje del pavimento existente (Rodríguez & Rodríguez, 2004, p.15), la aplicación de capas adicionales de asfalto, la reconstrucción de la base y la subbase, así como la estabilización del suelo (Alarcón et al., 2020, p. 2). La elección de la técnica más adecuada está determinada por factores, tales como el tipo y la gravedad del deterioro del pavimento, el presupuesto disponible, las condiciones climáticas y el nivel de tráfico. Esta cuidadosa selección de estrategias de rehabilitación es esencial para asegurar intervenciones efectivas que se adapten a las necesidades específicas de cada proyecto, garantizando, de esta manera, la durabilidad y el rendimiento óptimo del pavimento rehabilitado (Rivera, 2020, p. 6).

La precisión en la estimación del tráfico anual promedio emerge como un componente crítico que influye directamente en la integridad del pavimento, como señala Vera (2021, p. 30). La relevancia de esta precisión se manifiesta especialmente durante las fases de diseño y construcción de carreteras, donde una proyección precisa del tráfico es esencial para garantizar un rendimiento óptimo del pavimento. Es importante destacar que, las estimaciones inexactas del tráfico pueden generar desviaciones significativas en comparación con la realidad. Esta disparidad, a su vez, podría resultar en un diseño no acorde con las cargas vehiculares reales, conduciendo a un pavimento insuficiente para resistir las

tensiones proyectadas y propiciando un deterioro prematuro de la superficie(Liu & Sun, 2023, p. 8). Este escenario no solo implica un problema estético, sino que también lleva consigo consecuencias más profundas, como una capacidad estructural deficiente. La consecuencia directa de una capacidad estructural comprometida es un pavimento que podría volverse excesivamente rígido o flexible. Esto no solo impacta negativamente en la durabilidad del pavimento, sino que también tiene implicaciones para la seguridad vial y la eficiencia del sistema de transporte en general. En este sentido, la estimación adecuada del tráfico futuro no solo contribuye a la preservación del pavimento, sino que también es un componente esencial para garantizar la funcionalidad y la seguridad de la infraestructura vial a lo largo del tiempo (Zhao et al., 2021, p. 5).

Para evitar los problemas asociados a la proyección del tráfico, es esencial utilizar modelos precisos y actualizados (Mantillas Rojas, 2013, p.12). Es imperativo, llevar a cabo una supervisión constante del estado del pavimento para detectar cualquier indicio de deterioro y adoptar medidas preventivas antes de que la degradación se convierta en un problema más serio. La precisión en la proyección del tráfico se erige como un elemento crítico en el diseño y construcción de carreteras, con el propósito de garantizar la seguridad y durabilidad del pavimento (Meléndez & Murillo, 2022, p. 20).

El índice de pérdida de servicio (IPS) es un indicador utilizado para evaluar la capacidad de servicio de un pavimento. Este índice no solo refleja la capacidad del pavimento para resistir el tráfico, sino que también es fundamental para proporcionar una superficie de rodadura segura y cómoda para los usuarios. Su determinación implica la evaluación meticulosa de diversos parámetros, como la rugosidad, textura, deformación y fisuración del pavimento (Romero, 2022, p. 15).

En línea con la investigación de Leguía y Pacheco (2015), el IPS se destaca como uno de los tres indicadores fundamentales empleados para evaluar la capacidad de servicio de un pavimento, además del índice de condición del pavimento (PCI) (García y Jiménez) y el índice de irregularidad internacional (IRI) (Cespedes, 2023). Estos indicadores proporcionan una evaluación integral y detallada de la

condición del pavimento, permitiendo establecer estrategias de rehabilitación y mantenimiento.

En este contexto, el método AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) brinda al especialista un enfoque estandarizado y riguroso para la evaluación de daños del pavimentos(Rajbongshi & Das, 2008). Este método, permite identificar y cuantificar de manera sistemática los diferentes tipos de deterioro presentes en las carreteras. Al conectar esta evaluación con el análisis del Índice de Serviciabilidad, se destaca la necesidad de comprender a fondo la naturaleza y la extensión de los daños antes de implementar soluciones específicas de rehabilitación, garantizando así la alineación precisa de las intervenciones con las necesidades del pavimento.

Más allá de la ingeniería vial, la importancia de mantener las carreteras en condiciones óptimas se manifiesta en el desarrollo económico y social. Un mantenimiento adecuado no solo facilita la conectividad y promueve el comercio, sino que también respalda el turismo y contribuye al crecimiento económico al reducir los costos operativos y mejorar la accesibilidad (Yu Chou, 1990). Además, fortalece la seguridad vial, mejorando la calidad de vida de las comunidades circundantes. En este sentido, la evaluación del pavimento y la planificación estratégica de intervenciones se vuelven esenciales para mantener y mejorar las condiciones de las carreteras, contribuyendo así al desarrollo sostenible y al bienestar general (Albino & Enciso, 2020, p. 29).

La provincia de Santa Elena alberga atractivos turísticos esenciales para sustentar la economía local, especialmente en la zona norte de la provincia, que cuenta con varios centros de entretenimiento (Bastidas et al., 2020, p. 31), además de ofrecer actividades al aire libre. En este contexto, las vías y carreteras desempeñan un papel crucial en potenciar el turismo en la región. No obstante, la vía de 5 km "Dos Mangas" ha presentado fallas en el pavimento, detectadas mediante inspección visual, impactando negativamente en la satisfacción de los usuarios afectando indirectamente el turismo.

El proyecto de titulación tiene como objetivo principal la rehabilitación de la vía "Dos Mangas" con el propósito de mejorar tanto la capacidad estructural de la carretera como el nivel de satisfacción de los usuarios. Para alcanzar este objetivo, la estructura del trabajo se compone de la siguiente manera: el capítulo 1 aborda la problemática, antecedentes de investigación, objetivos y variables que delimitan el alcance de la investigación. El segundo capítulo presenta la fundamentación teórica necesaria para el diseño de la rehabilitación del pavimento. En el tercer capítulo se detalla la metodología utilizada para la evaluación del pavimento, el análisis de tráfico, el estudio geotécnico y el diseño de rehabilitación. Los resultados obtenidos de la metodología aplicada se exponen en el cuarto capítulo, y, finalmente, el quinto capítulo comprende las conclusiones y recomendaciones derivadas del desarrollo del tema de investigación. Este enfoque estructurado garantiza una comprensión integral y organizada del proyecto de rehabilitación de la vía "Dos Mangas" y sus implicaciones para la mejora del turismo local.

## **1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

La necesidad de brindar seguridad y serviceabilidad en los pavimentos es un tema de vital importancia en el ámbito de la infraestructura vial. Los pavimentos, como elementos fundamentales de las carreteras y calles, juegan un papel crucial en la movilidad y el desarrollo económico de una región. Por lo tanto, es crucial garantizar su serviceabilidad a través de un mantenimiento y rehabilitación adecuados.

Los pavimentos desempeñan un papel esencial en la seguridad vial. Son la superficie de rodadura sobre la cual transitan vehículos, peatones y ciclistas (Mendieta, 2016, p. 12). Un pavimento en mal estado puede representar un riesgo para la seguridad de todos los usuarios de la vía (Aquino, 2022, p. 32). Baches, grietas, deformaciones y hundimientos pueden provocar accidentes de tráfico, especialmente en condiciones climáticas adversas. Además, un pavimento deteriorado puede generar una disminución en la adherencia de los neumáticos al asfalto, lo que aumenta la distancia de frenado y compromete la estabilidad de los vehículos.

Además de la seguridad, la serviceabilidad es un aspecto clave en la infraestructura vial. Los pavimentos deben ser capaces de soportar el tránsito diario de vehículos, resistir los efectos de la carga y proporcionar una superficie cómoda y eficiente para el desplazamiento de vehículos. Un pavimento en buen estado permite una conducción suave, reduce el consumo de combustible, disminuye el desgaste de los vehículos y reduce el tiempo de viaje. Por el contrario, un pavimento deteriorado aumenta los costos operativos de los vehículos, causa molestias a los usuarios y afecta negativamente la eficiencia del transporte (Pérez y Ramírez, 2018, p. 28).

El mantenimiento y la rehabilitación de los pavimentos son acciones indispensables para garantizar su durabilidad y prolongar su vida útil. Estas actividades incluyen la reparación de baches, el sellado de grietas, la nivelación de deformaciones y la renovación del pavimento cuando sea necesario. El mantenimiento periódico permite detectar y corregir los problemas en etapas tempranas, evitando que se conviertan en daños mayores y más costosos de reparar. Además, la rehabilitación oportuna de los pavimentos deteriorados ayuda a restaurar su capacidad estructural y funcional, evitando así una degradación progresiva que requeriría una intervención más costosa y compleja en el futuro.

La inversión en el mantenimiento y rehabilitación de los pavimentos es esencial para garantizar la sostenibilidad de las infraestructuras viales a largo plazo. Si se descuida el mantenimiento, los pavimentos se deteriorarán rápidamente, lo que resultará en un ciclo constante de reparaciones y reconstrucciones costosas. Por otro lado, si se implementan estrategias efectivas de mantenimiento y rehabilitación, los pavimentos pueden mantenerse en buen estado durante períodos más prolongados, ahorrando recursos económicos y reduciendo la interrupción del tráfico durante las obras.

Además de los beneficios económicos, el mantenimiento y la rehabilitación de los pavimentos tienen un impacto positivo en el medio ambiente. Un pavimento en buen estado permite una conducción más eficiente, reduciendo el consumo de combustible y las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, al evitar la reconstrucción completa de los pavimentos, se evita la generación de grandes

cantidades de residuos de construcción y demolición, lo que contribuye a la reducción de la huella ambiental de la industria de la construcción.

En la provincia de Santa Elena, se puede evidenciar el deterioro de las vías que se ven afectadas debido a la falta de estudios que proporcionen un correcto diseño de la estructura de pavimento, algunos de los daños que se pueden visualizar son bacheos, ondulaciones, agrietamientos, fisuramiento longitudinal y vertical, entre otros. La necesidad de crear vías eficientes se origina en la satisfacción de la población y quienes transitan, de manera que se pueda realizar un recorrido agradable y con mayor rapidez y seguridad.

La vía Dos Mangas-Santa Elena, debido a condiciones del tránsito, clima y a la falta de mantenimiento periódico, se ha deteriorado presentando fallas que afectan la comodidad de los usuarios. Con el objeto de optimizar y preservar las condiciones de calidad de la vía, se pretende con este estudio dar soluciones y alternativas de diseño para la rehabilitación de esta, que se ajusten a las necesidades y presupuesto de la región, teniendo claro la importancia de un buen funcionamiento vial para el crecimiento de la economía y el cómodo desplazamiento de los ciudadanos.

En base a estas consideraciones surgen las siguientes interrogantes de investigación. Como interrogante general ¿La rehabilitación del pavimento flexible existente de la vía “Dos Mangas 5km”, que comunica a la parroquia Manglaralto (cantón Santa Elena) con Dos Mangas, mediante el análisis de daños del pavimento empleando el método AASTHO, el estudio de tráfico y suelos, ¿permitirá que la estructura de pavimento resista las cargas actuales de tránsito y el mejoramiento de la serviceabilidad? y como interrogantes específicas ¿La evaluación de daños de la estructura de pavimento empleando el método de índice de serviceabilidad (PSI), permitirá identificar las principales fallas del pavimento?, ¿ El análisis de tráfico mediante el conteo manual de vehículos permitirá conocer el tráfico actual y proyectarlo a futuro para la propuesta de rehabilitación de pavimento?, ¿La realización del estudio geotécnico mediante ensayos de laboratorio, permitirá conocer las propiedades mecánicas de la subrasante de la vía de 5km “Dos Mangas”? y ¿ La propuesta del diseño de rehabilitación de pavimento flexible empleando el método AASHTO 93, permitirá dar solución a las fallas presentes en

el pavimento?. Estas preguntas son importantes porque guían el desarrollo de la tesis y contribuirán a la contrastación de hipótesis.

## **1.2. ANTECEDENTES**

A nivel internacional se cuenta con el trabajo realizado por Larios & Mendoza, (2021), titulado *“Rehabilitación del pavimento flexible de la avenida Salvador Lara, Trujillo 2021”*, los autores tuvieron por objetivo diseñar una rehabilitación para el pavimento flexible aplicando la metodología AASHTO 1993 para mejorar la transitabilidad y condición de la avenida Salvador Lara. Para tal fin, se realizaron estudios básicos de suelos como la granulometría, los límites de plasticidad y líquido, complementando con los estudios de CBR y Proctor modificado. Se realizó el diseño del pavimento considerando el factor IMDa que se calculó por medio del estudio de tráfico y los estudios de suelos, con los requisitos propuestos del manual de carretera suelos y pavimentos y la norma E010 pavimentos urbanos. Además, se realizó un estudio de Índice de Condición del Pavimento (PCI), obteniendo como resultado una valoración del pavimento de muy malo en la 1era vía y malo en la 2da vía. Los resultados obtenidos fueron un espesor de 3” o 7.50 cm para el espesor de la carpeta asfáltica, 8” o 20 cm para la base y 8” o 20 cm para la subbase cumpliendo los parámetros de la norma AASHTO 1993. Finalmente, se concluyó que debido a la pésima condición del pavimento fue necesario recurrir a un nuevo diseño de pavimento.

También, se cuenta con el trabajo reportado por Solís & Vallejos (2019) titulado *“Estudio y evaluación del pavimento flexible ubicado en la av. Chinchaysuyo del tramo del paseo Yortuque, empleando el método PCI y propuesta de rehabilitación del pavimento flexible”*, cuyo objetivo de investigación consistió en evaluar el pavimento flexible para conocer el estado de daños de la Av. Chinchaysuyo utilizando el método PCI para proponer su rehabilitación. La metodología empleada consistió en desarrollar el Método PCI al pavimento objeto de estudio, para lo cual, se hizo la recolección de datos de exploración de la condición por unidad de muestreo (superficie asfáltica) a través de fichas y formatos de la Norma ASTM 5340, para obtener el Máximo Valor Deducido Corregido, luego el Valor de Reducción y finalmente el Índice de Condición del Pavimento Se obtuvieron 83

unidades de muestra de las cuales se obtuvo un pavimento muy bueno. Se obtuvo como resultado un índice de condición de 76, a través, además, se determinó la presencia de 11 fallas que corresponden a: disgregación y desintegración 32.9%, huecos 17.3%, baches y zanjas reparadas 16.2%, grietas longitudinales 9.7%, grietas piel de cocodrilo 8.7%, elevaciones – hundimiento 5.4%, ahuellamiento 4.7%, depresiones 1.8%, grietas de deslizamiento 1.8%, grietas de borde 1.1% y deformación por empuje 0.4%. Finalmente, los autores concluyeron que, aunque, el índice de condición de pavimento muestra que la calidad del pavimento es “Buena”, es preciso realizar una rehabilitación al pavimento de todas las fallas encontradas con el fin de evitar que estas se intensifiquen con el paso del tiempo.

A nivel nacional se cuenta con el trabajo propuesto por Dávila (2012), titulado *“Diseño de la rehabilitación del pavimento flexible en el tramo "Guayllabamba El Pisque"*, cuyo objetivo fue diseñar la rehabilitación del pavimento flexible en el tramo "Guayllabamba - El Pisque", mediante el reconocimiento visual y los estudios necesarios para el levantamiento de la condición actual del pavimento que permitan determinar las medidas necesarias para la recuperación de la estructura existente. Para tal propósito, los autores realizaron la evaluación del pavimento existente mediante la inspección visual, medida de las deflexiones y ensayos de laboratorio. Los resultados obtenidos demostraron que el pavimento presenta patologías características de la fatiga de las mezclas asfálticas existentes, con fisuras tipo bloque y piel de cocodrilo, en donde las áreas afectadas oscilan entre el 60 y 80%. Las deflexiones, en particular, la deflexión central, exhibe un comportamiento concordante con los deterioros superficiales, en el tramo en estudio se presentan valores promedio de deflexión equivalentes a 771  $\mu\text{m}$  lo que equivale a una condición del pavimento cualitativa “mala”. En base a los resultados obtenidos los autores decidieron realizar el reforzamiento de la estructura mediante la colocación de una sobrecarpeta asfáltica que permita soportar adecuadamente las cargas de tránsito proyectadas.

También se cuenta con el trabajo de titulado García & Terán (2022) *“El pavimento flexible y el método whitetopping en comparación al método tradicional para la rehabilitación de la vía principal del recinto barranca de la ciudad de Samborondón”*, cuyo objetivo fue el de comparar el método whitetopping con

pavimento flexible como técnicas para la rehabilitación del pavimento flexible en la vía principal del Recinto Barranca de la Ciudad de Samborondón. La metodología aplicada consistió en la recolección de datos a través de encuestas al usuario, en donde se compararon ciertos aspectos como el confort del usuario, el tiempo de ejecución de obra, el costo por metro cuadrado de cada método, número de mantenimientos que se realizan en cada método, tiempo de ejecución de cada método, etc. que nos permitieron evaluar por medio de resultados estadísticos. Además, se realizó inspección visual empleando el método PCI. Los resultados obtenidos demostraron un porcentaje de malos medios por lo que, el autor sugiere emplear la rehabilitación a través del método whitetopping.

Localmente se puede encontrar como antecedente el trabajo de titulación de Dominguez & Panchana (2021) denominado “*Estudios de las patologías y reparación del pavimento flexible ubicado en el tramo de la av. Francisco Pizarro y calle cuarta – cantón santa elena – provincia de Santa Elena*”, el cual tuvo como objetivo efectuar la evaluación de diversas patologías encontradas en el pavimento flexible ubicado en la Avenida Francisco Pizarro y en base a estas plantear medidas de reparación. La metodología aplicada se centró en el uso del Pavement Condition Index (PCI) como método investigativo para determinar el estado del pavimento en la zona de estudio, la recopilación de información se realizó mediante ortofotos obtenidas con la ayuda de un dron y realizando visitas de campo de forma tradicional. Los resultados obtenidos en base al estudio de tráfico resaltan la insuficiencia en el espesor de las capas del pavimento y la aplicación del método PCI define el pavimento de la zona de estudio como Regular y Malo.

También se encuentra el trabajo de titulación previo a la obtención del título de ingeniero civil de Chonillo & Palma (2021) titulado “*Evaluación estructural del pavimento flexible, del tramo de la vía troncal del pacífico comprendido entre la calle 24 de mayo y la avenida décimo octava, ruta del Spondylus, cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena*”, dicho trabajo tuvo como objetivo evaluar el estado estructural del pavimento flexible ubicado de la vía Troncal del Pacífico, específicamente entre la calle 24 de mayo y la Avenida Décimo octava. La metodología aplicada comprendió estudio de tráfico, extracción de carpeta asfáltica, identificación visual del deterioro de la vía mediante el método PCI, estudios de

suelo, se realizaron visitas de campo y análisis de manera visual para identificar las clases de fallas encontradas. Los resultados obtenidos de este estudio indicaron que el pavimento flexible analizado presenta deficiencia estructural y no soportara el periodo de análisis de 10 años, los autores concluyeron como solución viable a las fallas presentes en la vía efectuar una reconstrucción y como recomendación adicional elaborar una base reciclada empleando el material ya existente.

### **1.3. HIPÓTESIS**

#### **1.3.1. Hipótesis General.**

La rehabilitación del pavimento flexible existente de la vía “Dos Mangas 5km”, que comunica a la parroquia Manglaralto (cantón Santa Elena) con Dos Mangas, mediante el análisis de daños del pavimento empleando el método AASTHO, el estudio de tráfico y suelos, permitirá que la estructura de pavimento resista las cargas actuales de tránsito y el mejoramiento de la serviceabilidad.

#### **1.3.2. Hipótesis Específicas**

**H.E1.:** La evaluación de daños de la estructura de pavimento empleando el método AASTHO, permitirá identificar las principales fallas del pavimento.

**H.E2.:** El análisis de tráfico mediante el conteo manual de vehículos permitirá conocer el tráfico actual y proyectarlo a futuro para la propuesta de rehabilitación de pavimento.

**H.E3.:** La realización del estudio geotécnico mediante ensayos de laboratorio, permitirá conocer las propiedades mecánicas de la subrasante de la vía de 5km “Dos Mangas”.

**H.E4.:** La propuesta del diseño de rehabilitación de pavimento flexible empleando el método AASTHO 93, permitirá dar solución a las fallas presentes en el pavimento.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo General.**

Rehabilitar el pavimento flexible existente de la vía “Dos Mangas 5km”, que comunica a la parroquia Manglaralto (cantón Santa Elena) con Dos Mangas, mediante el análisis de daños del pavimento empleando el método AASHTO, el estudio de tráfico y suelos, para que la estructura resista las cargas futuras de tránsito y mejorar la serviceabilidad.

### **1.4.2. Objetivos Específicos.**

**O.E1.:** Evaluar el nivel de daños de la estructura de pavimento empleando el método AASHTO, para identificar el porcentaje de daño del pavimento.

**O.E2.:** Realizar un estudio geotécnico mediante ensayos de laboratorio para conocer las propiedades mecánicas de la subrasante de la vía de 5km “Dos Mangas”.

**O.E3.:** Analizar el tráfico actual, mediante el conteo manual de vehículos y proyectarlo a futuro para la propuesta de rehabilitación del pavimento.

**O.E4.:** Proponer un diseño de rehabilitación de pavimento empleando el método AASHTO 93, para dar solución a las fallas presentes en el pavimento.

## **1.5. ALCANCE**

El alcance de este trabajo de titulación se centra en la rehabilitación del pavimento flexible existente en la vía Manglaralto-Dos Mangas, empleando la metodología AASHTO. La vía actualmente experimenta fallas en el pavimento, que afectan su estructura general. El alcance del proyecto se extiende más allá de una simple evaluación; específicamente, se propone validar diversas propuestas de rehabilitación de pavimentos flexibles utilizando la metodología AASHTO.

Para lograr este objetivo, se aplicarán los principios de geotecnia y diseño de pavimentos, considerando las condiciones específicas de la vía y su entorno. La validación de las propuestas de rehabilitación se llevará a cabo mediante la identificación del número estructural (SN) necesario para garantizar la capacidad adecuada del pavimento frente a las cargas solicitadas, tomando en cuenta factores como el tráfico esperado y las condiciones geotécnicas del terreno.

La amplitud del alcance del trabajo implica no solo la identificación de soluciones viables desde un punto de vista técnico, sino también la selección del diseño a través de la consideración de la viabilidad económica y la sostenibilidad a largo plazo. En conjunto, este enfoque holístico asegurará una rehabilitación efectiva del pavimento flexible en la vía Manglaralto-Dos Mangas, contribuyendo así a la mejora duradera de la infraestructura vial y su capacidad para satisfacer las demandas del tráfico.

## **1.6. VARIABLES**

### **1.6.1. Variables Independientes.**

- ✓ Evaluación de daños del pavimento
- ✓ Estudio de tráfico
- ✓ Propiedades Mecánicas de la subrasante

### **1.6.2. Variables Dependientes.**

- ✓ Rehabilitación de pavimento de la vía “Dos Mangas”.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. PAVIMENTOS**

Los pavimentos son elementos fundamentales en la infraestructura vial, desempeñando un papel crucial en la movilidad y seguridad de las personas y vehículos. Su diseño y construcción requieren un enfoque técnico integral, considerando diversas variables y propiedades que influyen en su comportamiento estructural y funcional (Chuyes, 2021, p. 25).

### **2.2. IMPORTANCIA DE LOS PAVIMENTOS**

Los pavimentos, como elementos fundamentales de la infraestructura vial, desempeñan un papel crucial en la movilidad, seguridad y desarrollo socioeconómico de las regiones. La importancia de los pavimentos se fundamenta en varios aspectos técnicos y funcionales que inciden directamente en la operación eficiente de las redes de transporte.

#### **2.2.1. Capacidad de Carga y Resistencia Mecánica.**

La resistencia mecánica de los materiales utilizados en la construcción de pavimentos, como el asfalto y el concreto, garantiza la estabilidad estructural y la capacidad de soportar las sollicitaciones repetitivas, evitando deformaciones excesivas y fallos prematuros.

#### **2.2.2. Seguridad Vial.**

Los pavimentos desempeñan un papel determinante en la seguridad vial. La textura superficial, la geometría de la carretera y la capacidad de frenado son elementos críticos para prevenir accidentes. Además, la correcta señalización y

marcado en la superficie del pavimento contribuyen a la orientación segura de los conductores (Yaro et al., 2023, p.1).

### **2.2.3. Eficiencia Operativa y Conectividad.**

La calidad de los pavimentos influye directamente en la eficiencia operativa de la red vial. Pavimentos bien diseñados y mantenidos reducen la resistencia al rodado, mejoran el consumo de combustible y permiten un desplazamiento más rápido y eficiente. Esto favorece la conectividad entre regiones, impulsando el intercambio comercial y la accesibilidad a servicios.

### **2.2.4. Impacto Económico.**

Un sistema de pavimentos eficiente y bien mantenido reduce los costos operativos para los usuarios y las empresas de transporte, el tiempo que contribuye al desarrollo económico local al facilitar el acceso a mercados y la movilización de bienes y servicios (Alimohammadi, 2020, p. 2).

### **2.2.5. Planificación y Gestión de la Infraestructura.**

La implementación de sistemas de monitoreo y evaluación constante del estado de los pavimentos facilita la toma de decisiones informada en operaciones de mantenimiento y rehabilitación. La importancia de los pavimentos radica en su impacto directo en la movilidad, seguridad, desarrollo económico y sostenibilidad ambiental. Un enfoque integral en el diseño, construcción y gestión de pavimentos es esencial para mantener y mejorar la calidad de las redes viales a lo largo del tiempo (Vásquez-Varela & García-Orozco, 2021, p. 13).

## **2.3. ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO**

En la construcción de pavimentos flexibles, se emplean distintas capas que desempeñan roles específicos. Por último, la carpeta asfáltica, también conocida como capa de rodadura, es la capa superior del pavimento flexible y está compuesta

principalmente por una mezcla de agregados pétreos y asfalto. La carpeta asfáltica brinda una superficie de rodadura lisa y resistente, protegiendo las capas inferiores del pavimento de los efectos del tráfico y el clima.

### **2.3.1. Subrasante.**

La subrasante, que constituye la capa más profunda en la estructura del pavimento, se define como el estrato de suelo natural o preparado sobre el cual reposa la infraestructura vial. Su papel es de vital importancia, ya que desempeña funciones cruciales en el comportamiento estructural del pavimento. Principalmente, la subrasante tiene la responsabilidad de ofrecer un soporte sólido y resistente, actuando como la base fundamental sobre la cual se sustenta todo el sistema vial.

En términos prácticos, la función esencial de la subrasante radica en la capacidad para distribuir de manera eficiente las cargas generadas por el tráfico a lo largo del pavimento. Este proceso de distribución equitativa de las fuerzas contribuye a preservar la integridad del pavimento al evitar la concentración excesiva de cargas en puntos específicos. Asimismo, la subrasante actúa como un amortiguador, ayudando a minimizar los efectos adversos de las variaciones climáticas y las fluctuaciones en la carga del tráfico (Ávila, 2011, p. 21).

### **2.3.2. Subbase.**

Por encima de la subrasante se encuentra la subbase, que consiste en un material granular como grava o arena. La subbase se utiliza para mejorar la capacidad portante de la subrasante y proporcionar un drenaje adecuado. Sobre la subbase se coloca la base, que generalmente está compuesta por una mezcla de agregados pétreos y un ligante bituminoso (Montes, 2020, p. 25).

### **2.3.3. Base.**

La capa de base está diseñada para soportar y distribuir las cargas transmitidas por el tráfico vehicular, minimizando las deformaciones y

manteniendo la integridad estructural del pavimento. Los materiales comúnmente utilizados en la construcción de la capa de base incluyen agregados pétreos, mezclas de suelo mejorado, o materiales estabilizados con aglomerantes como cemento o cal. La elección de estos materiales se realiza tras un análisis detallado de las características del suelo local, las condiciones climáticas y las exigencias específicas del tráfico, garantizando así un desempeño óptimo de la capa de base en términos de resistencia y capacidad portante (Rojas, 2022, p. 23).

#### **2.3.4. Carpeta Asfáltica.**

La carpeta asfáltica, también conocida como capa de rodadura, es la capa superior del pavimento flexible y está compuesta principalmente por una mezcla de agregados pétreos y asfalto. La carpeta asfáltica brinda una superficie de rodadura lisa y resistente, protegiendo las capas inferiores del pavimento de los efectos del tráfico y el clima.

### **2.4. TIPOS DE PAVIMENTO**

#### **2.4.1. Pavimento Rígido.**

Un pavimento rígido es una estructura de carretera compuesta principalmente por losas de concreto armado o cemento Portland, diseñadas y construidas para soportar y distribuir las cargas del tráfico de manera eficiente. A diferencia de los pavimentos flexibles, el pavimento rígido no se deforma significativamente bajo las cargas aplicadas, ya que las losas de concreto proporcionan una superficie dura y resistente. Las losas de concreto se colocan sobre una capa de subbase, que proporciona soporte y nivelación, y se unen entre sí mediante juntas para permitir la expansión y contracción térmica. El pavimento rígido se caracteriza por su alta resistencia estructural, durabilidad y capacidad para resistir deformaciones permanentes. Se utiliza comúnmente en carreteras de alto volumen de tráfico, aeropuertos y áreas industriales donde se requiere una mayor capacidad de carga. Sin embargo, su construcción y mantenimiento pueden ser más costosos en comparación con los pavimentos flexibles, y su falta de flexibilidad

puede hacerlo más propenso a fisuras por cambios de temperatura y cargas desiguales (Vera, 2021, p. 19).

### **2.4.2. Pavimento Semi-rígido.**

Es un tipo de superficie que combina características de rigidez y flexibilidad para proporcionar una estructura de pavimento eficaz y duradera. Este tipo de pavimento se compone generalmente de una capa superior de concreto asfáltico o cemento portland, que se coloca sobre una capa de base granular. La capa superior ofrece resistencia a las cargas y una superficie de rodadura suave, mientras que la capa de base granular proporciona una cierta flexibilidad para absorber las tensiones y las deformaciones causadas por la carga y el tráfico vehicular.

### **2.4.3. Pavimento Flexible.**

Un pavimento flexible es una estructura de carretera diseñada y construida con capas de materiales flexibles que se adaptan a las deformaciones del suelo y distribuyen las cargas de tráfico de manera eficiente. Consiste en varias capas superpuestas, que incluyen la subrasante, subbase, base y carpeta asfáltica. La subrasante es la capa inferior sobre la cual se apoya el pavimento y proporciona soporte estructural. La subbase mejora la capacidad portante y el drenaje. La base distribuye las cargas y resiste deformaciones. La carpeta asfáltica es la capa superior que brinda una superficie de rodadura lisa y resistente. Estas capas trabajan en conjunto para soportar el tránsito vehicular, absorber las cargas y distribuir las hacia el suelo subyacente. El pavimento flexible tiene la ventaja de adaptarse a los movimientos del suelo, resistir fisuras y ofrecer una conducción cómoda. Su construcción y mantenimiento adecuados son fundamentales para garantizar su durabilidad y rendimiento a largo plazo (Dionicio & León, 2023; Vera, 2021).

#### ***2.4.3.1. Diseño de Pavimentos Flexibles según AASHTO 1993.***

El Método AASHTO 93, desarrollado por la Asociación Americana de funcionarios de Carreteras y Transporte, es una metodología integral y ampliamente empleada en el diseño de pavimentos flexibles. Este enfoque

se fundamenta en principios mecánicos y empíricos, incorporando consideraciones específicas relacionadas con el tráfico, los materiales de construcción y las condiciones del suelo.

En una primera fase, se lleva a cabo un análisis exhaustivo de las características del tráfico, considerando el número y tipo de vehículos, las cargas por eje y la distribución temporal de cargas. Esta información es esencial para calcular las solicitaciones de carga que influirán en la estructura del pavimento a lo largo de su vida útil.

Posteriormente, se realiza un detallado análisis de las propiedades mecánicas de los materiales que componen las distintas capas del pavimento, tales como el asfalto, la base y la subbase. Parámetros como la resistencia a la flexión, la resistencia al corte y la deformación permanente son considerados para evaluar el comportamiento estructural de cada capa (Mannan et al., 2015, p. 3).

La capacidad de carga de la subrasante, que constituye el suelo natural sobre el cual se construye el pavimento, es un factor crítico que se evalúa en esta metodología. Un análisis de la capacidad portante de la subrasante se realiza para garantizar que cumpla con los requisitos necesarios para soportar las cargas del tráfico y evitar asentamientos excesivos.

Utilizando modelos matemáticos y algoritmos específicos, el Método AASHTO 93 determina los espesores óptimos de las diferentes capas del pavimento. Se establecen espesores para la capa de rodadura, base, subbase y, si es necesario, la estabilización de suelos, teniendo en cuenta la respuesta estructural deseada y las propiedades de los materiales disponibles.

El método también incorpora consideraciones ambientales y climáticas, como variaciones de temperatura y presencia de agua, que pueden afectar el rendimiento del pavimento a lo largo del tiempo. Estos factores son cruciales para garantizar la durabilidad y resistencia del pavimento ante condiciones adversas (Ayman Aguib, 2013, p. 28).

Finalmente, el Método AASHTO 93 incluye procesos de verificación y ajustes iterativos. Se realizan ajustes en los espesores de las capas y otros parámetros para optimizar el rendimiento del pavimento bajo condiciones específicas, asegurando que el diseño cumpla con los estándares de seguridad y desempeño. Las variables de diseño para el método de diseño incluyen (Ayman Aguib, 2013,p. 28):

- ✓ Restricciones de tiempo
- ✓ Módulo de resiliencia del suelo de la calzada efectiva
- ✓ Número estructural
- ✓ Tráfico Fiabilidad Efectos ambientales
- ✓ Capacidad de servicio
- ✓ La selección de espesores de capa se realiza determinando el número estructural, que es función de los espesores de capa, coeficientes de capa y coeficientes de drenaje.

#### ***2.4.3.2. Clasificación de Pavimentos Flexibles.***

De acuerdo con Rodríguez & Rodríguez (2004, p. 16) los pavimentos flexibles se pueden clasificar por el tipo de mezcla bituminosa que lo compone, estas mezclas pueden ser:

- a) **Mezclas asfálticas en frío.** - Es la combinación de agregados y un ligante bituminoso que pueden mezclarse, extenderse y compactarse a temperatura ambiente. En alguna ocasión el agregado puede llegar a calentarse ligeramente. Estas mezclas emplean en su fabricación ligantes bituminosos con menor viscosidad que Las mezclas en caliente, betunes fluidificados, alquitranes fluidos o emulsiones asfálticas. El mezclado se puede efectuar —In Situ o en plantas mezcladoras fijas (Rodríguez & Rodríguez, 2004, p. 20).
  
- b) **Mezclas asfálticas en caliente.** - Es una mezcla completa de agregados gruesos, finos y un ligante bituminoso. Estos materiales son combinados en una planta de mezclado, donde son calentados, proporcionados y

mezclados para producir una mezcla homogénea (Rodríguez & Rodríguez, 2004, p. 20).

- c) **Macadam Asfáltico.** - Es el tipo más antiguo de los pavimentos para carreteras actualmente en uso. El Macadam Asfáltico, por penetración consiste en una base o una superficie de rodamiento de piedra triturada o escoria de un solo tamaño en la que los fragmentos están ligados con asfalto. Se emplea como capa superficial para caminos de tránsito medio a pesado, pero para caminos de tránsito pesado ha sido sustituido por el concreto asfáltico. Para su construcción puede ser utilizado cemento asfáltico y asfalto emulsionado o uno de los grados más pesados de los alquitranes para caminos (Rodríguez & Rodríguez, 2004, p. 21).

#### 2.4.3.3. *Ventajas y Desventajas.*

Hernández (2022, p. 18) establece las siguientes ventajas y desventajas del pavimento flexible.

##### a) **Ventajas.**

- ✓ Construcción inicial económica
- ✓ Periodo de vida de entre 10 y 15 años

##### b) **Desventajas.**

- ✓ Requiere mantenimiento constante a lo largo de su vida útil.
- ✓ Cargas pesadas pueden causar roderas y desplazamientos, representando un riesgo, especialmente en zonas de tráfico constante como intersecciones y casetas de peaje. Las roderas llenas de agua de lluvia en estas áreas pueden provocar deslizamientos, pérdida de control del vehículo y accidentes.
- ✓ La superficie puede sufrir desgaste y daños, lo que demanda tratamientos frecuentes con selladores de grietas y recubrimientos superficiales.

- ✓ Las distancias de frenado en superficies de concreto son considerablemente mayores que en superficies de asfalto, especialmente en condiciones húmedas y con huellas.

## 2.5. SERVICIABILIDAD

La serviciabilidad de los pavimentos, es la clarividencia que tienen los usuarios del nivel de servicio del pavimento. Esta ha sido representada en un índice, derivado de los resultados de la prueba AASHO, en la cual se realiza la evaluación mediante una escala (Huilocapi & Pucha, 2015, p. 21).

**Tabla 1**

*Clasificación de la serviciabilidad del pavimento según AASHO*

Calificación		Descripción
5.0-4.0	Muy Buena	Esta categoría engloba pavimentos nuevos o casi nuevos, caracterizados por su suavidad y ausencia de deterioro. En su mayoría, los pavimentos construidos o recarpeteados durante el primer año de inspección se clasifican como "muy buenos"
4.0-3.0	Buena	Los pavimentos de esta categoría ofrecen un excelente manejo con mínimos signos de deterioro superficial. En pavimentos flexibles, se observan indicios incipientes de ahuellamientos y fisuras aleatorias, mientras que, en pavimentos rígidos, pueden presentar evidencias incipientes de deterioro superficial, como descohesión y fisuras menores.
3.0-2.0	Regular	En esta categoría, la calidad de manejo es notablemente inferior respecto a los pavimentos nuevos, manifestando problemas a altas velocidades de tránsito. En pavimentos flexibles, los defectos superficiales pueden abarcar ahuellamientos, parches y agrietamientos. En pavimentos rígidos de este grupo, es posible observar fallas en las juntas, agrietamientos, escalonamiento y fenómenos de pumping.
2.0-1.0	Mala	En esta categoría, los pavimentos han sufrido un deterioro significativo, afectando la velocidad del tráfico. En pavimentos flexibles, se observan grandes baches y grietas profundas, con pérdida de áridos, agrietamientos y ahuellamiento en más del 50% de la superficie. En pavimentos rígidos, el deterioro incluye desconche de juntas, escalonamiento, parches, agrietamiento y bombeo
1.0-0.0	Muy Mala	Los pavimentos en esta categoría están en un estado de deterioro extremo, con grandes baches y grietas profundas que afectan el 75% o más de la superficie. La velocidad de circulación se ve considerablemente reducida, y hay notables problemas de manejo.

*Nota. Tomado de (Huilocapi & Pucha, 2015)*

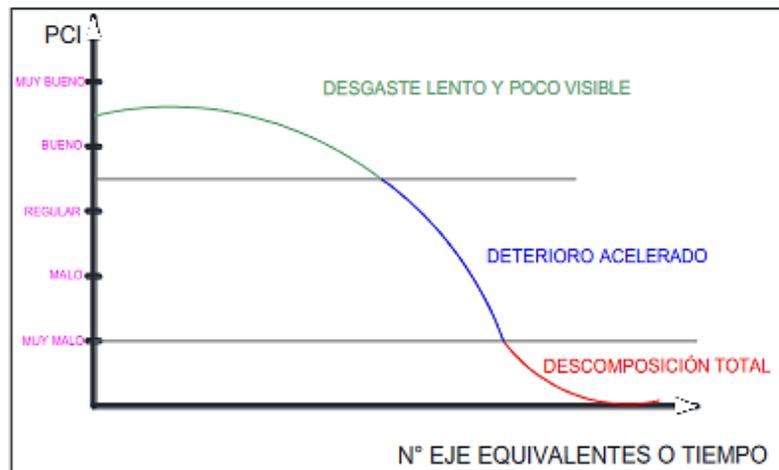
### 2.5.1. Curva de comportamiento del Pavimento.

La curva de comportamiento de los pavimentos constituye una representación clave de la calidad del pavimento. Para analizar su desempeño funcional, es esencial contar con información de calidad de rodadura durante el periodo de estudio, así como con datos históricos del tránsito que ha impactado al pavimento en dicho lapso. La figura ilustra el comportamiento del pavimento en relación con el tiempo de exposición; esta representación proporciona una base para la implementación de medidas adecuadas con el objetivo de prolongar la vida útil del pavimento (Huilcapi & Pucha, 2015, p. 26).

La curva de comportamiento generalmente muestra tres fases principales: la fase de desgaste lento y poco visible, la fase de deterioro acelerado y la fase de descomposición total. En la primera fase, el pavimento suele mostrar un rendimiento satisfactorio con una pérdida mínima de servicio. A medida que pasa el tiempo, el pavimento entra en la segunda fase, donde el desgaste, la fatiga y otros factores comienzan a afectar su rendimiento. En esta etapa, la capacidad estructural y la calidad de servicio del pavimento tienden a disminuir, y pueden surgir defectos superficiales como fisuras, baches y ahuellamientos, si no se rehabilita la capa de pavimento durante su vida útil finalmente tendrá cabida la tercera fase con el desgaste de la vía.

**Figura 1**

*Curva de comportamiento del pavimento*



*Nota. Tomado de (Huilcapi & Pucha, 2015, p. 27)*

## **2.6. FACTORES QUE INCIDEN EN EL DETERIORO DEL TRÁFICO**

### **2.6.1. Tráfico.**

El tráfico pesado representa uno de los principales factores que inciden en el deterioro del pavimento flexible. El constante flujo de vehículos de gran peso, como camiones y autobuses, ejerce una carga adicional sobre la superficie del pavimento, acelerando su desgaste y generando tensiones que pueden resultar en fisuras y deformaciones estructurales.

### **2.6.2. Cargas y ejes mal distribuidos.**

La distribución inadecuada de cargas y ejes es otro factor determinante en el deterioro del pavimento flexible. Cuando los vehículos no distribuyen de manera equitativa su carga sobre la superficie del pavimento o presentan ejes sobrecargados, se producen tensiones desiguales que afectan negativamente la integridad del pavimento, provocando hundimientos localizados y daños en la capa superficial (Colana, 2021, p. 26).

### **2.6.3. Clima y condiciones ambientales.**

Las condiciones climáticas y ambientales desfavorables también desempeñan un papel significativo en el deterioro del pavimento flexible. Los cambios bruscos de temperatura, la exposición a la radiación solar, la lluvia y la humedad constante debilitan gradualmente los materiales del pavimento, generando fisuras, grietas y pérdida de cohesión en las capas, lo que acelera su deterioro general.

### **2.6.4. Mantenimiento inadecuado.**

La falta de un mantenimiento regular y oportuno, que incluye acciones como la reparación de grietas, el parcheo de baches y el control de la vegetación en las

áreas adyacentes, permite que los daños existentes se agraven rápidamente, comprometiendo la integridad estructural del pavimento. El mantenimiento adecuado de los pavimentos flexibles es de vital importancia para garantizar el óptimo funcionamiento y prolongar su vida útil. El pavimento está expuesto a una variedad de factores que pueden provocar su deterioro, como el tráfico pesado, las condiciones climáticas adversas y los efectos del envejecimiento. Mediante un programa de mantenimiento regular, se pueden detectar y corregir de manera oportuna los problemas emergentes, evitando así que se conviertan en daños mayores y costosos de reparar (Amaya, 2019, p. 31).

La falta de mantenimiento en los pavimentos flexibles puede tener consecuencias significativas. En primer lugar, el deterioro progresivo de la superficie del pavimento, como la formación de grietas y baches, puede afectar la comodidad y seguridad de los usuarios de la vía. Estos defectos pueden causar molestias durante la conducción, generar vibraciones y afectar el agarre de los neumáticos, aumentando el riesgo de accidentes. Además, el deterioro del pavimento también puede afectar negativamente la eficiencia del drenaje, lo que resulta en problemas de inundación y acumulación de agua en la superficie de la vía.

Otra consecuencia del no realizar el mantenimiento adecuado es el aumento de los costos a largo plazo. Si no se abordan de manera oportuna las pequeñas fallas y daños, estos pueden propagarse y agravarse, lo que requerirá intervenciones de reparación más costosas y extensas en el futuro. Además, el retraso en el mantenimiento puede llevar a un deterioro generalizado del pavimento, lo que requerirá una reconstrucción completa y costosa en lugar de reparaciones simples.

### **2.6.5. Calidad de los materiales.**

La calidad de los materiales utilizados en la construcción del pavimento es un factor esencial para su durabilidad. El uso de materiales de baja calidad o la falta de adherencia adecuada entre las capas del pavimento pueden ocasionar un desgaste prematuro, la aparición de fisuras y la pérdida de resistencia, debilitando así su capacidad para soportar el tránsito vehicular y acelerando su deterioro.

### **2.6.6. Diseño inadecuado.**

Un diseño que no considera adecuadamente las condiciones del tráfico, las características del suelo subyacente o la capacidad de drenaje puede dar lugar a tensiones excesivas y deficiencias en la estructura, lo que resulta en un deterioro prematuro y una vida útil reducida del pavimento (Sanchez Angel, 2009, p. 17).

### **2.6.7. Inadecuado proceso constructivo.**

El proceso constructivo incide en el comportamiento del pavimento, un inadecuado control provoca que las capas que conforman la estructura del pavimento trabajen inadecuadamente. La incorporación de cada una de las capas es requiere de un grado de compactación de materiales específico, esto involucra, construir cada capa en espesores pequeños que faciliten la compactación, evitando disgregaciones de material luego de aplicar la mezcla asfáltica.

También, es importante mantener el área limpia durante la ejecución de la obra, evitando la contaminación de las capas de pavimento con materiales extraños. Además, se debe asegurar que la incorporación de los materiales bituminosos se realice a las temperaturas adecuadas de acuerdo con el proceso de construcción, si son mezclas en caliente lo recomendable es que el vertido se realice a 60°C y son mezclas en frío se debe realizar a temperatura ambiente de 30°C (Rivera, 2020, p. 24).

## **2.7. FALLAS DEL PAVIMENTO**

El deterioro del pavimento está altamente influenciado por condiciones climáticas severas, alto volumen de tráfico y cargas excesivas, así como también por la calidad de su construcción y su rehabilitación. Los pavimentos se diseñan para tener una vida útil y proporcionar un determinado nivel de servicio. Con el paso del tiempo, los pavimentos sufren deterioros o fallas provocadas por el tráfico o por el medio ambiente, que hacen necesaria su conservación, mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción. En este contexto, las fallas se refieren a las condiciones que surgen en un pavimento cuando pierde las cualidades de servicio para las cuales fue

originalmente diseñado. Estas fallas se reconocen según su tipo y la causa subyacente (Huilcapi & Pucha, 2015, p. 26).

### **2.7.1. Tipos de fallas.**

Según (Huilcapi & Pucha, 2015, p. 26) las fallas de pavimentos se clasifican en funcionales y estructurales como se describe a continuación.

#### **2.7.1.1. Falla Funcional.**

La falla funcional en sí consiste en deficiencias superficiales del pavimento a las que se asocian precisamente el índice de servicio, que afectan en mayor o menor grado la capacidad del camino en proporcionar al usuario un tránsito cómodo y seguro. Los aspectos más importantes del pavimento que intervienen en el valor del índice de servicio actual son; ondulaciones longitudinales, deformaciones transversales, textura de la superficie, porcentaje de áreas y baches reparadas (Huilcapi & Pucha, 2015, p. 28).

#### **2.7.1.2. Falla Estructural.**

Es una deficiencia del pavimento que provoca, de manera inmediata o eventual, una disminución en su capacidad de carga. En su fase más avanzada, la falla estructural se evidencia mediante un bloqueo generalizado del pavimento, y el índice de servicio está relacionado directamente con esta obstrucción. No necesariamente implica una falla estructural de inmediato, ya que inicialmente es resultado de su incapacidad para resistir las cargas del proyecto (Huilcapi & Pucha, 2015, p. 28).

## **2.8. EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS**

Para la evaluación del pavimento, existen dos categorías principales: evaluación superficial y evaluación estructural. La evaluación superficial se centra en el índice de serviciabilidad del pavimento, mientras que la evaluación estructural implica ensayos de laboratorio. Estos ensayos nos proporcionan información

esencial para analizar el pavimento y determinar las causas de posibles fallas mediante diversos métodos. Los resultados obtenidos nos permiten definir las acciones de rehabilitación que deben implementarse para abordar las condiciones del pavimento de manera efectiva (Lambert & Mendoza, 2020, p. 6).

### **2.8.1. Evaluación Funcional.**

Considera aspectos en donde se ven afectado los usuarios, pero que no comprometen la capacidad estructural del pavimento. Los indicadores del estado superficial del pavimento esta emitido por medio de fórmulas en donde se recogen un sin número de parámetros del pavimento los cuales están determinados según cada país en tablas referenciales para establecer sus límites (Mendieta, 2016, p. 28). Entre los principales indicadores del estado superficial del pavimento se encuentran:

- ✓ Índice de serviciabilidad presente (PCI).
- ✓ Índice de regularidad internacional (IRI).
- ✓ Índice de estado (IE).

#### ***2.8.1.1. Índice de Serviciabilidad Presente.***

El índice de comodidad y seguridad percibida por el consumidor al viajar por este pavimento es un aspecto crucial en la evaluación de su estado. Este método, desarrollado aproximadamente a mediados de los años sesenta por AASHTO según (Mendieta, 2016), se basa en mediciones empíricas y subjetivas. Se emplean sujetos experimentales para determinar parámetros relacionados con la comodidad y seguridad del viaje. La evaluación inicial asignaba calificaciones de 0 a 5, desde pésimo hasta excelente, para describir el estado del pavimento, lo que a menudo generaba inexactitudes. Como resultado, se realizaron modificaciones en la constatación del PCI para mejorar la precisión y la fiabilidad del índice.

Los parámetros medibles para la constatación del PCI son:

- ✓ rugosidad
- ✓ agrietamientos

- ✓ ahuellamientos
- ✓ baches

### ***2.8.1.2. Índice de Regularidad Internacional (IRI).***

La evaluación del estado superficial del pavimento y las condiciones actuales es esencial para comprender su rendimiento, y una métrica clave en este contexto es el Índice de Rugosidad Internacional (IRI). Este indicador guarda relación directa con el confort que experimentará el usuario al transitar por la carretera, como destacado por Mendieta (2016, p. 28). El IRI proporciona una medida cuantitativa de la rugosidad del pavimento, lo que permite evaluar el nivel de suavidad y la calidad de rodadura de la carretera. Una baja puntuación en el IRI indica un pavimento más suave y cómodo, mientras que puntuaciones más altas pueden sugerir condiciones menos favorables en términos de confort durante el viaje (Dominguez & Panchana, 2021, p. 22).

### ***2.8.1.3. Índice de Estado (IE).***

Este método, conocido como el índice de estado, ofrece beneficios al utilizar la información de manera integral, condensando en una única fórmula las fallas más significativas que inciden en un pavimento, según la perspectiva de Mendieta (2016). Este enfoque permite una evaluación comprensiva al considerar diversas variables que contribuyen al deterioro del pavimento. La consolidación de estas variables en una fórmula simplifica la interpretación de la información, proporcionando una visión holística del estado del pavimento. Esta metodología facilita una comprensión más clara y eficiente de las condiciones del pavimento, siendo valiosa para la toma de decisiones relacionadas con el mantenimiento y la rehabilitación de la infraestructura vial (Mendieta, 2016, p. 30).

## **2.9. REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS**

La rehabilitación de pavimentos viales es un proceso integral destinado a mejorar y prolongar la vida útil de la carretera. Este proceso resulta esencial debido al deterioro gradual que experimentan las capas asfálticas y las bases granulares,

influenciado por factores como el tráfico constante, las condiciones climáticas adversas y el envejecimiento de los materiales, según señala Sanchez (2009). La rehabilitación puede adoptar enfoques funcionales o estructurales con el objetivo de extender la vida de servicio del pavimento, proporcionar una superficie de rodadura más cómoda y reducir los costos asociados con las operaciones vehiculares. Diversas razones respaldan la necesidad de la rehabilitación de pavimentos, como la incomodidad para el tráfico vehicular, la presencia de defectos superficiales en exceso, la disminución de la adherencia entre neumáticos y calzada, así como los elevados costos operativos para los usuarios, como se destaca en el trabajo de Taipe (2020, p. 15).

### **2.9.1. Tipos de Rehabilitación de Pavimentos Flexibles.**

Los pavimentos flexibles, esenciales en la red vial, experimentan desgaste y deterioro con el tiempo debido a factores como el tráfico vehicular, condiciones climáticas y la carga a la que están sometidos. La rehabilitación de pavimentos flexibles es una práctica clave para mantener y mejorar la funcionalidad de estas estructuras, y se puede clasificar en dos categorías principales: la rehabilitación superficial o funcional y la rehabilitación estructural.

#### ***2.9.1.1. Rehabilitación Superficial.***

La rehabilitación superficial se presenta como una estrategia clave en la preservación y prolongación de la vida útil de las carreteras, centrándose específicamente en el asfalto y las grietas superficiales. Según la investigación de Restrepo & Stephens (2015, p. 35), esta técnica se ha destacado como una respuesta efectiva para abordar los desafíos asociados con el deterioro de las capas superiores del pavimento. Está encaminada al asfalto y a las grietas superficiales

#### ***2.9.1.2. Rehabilitación Estructural.***

La rehabilitación estructural del pavimento es un proceso destinado a restaurar o mejorar significativamente la capacidad estructural de una

carretera o pavimento. Se lleva a cabo para corregir deficiencias en las capas estructurales del pavimento que han sufrido daños, deformaciones o pérdida de resistencia debido al tráfico vehicular, condiciones climáticas adversas u otros factores. Esta forma de rehabilitación implica modificaciones en las capas más profundas del pavimento, como la subrasante, la base granular o la capa de subbase, con el objetivo de restaurar la capacidad de carga y prolongar la vida útil del pavimento. Las técnicas de rehabilitación estructural pueden incluir el reciclaje de materiales existentes, la adición de nuevos materiales estabilizadores y la reconstrucción de capas dañadas para mejorar la integridad estructural del pavimento (Restrepo & Stephens, 2015, p. 35).

### **2.9.2. Técnicas de rehabilitación de Pavimentos Flexibles.**

Las técnicas de rehabilitación de pavimentos se refieren a los procedimientos y estrategias utilizados para corregir y mejorar las condiciones de un pavimento deteriorado. En el caso de pavimentos flexibles, las rehabilitaciones deben llevarse a cabo de manera oportuna y adecuada, ajustándose al tipo de falla presente en el pavimento. El objetivo principal de estas técnicas es garantizar una mejor serviceabilidad para el usuario, considerando las posibles causas de los deterioros. Cada tipo de falla en el pavimento requiere un proceso de rehabilitación específico diseñado para rectificar los daños existentes. Por lo tanto, la finalidad de las técnicas de rehabilitación es identificar y corregir las fallas presentes mediante métodos que se adapten de manera óptima a su respectiva restauración, asegurando así la mejora efectiva y duradera de la infraestructura vial (Coronado Gutierrez, 2023, p. 27).

#### **2.9.2.1. Restauración.**

Dentro del ámbito de la restauración en pavimentos flexibles, se busca abordar específicamente las fallas de tipo funcional. Estas pueden comprender mejoras en la fricción superficial, el sellado de áreas afectadas por fisuras, la optimización del drenaje pluvial, la reducción del ruido durante la rodadura e incluso la prevención de la permeabilización de la superficie del pavimento. Es

importante señalar que esta técnica se recomienda únicamente para pavimentos que presenten un Índice de Servicio (Is) de 1 y 2, indicando un estado general del pavimento como BUENO (Coronado Gutierrez, 2023, p. 27).

#### ***2.9.2.2. Sobrecapa.***

El refuerzo del pavimento flexible mediante sobrecapas representa una estrategia altamente eficaz para potenciar la resistencia y durabilidad de las carreteras pavimentadas con asfalto. En esta técnica, se incorpora una capa adicional de asfalto, denominada sobrecapa, sobre el pavimento existente (Lambert & Mendoza, 2020). Diseñada para brindar resistencia estructural adicional, esta capa adicional no solo fortalece la base del pavimento, sino que también mejora la superficie de rodadura, promoviendo una conducción más suave y segura. El refuerzo con sobrecapas aborda eficazmente problemas como agrietamiento y fatiga en el pavimento original, extendiendo de manera significativa su vida útil. Además, esta técnica minimiza las interrupciones en el tráfico, ya que los trabajos de construcción tienden a ser más rápidos y menos disruptivos en comparación con la reconstrucción completa de la carretera (Maldonado, 2021, p. 20).

#### ***2.9.2.3. Reciclado.***

La técnica de reciclado en pavimentos flexibles se basa en la reutilización de la carpeta asfáltica existente, involucrando un proceso que abarca la fresadora, cepillado o escarificación de la superficie. Posteriormente, se lleva a cabo la trituración y la adición de un agente de reciclaje, ya sea con o sin la incorporación de pequeños porcentajes de materiales vírgenes, con el propósito de reacondicionar la mezcla asfáltica, que finalmente se compacta (Sanchez Angel, 2009, p. 33).

Los tratamientos empleados se sustentan en un principio físico-mecánico esencial, que se centra en la buena gradación del material existente como residuo, dado que este material ha pasado por procesos previos de selección, clasificación y trituración, haciéndolo apto para la producción de materiales

utilizados en las estructuras de pavimento, como bases granulares y mezclas asfálticas. Además, se apoyan en principios químicos que actúan sobre el ligante asfáltico presente en los residuos o escombros de pavimentos, permitiendo su reutilización mediante aditivos químicos, agentes rejuvenecedores o la acción complementaria de emulsiones asfálticas o crudos pesados tratados (Restrepo & Stephens, 2015, p. 23). Este enfoque integral no solo contribuye a la sostenibilidad, al reutilizar materiales existentes, sino que también ofrece una alternativa eficaz para mejorar la calidad y la durabilidad de los pavimentos. La tabla 2 muestra algunas fallas de pavimento y sus soluciones con reciclado.

**Tabla 2**

*Soluciones con reciclado*

<b>Tipo de Falla</b>	<b>Soluciones con Reciclado</b>
Fisuras en la carpeta asfáltica	Las fisuras son eliminadas
Pérdida de adherencia en el agregado pétreo	Mezclado y recubierto con ligante
Desniveles y resaltos hasta 6 cm en la carpeta asfáltica	Escarificación y renivelación de la carpeta asfáltica
Pérdida del drenaje superficial	El bombeo y las mezclas drenantes son reacondicionadas
Pérdida de viscoelasticidad del asfalto	Restablecida por medio de rejuvenecedores
Cambio en la granulometría	La gradación es restablecida
Pérdida de transitabilidad y confort	Mejora la resistencia al deslizamiento

*Nota:* (Sanchez Angel, 2009, p. 33)

#### **2.9.2.4. Reciclaje Superficial.**

Este método de rehabilitación se enfoca en el retratamiento de la superficie del pavimento, con la particularidad de trabajar con espesores reducidos, generalmente no superiores a los 2.5 centímetros. Este enfoque se implementa especialmente en situaciones donde los deterioros del pavimento no pueden atribuirse a deficiencias estructurales significativas. En lugar de abordar problemas estructurales profundos, el reciclaje superficial se centra en mejorar y renovar la capa más externa del pavimento, contribuyendo a la prolongación de su vida útil. Esta técnica es

particularmente eficaz para situaciones en las que el desgaste superficial y otros daños menores afectan la calidad del pavimento, proporcionando una solución específica y eficiente para mantener y mejorar la serviceabilidad de la carretera (Sanchez Angel, 2009, p. 34).

#### **2.9.2.5. *Reciclaje in situ.***

El reciclaje in situ, según la definición de Sanchez Angel (2009, p. 35), implica la reutilización y descomposición de las carpetas asfálticas, y en ciertos casos, parte de la base granular en un pavimento existente. Este enfoque se destaca por llevar a cabo el proceso de reciclaje directamente en el lugar donde se encuentra la infraestructura vial, minimizando la necesidad de extracción y transporte de materiales. Al reutilizar y descomponer las capas asfálticas, así como la base granular en determinadas circunstancias, se optimizan los recursos presentes en el propio pavimento. Este método, al reducir la dependencia de nuevos materiales y minimizar la huella ambiental asociada con la rehabilitación vial, se presenta como una estrategia sostenible y eficaz para mejorar la calidad y la durabilidad de los pavimentos (Restrepo & Stephens, 2015, p. 26).

**a) Reciclado in situ en caliente.-** Se entiende como reciclado de mezclas asfálticas en caliente a su reutilización después de ser fresadas, y nuevamente colocadas y compactadas. En este procedimiento se añade a la mezcla intervenida nuevos agregados pétreos y/o mezcla asfáltica nueva; en ocasiones se adiciona rejuvenecedores para el asfalto con el objeto de mejorar sus características mecánicas. Las mezclas asfálticas recicladas que son diseñadas adecuadamente logran alcanzar un comportamiento similar a las fabricadas con materiales nuevos. La operación es realizada completamente en el sitio de trabajo por medio de un tren de trabajo y puede tratar rehabilitaciones superficiales con espesores hasta seis (6) centímetros. Cuando el material de fresado que se pretende reciclar es superior o igual al treinta (30) por ciento o cuando su asfalto está muy envejecido, se deben utilizar agentes rejuvenecedores que lo restauren (Sanchez Angel, 2009, p. 35).

**b) Reciclado in situ en frío.** - El reciclado in situ en frío se presenta como una vertiente atractiva dentro de las técnicas de reciclado, tanto con ligantes bituminosos como con conglomerantes hidráulicos. Este enfoque ofrece notables ventajas económicas y minimiza el impacto ambiental en comparación con otras posibilidades de reciclado. El proceso comprende varias etapas, comenzando con la disgregación de los materiales del pavimento existente mediante el fresado del espesor recomendado por el diseño del tratamiento. Posteriormente, se lleva a cabo la detección y extracción de sobretamaños, seguido por la adición y mezclado de un agente estabilizador. A continuación, se realiza el extendido, nivelación y compactación, seguido por el curado y la colocación de la capa superficial nueva o el cubrimiento del material reciclado (Restrepo & Stephens, 2015, p. 36).

Este proceso integral no solo busca maximizar la eficiencia económica, sino que también aborda las preocupaciones ambientales al reducir la necesidad de nuevos materiales y minimizar los residuos asociados con la rehabilitación de pavimentos.

#### ***2.9.2.6. Reconstrucción.***

El método de reconstrucción de pavimentos implica la remoción del material deteriorado o existente, seguido por la construcción de nuevas capas granulares y la carpeta asfáltica utilizando materiales completamente nuevos. Este enfoque se emplea comúnmente cuando se buscan mejoras significativas en los estándares del trazado de una vía. A pesar de su eficacia para lograr una renovación completa de la infraestructura vial, esta alternativa conlleva considerables desafíos, como altos costos asociados con la adquisición de nuevos materiales y una considerable huella ambiental debido a la eliminación y disposición de los materiales existentes. Además, este método puede presentar bajos rendimientos en términos de eficiencia y sostenibilidad en comparación con otras técnicas de rehabilitación más enfocadas y específicas.

## **2.10. ESTUDIO DE TRÁFICO**

En el diseño de obras viales, el análisis enfocado en el estudio del tráfico desempeña un papel crucial al determinar los espesores adecuados a emplear. Esta variable se erige como la más significativa, ya que a partir de ella se llevan a cabo los cálculos necesarios para determinar el número de ejes equivalentes que experimentará el pavimento a lo largo de su vida útil. Tanto el número de ejes como sus respectivos pesos ejercen una influencia determinante en el diseño estructural del pavimento, según señala Herrera (2014, p. 13).

En proyectos viales destinados al mejoramiento de carreteras existentes o en la construcción de nuevas vías, donde el tráfico es fácilmente estimado y proyectado, la tarea se torna más sencilla. No obstante, en áreas menos desarrolladas o aún no explotadas, la estimación del tráfico representa un desafío desconocido e incierto, añadiendo complejidad al proceso de diseño de la estructura vial.

### **2.10.1. Trafico Promedio Di ario Anual (TPDA).**

El tráfico promedio diario anual, también conocido como TPDA, constituye un parámetro fundamental en el diseño vial y su cálculo implica la consideración de varios factores como los que se describen a continuación.

- ✓ En vías unidireccionales, el análisis se realiza únicamente en la dirección de circulación correspondiente.
- ✓ En el caso de vías con dos carriles, uno en cada dirección, el conteo se efectúa en ambas direcciones, suponiendo que al final del día la circulación en ambos sentidos será similar.
- ✓ En autopistas, el conteo vehicular se realiza en cada sentido, considerando el flujo direccional, que representa el porcentaje de vehículos en cada dirección de la vía.

Aunque se recomienda obtener información de estaciones de conteo, en la práctica, se recurre al conteo manual con criterios específicos, como realizar un conteo semanal de 24 horas durante al menos cuatro días, incluyendo dos días de fin de semana, para obtener un mes representativo del año. Además, se emplean factores de variación para ajustar el valor del tráfico estimado, permitiendo una evaluación más precisa del TPDA para el año base del estudio, conocido como el "año cero".

#### ***2.10.1.1. Factores de Variación.***

Para la obtención del TPDA necesario a emplear en el diseño vial se deben emplear factores de variación, estos factores son:

- ✓ **Factor Horario (FH):** Este factor posibilita la conversión del volumen de tráfico registrado en un período de horas a un volumen diario promedio, estableciendo una base de referencia para el análisis (MTOPI,2003, p. 40).
- ✓ **Factor Diario (FD):** Facilita la transformación del volumen diario de tráfico obtenido en un promedio semanal, proporcionando una perspectiva más amplia del flujo vehicular (MTOPI,2003, p.41).
- ✓ **Factor Semanal (FS):** Convierte el valor promedio semanal en un volumen mensual promedio, permitiendo una evaluación a lo largo de un período más extenso (MTOPI,2003, p. 41).
- ✓ **Factor Mensual (FM):** Este último factor empleado realiza la conversión del volumen mensual promedio al valor del tráfico promedio diario anual (TPDA), ofreciendo una visión integral del flujo de tráfico a lo largo del año (MTOPI,2003, p. 41).

#### ***2.10.1.2. Cálculo de TPDA.***

Para efectuar el cálculo de nuestro TPDA debemos efectuar una operación matemática considerando todos los factores de variación y el tráfico

observado durante nuestro periodo de estudio. Para el cálculo del TPDA se emplea la siguiente fórmula:

$$TPDA = T_o * FH * FD * FS * FM \quad \text{Ec. 1}$$

**Donde:**

To = Trafico Observado

FH = Factor Horario

FD = Factor Diario

FS = Factor Semanal

FM = Factor Mensual

**2.10.1.3. Trafico futuro.**

La planificación de cualquier proyecto de infraestructura vial incluye no solo el tráfico actual, sino también una proyección a futuro que abarca generalmente entre 15 y 20 años. Esta estimación se realiza teniendo en cuenta factores como el crecimiento del tráfico debido al desarrollo, la contribución del tráfico generado y el crecimiento típico del tráfico en la región. La obtención de esta proyección de tráfico futuro resulta fundamental para determinar el tipo de vía que se construirá, siguiendo criterios establecidos por el Ministerio de Obras Públicas (MOP, 2003).

## **2.11. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA**

La evaluación del pavimento existente requiere un examen minucioso del tipo de suelo que servirá como base para los ensayos de laboratorio. Estos ensayos, orientados a determinar las propiedades del material presente en las diversas capas del pavimento, desempeñan un papel esencial en la comprensión detallada del estado actual de la infraestructura vial. La información recopilada a través de estos parámetros no solo constituye un aspecto fundamental en la evaluación, sino que también se convierte en un componente crucial para la toma de decisiones informadas durante el proceso de rehabilitación. La identificación precisa de las características del suelo proporciona una base sólida para diseñar estrategias de

rehabilitación que aborden de manera efectiva las necesidades específicas del pavimento existente (D. Mendieta Quito, 2016, p. 31).

### **2.11.1. Ensayos de Laboratorio.**

Los ensayos de laboratorio en geotecnia abarcan la determinación de propiedades fundamentales como: granulometría, densidad, plasticidad, permeabilidad, resistencia a la compresión y resistencia al corte de los suelos. Además, se llevan a cabo pruebas específicas para evaluar aspectos clave como expansión, consolidación, compactación, entre otros comportamientos geotécnicos cruciales. Estos ensayos no solo ofrecen datos para el diseño de cimientos, estructuras de retención, taludes y carreteras, sino que también desempeñan un papel crucial en asegurar la seguridad y estabilidad de las construcciones en una variedad de condiciones del terreno (Carguachi & Escalante, 2019, p. 29).

#### ***2.11.1.1. Granulometría.***

Este ensayo tiene como objetivo principal determinar la proporción de los diferentes elementos constituyentes de un material, clasificados según su tamaño mediante el (Lambert & Mendoza, 2020, p. 34). El análisis granulométrico se lleva a cabo empleando tamices o métodos de medición apropiados y encuentra aplicación en diversos ámbitos, como geotecnia, la ingeniería civil, la industria de la construcción y la ciencia de los materiales. Su utilidad radica en comprender y controlar las propiedades físicas y el comportamiento de los materiales granulares, siendo esencial para el diseño y la calidad de las estructuras y obras civiles.

#### ***2.11.1.2. Contenido de Humedad.***

El ensayo de contenido de humedad constituye un procedimiento de laboratorio fundamental para determinar la cantidad de agua presente en una muestra de suelo o material geotécnico. Este proceso involucra el secado controlado de una muestra representativa del material hasta alcanzar un estado constante de peso seco. La diferencia entre el peso inicial húmedo y el peso final seco se utiliza para calcular el contenido de humedad, expresado como un porcentaje. Este

parámetro resulta crucial en la geotecnia, dado que ejerce una influencia significativa en las propiedades mecánicas del suelo, tales como la densidad, la resistencia y la compresibilidad. Además, desempeña un papel esencial en el diseño y control de la construcción de cimientos, terraplenes y estructuras en general (Chuyes, 2021, p. 29).

#### ***2.11.1.3. Límites de Atterberg.***

Los estados del suelo relacionados con su comportamiento frente al contenido de humedad son definidos por los límites líquido y plástico. El límite líquido (LL) representa el punto en el cual el suelo transita de un estado semilíquido a uno plástico, permitiendo su maleabilidad. Por otro lado, el límite plástico (LP) marca la transición del suelo de un estado plástico a uno semisólido o fractura del mismo. La combinación de estos límites proporciona el índice de plasticidad, que cuantifica la variación de humedad en intervalos específicos, ofreciendo así una caracterización de las propiedades del suelo (Lambert & Mendoza, 2020, p. 30).

#### ***2.11.1.4. Ensayo California bearing Ration (C.B.R.) NORMA ASTM D-1883-73; AASHTO T-193-63***

California Bearing Ration (CBR), el ensayo consiste en determinar el esfuerzo cortante del suelo bajo las condiciones de humedad y densidad controladas, de tal manera que establecemos una relación entre la resistencia a la penetración de un suelo y capacidad de soporte o carga unitaria.

#### ***2.11.1.5. Modulo Resiliente***

Es una medida de la capacidad de un material de almacenar energía sin que este experimente deformación permanente. La “Guía de diseño AASTHO 93” ha propuesto correlaciones que determinan el mantenimiento rutinario (MR) a partir de ensayos de CBR.

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**

### **3.1 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

Este apartado proporciona el marco conceptual que guiará la planificación y ejecución de la investigación, influyendo en la recopilación, análisis y presentación de los datos para alcanzar los objetivos planteados. La claridad en la definición del tipo y nivel de investigación contribuye a la rigurosidad y relevancia del estudio.

#### **3.1.1. Tipo.**

Esta investigación es del tipo *aplicada*, ya que según Castillero (2017), este tipo de investigación se centra en encontrar mecanismos o estrategias que permitan lograr un objetivo concreto, y se aplica a un ámbito específico y bien delimitado. El cálculo de una sobrecapa para la restauración de la vía Manglaralto – Dos Mangas es la aplicación del método de rehabilitación vial del AASHTO.

#### **3.1.2. Nivel.**

El nivel de la investigación apunta a ser aplicativo, que según Moreno (2016), plantea resolver problemas mediante intervención, su proceso se define en evaluar, controlar y calibrar. Por tanto, en el presente proyecto, se realizará una evaluación de daños de la vía de estudio, luego se procederá a la aplicación del método de deficiencia estructural para determinar el SN o número estructural necesario para restaurar la serviciabilidad inicial.

### **3.2. MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

La sección 3.2 aborda el método, enfoque y diseño de la investigación, proporcionando una visión general de la estrategia que guiará la recopilación y análisis de datos. El método seleccionado, así como el enfoque y diseño de

investigación, son elementos cruciales que delimitan la estructura general del estudio y afectan la calidad y relevancia de los resultados obtenidos.

### **3.2.1. Método.**

Se aplica el método lógico deductivo, que según CIMEC (2023) se toman premisas generales para realizar explicaciones particulares. Se inicia con el análisis de los teoremas, leyes y postulados de aplicación generalizada o estandarizada para aplicarlos a soluciones y hechos particulares. Como se indicó anteriormente se usará el procedimiento de rehabilitación de pavimentos por Deficiencia Estructural propuesto el AASHTO, para determinar el espesor de la sobrecapa.

### **3.2.2. Enfoque.**

El enfoque de esta investigación es cuantitativo, ya que según Colima (2014) se considera que el conocimiento debe ser objetivo, y que, por medio de un proceso deductivo a través de medición y análisis inferencial, se prueban hipótesis y se aplican con determinado método. La medición se la hará mediante la evaluación de daños de la vía, y la inferencia se la hará seleccionando los coeficientes estructurales determinados para cada rango de daños específicos, luego se aplicará el método de rehabilitación en función de los datos antes inferidos.

### **3.2.3. Diseño.**

Según Muguira (2020), dentro del enfoque cuantitativo, específicamente en el diseño de investigación experimental, se busca establecer relaciones causales entre variables, centrándose en observar cómo la variable independiente afecta la variable dependiente. En este contexto, la investigación examina cómo los daños evaluados en la vía impactan directamente en la pérdida de serviciabilidad, vinculando este fenómeno con la determinación del número estructural (SN) del pavimento existente. Este enfoque experimental proporciona un marco sólido para analizar y comprender las conexiones causales entre los elementos estudiados, contribuyendo así a la rigurosidad y validez de los resultados obtenidos.

### **3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO**

La sección 3.3 aborda aspectos fundamentales relacionados con la población, la muestra y la estrategia de muestreo en el marco de la investigación. Aquí se establecen decisiones estratégicas sobre qué parte de la población se examinará, cómo se seleccionará la muestra y qué técnicas de muestreo se aplicarán.

#### **3.3.1. Población.**

Según López (2004), la población es el conjunto de personas u objetos de los que se desea conocer algo en la investigación. En este proyecto la población es la extensión general de la vía, el tramo en su totalidad, que al fin y al cabo será evaluado completamente.

#### **3.3.2. Muestra.**

Según López (2004), la muestra es un subconjunto o parte de la población en la que se llevará a cabo la investigación, por tanto, esta parte se considera representativa con respecto a la población. Para esta investigación la muestra, serán los datos de evaluación más críticos de las zonas más dañadas de la vía, que permitirán determinar la pérdida estructural importante a lo largo del pavimento estudiado.

#### **3.3.3. Muestreo.**

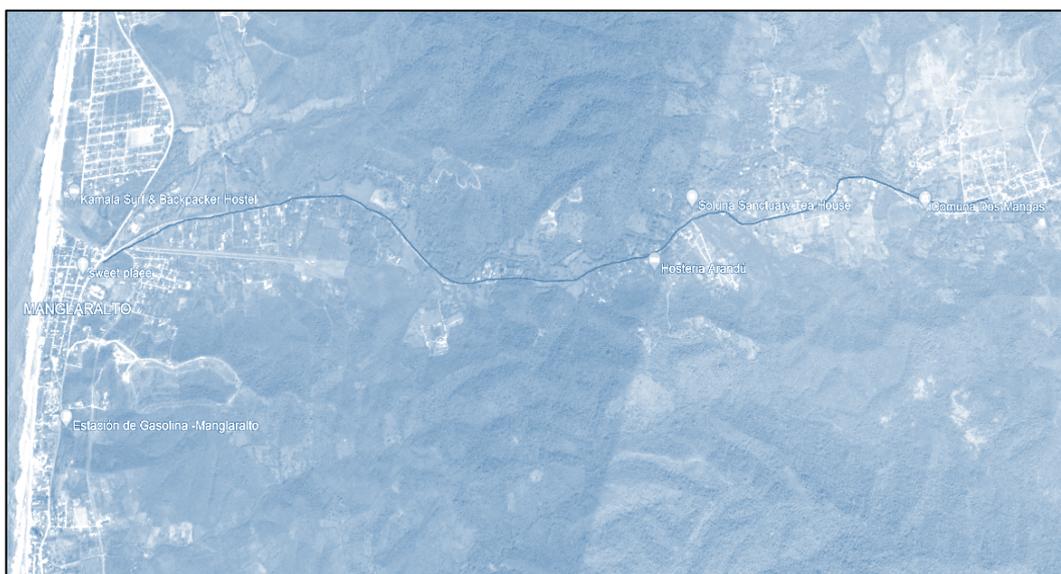
Según menciona López (2004), el muestreo es el método utilizado para seleccionar a los componentes de la muestra del total de la población. En esta investigación se seleccionarán los daños específicos que entren en la clasificación de la AASHTO para determinar coeficientes estructurales del pavimento existente.

### 3.4. UBICACIÓN DE LOS SECTORES DE ESTUDIO

La ubicación de la vía Manglaralto – Dos Mangas se ubica al este de la ruta del Spondyllus, al norte de la comuna Cadeate y al sur de la comuna Montañita, con una extensión de alrededor de 5 km, que comienza en el desvío en “y” de la comuna Manglaralto y termina en la ruta principal de ingreso a la comuna Dos Mangas.

#### *Figura 2*

*Foto satelital de la vía Manglaralto – Dos Mangas. Ubicación inicial: 528401.67m (E), 9795806.24m (S); Ubicación final: 533831.69m (E), 9797799.06m (S)*



*Nota. Extraído de Google Earth*

La vía, es la única que conecta la comuna Dos Mangas con la autopista principal denominada Ruta del Spondyllus, por lo que se infiere la importancia de esta dentro del desarrollo socioeconómico de la zona

#### **3.4.1. Descripción del Pavimento Existente.**

El pavimento objeto de estudio se compone de dos capas estructurales correspondientes a la carpeta asfáltica con un espesor de 2,95 pulg. y una capa de Sub-base granular de 7,87 pulg, como se describe en la tabla 2.

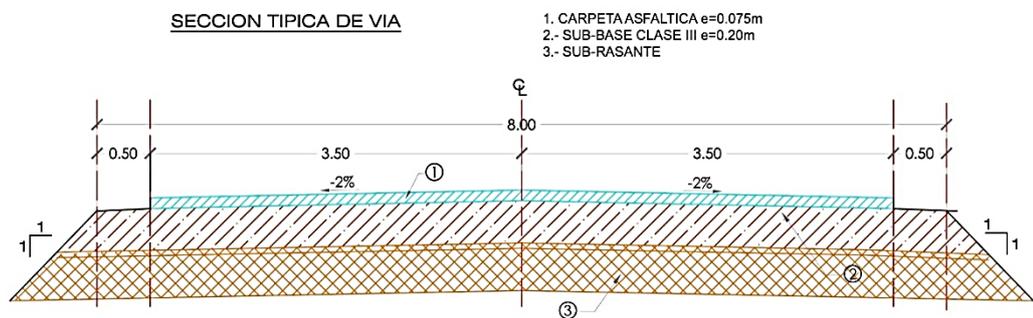
**Tabla 3.**

*Características de la estructura de Pavimento Existente*

<i>Pavimento existente</i>		
Carpeta	7,50 cm	2,95 plg
Sub-base	20,00 cm	7,87 plg

**Figura 3**

*Sección Típica de la vía*



Nota. Obtenido de “Especificaciones técnicas para la rehabilitación de la vía Manglaralto – santa maría del Fiat, incluye acceso a Pajisa – Parroquia Manglaralto – en el cantón Santa Elena de la provincia de Santa Elena” del Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Santa Elena-Dirección de Obras Públicas (2014).

### **3.5. METODOLOGÍA DEL O.E1.: EVALUAR EL NIVEL DE DAÑOS DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EMPLEANDO EL MÉTODO DE ÍNDICE DE SERVICEABILIDAD (PSI), PARA IDENTIFICAR EL PORCENTAJE DE DAÑO DEL PAVIMENTO.**

En respuesta del primer objetivo de investigación se realizó una inspección visual de daños de la estructura de pavimento el empleando el método de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). Este método involucra un proceso sistemático que considera tanto aspectos superficiales como estructurales del pavimento. A continuación, se describe en detalle:

- ✓ **Inspección Visual.** - La evaluación comienza con una inspección visual exhaustiva del pavimento. Este paso implica la observación detallada de la superficie del pavimento para identificar cualquier daño superficial evidente, como grietas, baches, desprendimientos, deformaciones y otros indicadores visuales.
- ✓ **Categorización de Daños Superficiales.** -En este proceso se clasifican los tipos de daños, como fisuras, deterioro por fatiga, desprendimientos de la capa de rodadura, entre otros. La categorización facilita la comprensión y el análisis posterior de los problemas superficiales.
- ✓ **Pruebas No Destructivas (NDE).** -El método AASHTO incorpora el uso de pruebas no destructivas (NDE, por sus siglas en inglés) para evaluar la resistencia y condiciones estructurales del pavimento. Estas pruebas pueden incluir el uso de deflectómetros y dispositivos de ultrasonido para medir deflexiones y detectar posibles problemas en las capas del pavimento.
- ✓ **Análisis de Deflexiones.** -Este análisis proporciona información sobre la rigidez y la resistencia a las cargas, lo que es crucial para determinar la integridad estructural del pavimento y su capacidad para soportar el tráfico.

- ✓ **Evaluación de Daños Funcionales.** -Además de la inspección visual y las pruebas estructurales, se evalúan los daños funcionales que afectan directamente la capacidad de servicio del pavimento. Esto incluye aspectos como la rugosidad, la textura superficial y la capacidad de drenaje, los cuales influyen en la seguridad y comodidad del usuario.
  
- ✓ **Registro de Datos.** -Durante el proceso de evaluación, se recopilan datos detallados sobre la ubicación y la naturaleza de los daños identificados. Estos datos se registran para su posterior análisis y uso en la toma de decisiones relacionadas con el mantenimiento y la rehabilitación del pavimento. En la última etapa, en base en los resultados de la evaluación, se generan informes que resumen los daños identificados y se proponen recomendaciones específicas para el mantenimiento y la rehabilitación.

En el ámbito de nuestro caso de estudio, es importante destacar que la evaluación de daños se enfocó exclusivamente en los aspectos funcionales del pavimento mediante el empleo del método AASHTO, como se detalla en la tabla 4. Dicha evaluación se centró en la identificación de daños superficiales y problemas que afectan la calidad de servicio de la carretera. Es esencial señalar que no se llevaron a cabo análisis de deflexiones ni pruebas no destructivas para evaluar la integridad estructural del pavimento, ya que el enfoque se orientó principalmente hacia los aspectos de servicio y funcionalidad de la vía.

**Tabla 4**

*Especificaciones de daños en la vía cada 500 metros*

TIPO DE DAÑO	TRAMO DE VÍA (ABSCISAS)										TOTAL
	0+000 a 0+500	0+500 a 1+000	1+000 a 1+500	1+500 a 2+000	2+000 a 2+500	2+500 a 3+000	3+000 a 3+500	3+500 a 4+000	4+000 a 4+500	4+500 a 5000	
<b>GRIETA PIEL DE COCODRILO (m2)</b>	72.3	37	31.6	4.12	18.62	7.6	25.6	78	62.5	18.5	355.84
<b>AGREGADOS PULIDOS (m2)</b>	1575	1575	1575	1575	1575	1575	560	231	157.5	175	10573.5
<b>BACHES Y ZANJAS REPARADAS (m2)</b>	0	5	23.1	73	29	5.67	0	0	29.7	7.54	173.01
<b>GRIETAS TRANSVERSALES (m)</b>	15.6	28	55	11	0	8	12	0	30	10	169.6
<b>GRIETAS LONGITUDINALES (m)</b>	0	0	0	0	8	50	15	66	0	45	184
<b>HINCHAMIENTO (m2)</b>	0	0	0	0	0	212.8	0	0	0	72	284.8
<b>AHUELLAMIENTO (m)</b>	2.7	0	0	0	0	0	16.5	0	0	0	19.2
<b>DEPRESIONES (m2)</b>	0	4.8	0	4.9	4.5	0	0	4.5	0	0	18.7
<b>HUECOS (N°)</b>	4	2	2	4	2	3	11	8	6	5	47

*Nota. Elaboración propia*

### **3.6. METODOLOGÍA DEL O.E2.: REALIZAR UN ESTUDIO GEOTÉCNICO MEDIANTE ENSAYOS DE LABORATORIO PARA CONOCER LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE DE LA VÍA DE 5km “DOS MANGAS”.**

El estudio geotécnico en la Vía "Dos Mangas" de 5 km se llevó a cabo mediante calicatas a cielo abierto con una profundidad de 1,5 metros, donde se obtuvieron seis muestras de suelo para posteriormente ser analizada en el laboratorio de suelo y obtener como resultado las propiedades mecánicas y de resistencia del suelo. Los ensayos realizados a las muestras de suelo fueron granulometría, límites de Atterberg, humedad y CBR directo.

#### **3.5.1 Degradación de capas granulares**

Como la segunda fase de la evaluación geotécnica, se procederá a la identificación del grado de contaminación de las capas granulares a partir del análisis de sus propiedades índices. De acuerdo con las directrices de la AASHTO (1993), se considera que una capa granular presenta contaminación o degradación cuando se produce una intrusión de finos. Esto implica que la granulometría ha experimentado modificaciones significativas debido a la erosión, lo que resulta en un aumento en la cantidad de finos en la capa y, por ende, en un comportamiento mecánico alterado.

Un indicador clave para evaluar si una capa granular ha sido afectada por este tipo de degradación es la determinación de los límites de Atterberg en una muestra extraída. Esto proporciona información crucial sobre si los límites exceden los valores permitidos para una configuración de Base o Sub-Base granular. Los límites establecidos por las secciones 403.1.02 y 404-1.02 de la norma MOP-001-F 2002 especifican que la porción que pase el tamiz #40 debe tener un índice de plasticidad menor que 6 y un límite líquido máximo de 25 (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2002). Para evaluar la degradación de las capas granulares, se realizaron calicatas a cielo abierto, permitiendo la extracción de muestras representativas y la observación del nivel de contaminación.

### **3.7. METODOLOGÍA DEL O.E3.: ANALIZAR EL TRÁFICO ACTUAL, MEDIANTE EL CONTEO MANUAL DE VEHÍCULOS Y PROYECTARLO A FUTURO PARA LA PROPUESTA DE REHABILITACIÓN DEL PAVIMENTO.**

Para el análisis de tráfico tiene como finalidad determinar el número de ejes equivalentes de 18 libras ( $W_{18}$ ) para estimar el número estructural SN en base a un valor de serviceabilidad inicial, que estará en función de un tráfico futuro ideal calculado conforme a un tráfico promedio diario anual (TPDA) proyectado. Estos parámetros de diseño serán empleados en las propuestas de rehabilitación. Para esto, se realizó un conteo vehicular manual durante cuatro días, incluidos los fines de semana, para cuantificar la cantidad de vehículo que transitan en las vía objeto de estudio, como se muestra en la tabla 5.

Por tanto, el TPDA será calculado mediante la siguiente fórmula:

$$TPDA = TPDS * F_d * F_m \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

TPDA: Tráfico promedio diario anual.

TPDS: Tráfico promedio diario semanal.

$F_d$ : Factor diario calculado a partir de un tráfico semanal.

$F_m$ : Factor mensual calculado a partir de un tráfico anual.

#### **3.7.1. Tráfico promedio diario semanal y Factor Diario.**

Se debe tener disponible un conteo horario del volumen de tráfico clasificado por tipo, el cual ha sido sumado por para obtener el número de vehículos que transitan por día en la vía. Para obtener el TPDS se promedia la cantidad de vehículos de los días aforados:

$$TPDS = \frac{\text{Suma de aforo de tráfico total}}{\text{Cantidad de días aforados}} \quad \text{Ec. 3}$$

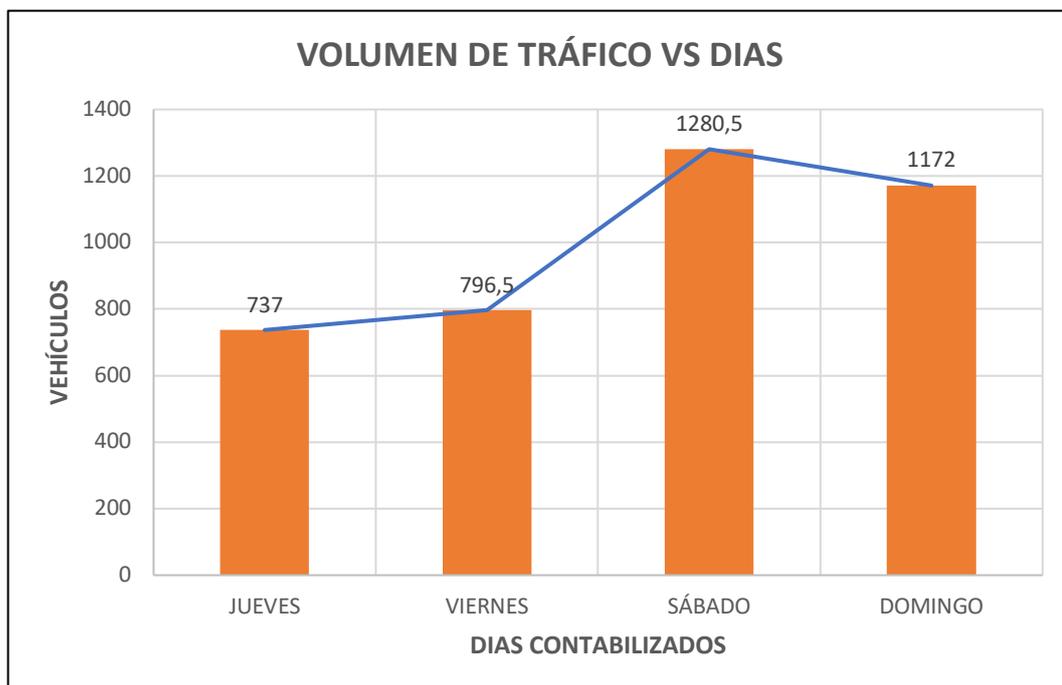
Ahora para obtener el factor diario, se lo calcula de la siguiente manera

$$F_{diario} = \frac{\sum \frac{TPDS}{\text{Tráfico diario}}}{\text{Cantidad de días aforados}} \quad \text{Ec. 4}$$

La figura 4 muestra el volumen vehicular obtenido de la semana de aforo vehicular detallada en la tabla 5. Por tanto, se obtiene un TPDS de 997 vehículos por día y un factor diario de 1.056.

**Figura 4**

*Frecuencia del tráfico semanal de la vía Manglaralto – Dos Mangas*



### 3.7.2. Factor Mensual (Fm)

El factor se lo obtiene de un registro de tráfico anual, que especifique el tráfico promedio mensual de varios años, en este proyecto se usará uno realizado en la vía a Barcelona, con un aforo para los años 2007, 2008, 2009, 2010 y 2011. Para el cálculo del factor mensual se tendrán que utilizar las siguientes fórmulas, teniendo en cuenta que los años del registro están distanciados del año del conteo de aforo actual:

$$TPM = \frac{\text{Suma de la totalidad del tráfico de un año}}{12} \quad \text{Ec. 5}$$

Se debe calcular el TPM (Tráfico Promedio Mensual) para cada año del registro, luego se usa la siguiente relación:

$$F_m = \frac{\sum \frac{TPM}{\text{Tráfico del mes aforado}}}{\text{Cantidad de años del registro}} \quad \text{Ec. 6}$$

Los registros del aforo mensual del total de vehículos contabilizados se anexan en la tabla 6 y la figura 5:

**Tabla 5**

*Tráfico semanal que incluye el tráfico promedio diario semana y el factor diario*

PROYECTO	VIA MANGLARALTO			AÑO	2023	MES	SEPTIEMBRE	FECHA DE INICIO	08/09/2023	FECHA DE TÉRMINO	11/09/2023			
DIA	LIVIANOS			BUSES		CAMIONES						SUMA	F.D	
	MOTO	AUTO	CAMIONETA	BUSETA	BUS	2D	2DA	2DB	3-A	V2DB	4 C			3S3
JUEVES	118	331	202	19	3	34	28	1	0	1	0	0	737	1.335
VIERNES	125	353	218	21	0	39	36	2	0	2	1	0	796,5	1.239
SÁBADO	170	687	355	14	7	23	17	3	0	5	0	0	1280,5	0.787
DOMINGO	168	628	307	17	2	25	22	2	0	1	0	0	1172	0.852
SUMA	580	1999	1082	71	12	121	103	8	0	9	1	0	3986	4.232
PROMEDIO	145	499.75	270.5	17.75	3	30.25	25.75	2	0	2.25	0.25	0		
% ESPECÍFICO	14.55%	50.15%	27.15%	1.78%	0.30%	3.04%	2.58%	0.20%	0.00%	0.23%	0.03%	0.00%	997	1.057
% GENERAL	91.85%			2.08%		6.07%						PROMEDIO		

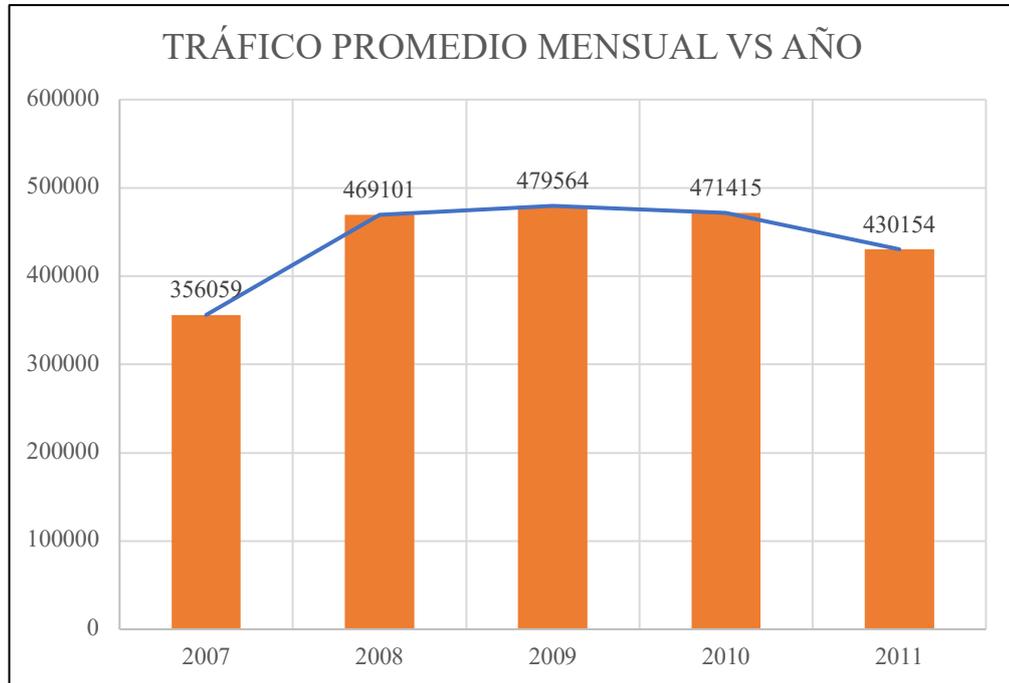
**Tabla 6***Aforo mensual del volumen total de tránsito de la vía Barcelona, ambos sentidos años 2007, 2008, 2009, 2010, 2011.*

<b>MES</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>PROMEDIO</b>
	<b>Tm</b>	<b>Tm</b>	<b>Tm</b>	<b>Tm</b>	<b>Tm</b>	
<b>ENERO</b>	386221	429591	469788	462365	490781	-
<b>FEBRERO</b>	363359	418926	410033	382648	438852	-
<b>MARZO</b>	38998	429925	457011	451245	517788	-
<b>ABRIL</b>	388363	418762	461613	430163	470153	-
<b>MAYO</b>	400153	452601	470594	468016	506231	-
<b>JUNIO</b>	400524	446308	467259	457493	484857	-
<b>JULIO</b>	41814	476057	484696	481797	523022	-
<b>AGOSTO</b>	436342	505097	507214	509594	540757	-
<b>SEPTIEMBRE</b>	427463	479226	473081	473797	516252	473963
<b>OCTUBRE</b>	442399	524716	501211	512391	53906	-
<b>NOVIEMBRE</b>	467045	520616	512856	501722	561715	-
<b>DICIEMBRE</b>	480025	527383	539409	525753	57537	-
<b>PROMEDIO MENSUAL</b>	356059	469101	479564	471415	430154	-
<b>F.M (SEPTIEMBRE)</b>	0.83	0.98	1.01	0.99	0.83	0.9307

Según los resultados se tiene un factor mensual de 0.93.

**Figura 5**

*Frecuencia de tráfico anual de la vía a Barcelona*



### 3.7.3. Tráfico promedio diario anual (TPDA).

Tomando la fórmula 1 de la sección 3.7, se tiene que:

**Tabla 7**

*Tráfico promedio diario anual clasificado para cada vehículo aforado*

TRÁFICO MIXTO	TPDS	Fm	Fd	TPDA
MOTO	145	0.931	1.06	143
AUTO	500	0.931	1.06	492
CAMIONETA	271	0.931	1.06	266
BUSETA	18	0.931	1.06	17
BUS	3	0.931	1.06	3
2D	30	0.931	1.06	30
2DA	26	0.931	1.06	25
2DB	2	0.931	1.06	2
V2DB	2	0.931	1.06	2
4 C	0	0.931	1.06	
<b>Σ</b>	<b>997</b>		<b>Σ</b>	<b>981</b>

### 3.7.4. Tráfico equivalente.

Para proyectar el tráfico hacia los años de diseño es necesario agrupar los vehículos aforados por tipo, ya que se le aplicará una tasa de crecimiento basada en vehículos livianos, buses o pesados, por tanto:

- ✓ Las motos representan la mitad de un liviano
- ✓ Los autos y camionetas se consideran livianos
- ✓ Los buses y busetas se considerarán como camión tipo 2DB

La nueva clasificación será:

**Tabla 8**

*Distribución del TPDA del tráfico equivalente*

<b>TRÁFICO EQUIVALENTE</b>	<b>TPDA</b>
LIVIANOS	901
<b>2D</b>	30
<b>2DA</b>	25
<b>2DB</b>	22
<b>V2DB</b>	2
4 C	
$\Sigma$	981

### 3.7.5. Tráfico asignado (TA).

Para calcular un tráfico futuro es necesario considerar no solo los volúmenes actuales de tránsito si no también los incrementos que se espera por la mejora del pavimento de la vía, por tanto, la siguiente fórmula determina el tráfico asignado:

$$TA = TPDA + TG + TD \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

TG: Tráfico generado, y representa un porcentaje adicional del TPDA.

TD: Tráfico desarrollado, y representa un porcentaje adicional del TPDA.

No obstante, hay que tomar en cuenta que la vía es existente y que no se considera alterna, por tanto, el incremento del tráfico no será muy representativo, por tanto, se tomará un 10% de tráfico desarrollado y 0% de tráfico generado, por lo que:

$$TD = (0.1)(981) = 98 \text{ v/día}$$

Y, por ende:

$$TA = 981 + 98 = 1079 \text{ v/día}$$

El tráfico asignado para la anterior distribución equivalente queda de la siguiente manera:

**Tabla 9**

*Tráfico asignado para la distribución equivalente de vehículos*

TRÁFICO EQUIVALENTE	TPDA	%	TA
LIVIANOS	901	91.85	991
<b>2D</b>	30	3.04	33
<b>2DA</b>	25	2.58	28
<b>2DB</b>	22	2.28	25
<b>V2DB</b>	2	0.23	2
4 C		0.03	0
$\Sigma$	<b>981</b>	<b>100</b>	<b>1079</b>

### 3.7.6. Cálculo de ejes de diseño.

El cálculo de los ESAL's o ejes de diseño obedece la siguiente fórmula:

$$W_{18} = F_{\text{carril}} * F_{\text{direccional}} * [\Sigma(TA * F_{\text{proyección}} * F_{\text{camión}} * 365)] \quad \text{Ec. 8}$$

**W<sub>18</sub>**: Tráfico de diseño

**F<sub>carril</sub>**: Factor dependiente de la cantidad de carriles en la vía

**F<sub>direccional</sub>**: Factor de dependiente de la direccionalidad de los carriles

**F<sub>proyección</sub>**: Factor dependiente de los años de diseño del pavimento

**F<sub>camión</sub>**: Factor de conversión a ejes equivalentes de diseño

### 3.7.6.1. Factor de proyección.

El presente proyecto propondrá un tiempo de 10 años como período de diseño. Ahora bien, la fórmula para calcular el factor es:

$$F_{\text{proyección}} = \frac{(1 + i)^n - 1}{i} \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

**n:** Años de diseño

**i:** Tasa de crecimiento

Las tasas de crecimiento estarán dadas por la siguiente tabla:

**Tabla 10**

*Tasas de crecimiento anual de tráfico para cada tipo de tráfico*

PERIODO	LIVIANO	BUS	CAMION
<b>2005-2010</b>	4.49%	2.12%	3.41%
<b>2011-2015</b>	3.99%	1.69%	3.03%
<b>2018-2020</b>	3.60%	1.70%	272.00%
<b>2021-2040</b>	3.27%	1.54%	2.48%

*Nota. Tomado de MTOP (2004)*

### 3.7.6.2. Factor camión.

El factor camión será la suma de los factores de cada eje de cada tipo de vehículo aforado, por tanto, el factor de eje para pavimentos flexibles se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Factor de eje} = FEC_1 = \frac{W_{t18}}{W_{tx}} \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

$$\log\left(\frac{W_{tx}}{W_{t18}}\right) = 4.79 * \log(19) - 4.79 * \log(L_x + L_2) + 4.33 * \log(L_2) + \frac{G_t}{B_x} - \frac{G_t}{B_{18}} \quad \text{Ec. 11}$$

Además, se tiene que:

$L_x = \text{Peso en Kips del eje}$

$$L_2 = \begin{cases} 1 & \text{si es eje simple} \\ 2 & \text{si es eje tandem} \\ 3 & \text{si es eje tridem} \end{cases}$$

$$B_x = 0.4 + \frac{0.08 * (L_x + L_2)^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19} * L_2^{3.23}}$$

$$B_{18} = 0.4 + \frac{0.08 * (19)^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19}}$$

$$G_t = \log\left(\frac{4.2 - P_t}{4.2 - 1.5}\right)$$

La serviciabilidad final (Pt) estará dada por el nivel de serviciabilidad en el que la vía quedará luego de su período de diseño, para el caso de estudio, se le asignará un valor de 1.8. El valor de SN se lo asumirá en un principio, para luego corroborarlo en la sección 3.6.7 para que cumpla con la ecuación de diseño de Pavimentos Flexibles de la AASHTO 93, para el presente estudio se asumirá que SN=4.33.

### 3.7.6.3. Factor carril y direccional.

El valor de los ESAL'S por dos factores que dependen del número de carriles en una y dos direcciones como se observa en las tablas 11 y 12, para el caso de estudio estos valores corresponden al 100 y 50%, respectivamente.

**Tabla 11.**

*Factor Carril y Direccional*

<i>Nº Carriles en 1 dirección</i>	<i>% ESAL en el carril de diseño</i>	<i>Nº Carriles (2 direcciones)</i>	<i>% de camiones en el carril de diseño</i>
1	100	2	50
2	80-100	4	45(35-48)
3	60-80	6 o más	40 (25-48)
4	50-75		

### 3.8. METODOLOGÍA DEL OE 4: PROPONER UN DISEÑO DE REHABILITACIÓN DE PAVIMENTO EMPLEANDO EL MÉTODO AASHTO 93, PARA DAR SOLUCIÓN A LAS FALLAS PRESENTES EN EL PAVIMENTO.

En respuesta al último objetivo de investigación, se llevó a cabo un análisis detallado de dos propuestas de rehabilitación del pavimento. Este proceso implica la evaluación crítica de las soluciones propuestas con el objetivo de determinar cuál de ellas se adecua de manera más eficiente a los requisitos y desafíos específicos identificados en el estudio. A continuación, se especifica la metodología de diseño para las propuestas de sobrecarpeta y reciclado.

#### 3.8.1. Diseño de Sobrecapa Asfáltica.

Para el diseño de Sobrecapa como etapa preliminar se determina el coeficiente estructural de la capa asfáltica y de la capas granulares que conforman la estructura de pavimento a través de la evaluación de daños y nivel de contaminación observada en la estructura existente. Para ello, se recurre a la tabla 13 donde se especifica la condición superficial de la capa y el coeficiente correspondiente.

**Tabla 12.**

*Coeficiente a en relación a la evaluación de daños del pavimento existente.*

<i>Material</i>	<i>Condición Superficial</i>	<i>Coeficiente</i>
Concreto	Pocas grietas piel de cocodrilo y baja severidad y /o	0,35-0,40
Asfáltico	sólo grietas transversales de baja severidad	
	< 10% grietas piel de cocodrilo baja severidad y /o	0,25-0,35
	<5% grietas transversales de severidad media y alta	
	>10% grietas piel de cocodrilo severidad media y/o	0,14-0,20
	<10% grietas piel cocodrilo severidad alta y /o	
	>10% grietas transversales de severidad media y alta	
Capas	Sin evidencia de degradación y contaminación	0,10-0,14
Granulares	Con evidencia de degradación y contaminación	0,00-0,10

### 3.8.1.1. Coeficiente de drenaje (m) de capas granulares.

El drenaje está considerado dentro del diseño como un factor que afecta directamente el coeficiente de capa para el pavimento flexible. Para hallar el coeficiente de drenaje se utilizará el método de aproximación del tiempo para drenar, este método incluye el agua que se infiltra en la sub base, producto de las lluvias, y que debe drenar rápidamente para evitar daños. Para ello se deben conocer los siguientes datos previamente

- ✓ Porcentajes de finos y tipos de finos= 2,7%
- ✓ D10, Tamaño de partículas que deja pasar el 10% de material= 1mm
- ✓ Pe, peso específico del suelo= 2650
- ✓ Densidad seca máxima=1755,9 kg/m<sup>3</sup>
- ✓ Lr, longitud de la media calzada = 4m

Con esto datos, se procede a calcular la perdida de agua, para hallar la porosidad efectiva,  $N_{e_{max}}$  de acuerdo a la siguiente expresión.

$$N_{e_{max}} = 1 - \frac{D_{smax}}{P_e} \quad \text{Ec. 12}$$

Con este valor se puede determinar el volumen de vacíos efectivo  $N_e$

$$N_e = \frac{N_{e_{max}}C}{100} \quad \text{Ec. 13}$$

Ahora, se analizan el contenido de finos con la tabla 14 se calcula la perdida de agua y encontrar el valor correspondiente a la porosidad efectiva;

**Tabla 13.**

*Cantidad de finos presente en las capas granulares del pavimento*

Material predominante	Cantidad de finos								
	<2,5 %			5%			10%		
	Tipo de finos			Tipo de finos			Tipo de finos		
	Filler	Limo	Arcillas	Filler	Limo	Arcillas	Filler	Limo	Arcillas
<b>Grava</b>	70	60	40	60	40	20	40	30	10
<b>Arena</b>	57	50	35	50	35	15	25	18	8

Con los valores obtenidos se procede a calcular la permeabilidad de la capa a través de la siguiente expresión matemática:

$$K = \frac{6,214 \times 10^5 (D_{10})^{1,478} n^{6,654}}{(P_{200})^{0,597}} \left( \frac{\text{pies}}{\text{dia}} \right) \quad \text{Ec. 14}$$

Finalmente se obtiene el tiempo de drenaje total  $m$  con la siguiente ecuación

$$m = \frac{N_e * L_r^2}{H * K} \quad \text{Ec. 15}$$

Luego, el tiempo de drenaje  $t$  en horas, se obtiene como un factor de tiempo requerido para drenar la capa de subbase hasta un 50% de saturación denominado  $t_{50}$ .

$$t_{50} = \frac{n_e * L^2}{2K(H + SL)} \quad \text{Ec. 16}$$

Finalmente se ponderó la pluviosidad de la zona considerando 32 días de lluvias al año

$$P = \frac{32}{365} \times 100 \quad \text{Ec. 17}$$

Luego, se evalúa la calidad del drenaje en base a los datos de la tabla 15

**Tabla 14.**

*Calidad del drenaje*

<b>Calidad del Drenaje</b>	<b>Tiempo de retiro del agua</b>
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy Pobre	Agua sin drenar

Finalmente, para seleccionar el coeficiente de drenaje  $m$  que se empleará en el diseño de la sobrecapa se realiza un último análisis en relación a la calidad del drenaje y el tiempo de exposición a humedad cercana a la saturación, como se describe en la tabla 16.

**Tabla 15.**

*Calidad de drenaje en función del tiempo expuesto a humedad cercana a la saturación*

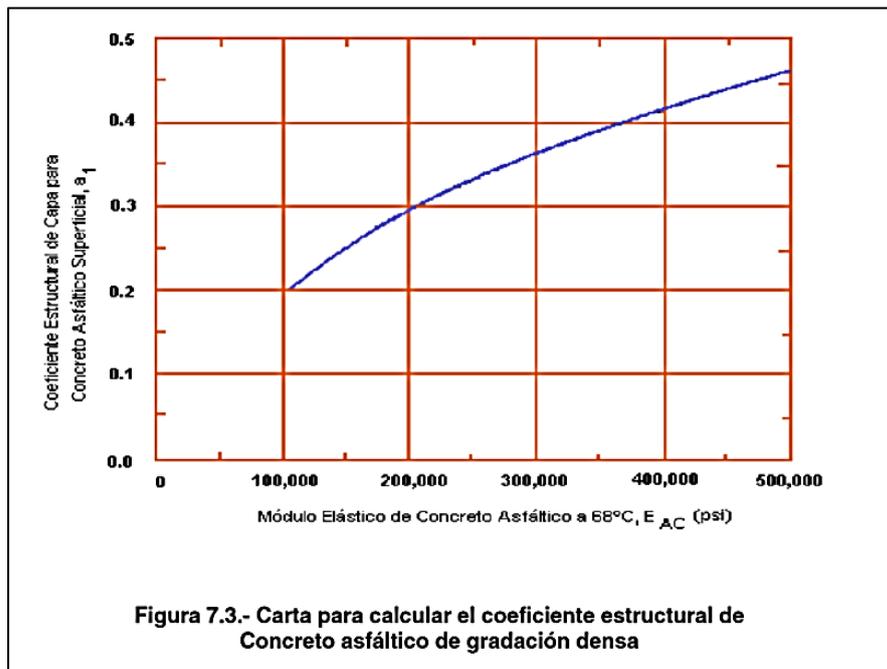
<b>Calidad de drenaje</b>	<b>% de tiempo en que el pavimento se encuentra expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación</b>			
	<b>&lt; 1%</b>	<b>1-5%</b>	<b>5-25%</b>	<b>&gt;25%</b>
Excelente	1,40-1,35	1,35-1,30	1,30-1,20	1,20
Bueno	1,35-1,25	1,25-1,15	1,15-1,00	1,00
Regular	1,25-1,15	1,15-1,05	1,00-0,80	0,80
Pobre	1,15-1,05	1,05-0,80	0,80-0,60	0,60
Muy Pobre	1,05-0,95	0,95-0,75	0,75-0,40	0,40

**3.8.1.2. Módulo de Sobrecapa.**

Para el diseño y cálculo del espesor de la sobrecapa asfáltica es importante obtener el valor del coeficiente estructural de la nueva capa. Para ello, se emplea el siguiente nomograma en el que se relaciona el módulo elástico del asfalto y el coeficiente estructural.

**Figura 6.**

*Nomograma para la determinación del coeficiente estructural  $a_1$*



### 3.8.1.3. Espesor de Sobrecapa.

El espesor de la Sobrecapa asfáltica se ponderó dividiendo la diferencia entre el número estructural futuro y el número estructural existente calculado en base al análisis de tráfico, para el coeficiente estructural  $a_1$ .

$$Espesor = \frac{SN_{futuro} - SN_{eff}}{a_1} \quad \text{Ec. 18}$$

Donde:

$SN_{eff}$  = Número estructural existente

$SN_{futuro}$  = Número estructural futuro

$a_1$  = Coeficiente estructural del asfalto

Se calculó el valor de  $SN_{eff}$  en base a la siguiente ecuación

$$SN_{eff} = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 \quad \text{Ec. 19}$$

Donde:

$a_1$  = Coeficiente estructural de la carpeta asfáltica

$D_1$  = espesor de la carpeta asfáltica existente

$a_2$  = coeficiente estructural de la capa granular existente

$D_2$  = espesor de la capa granular existente

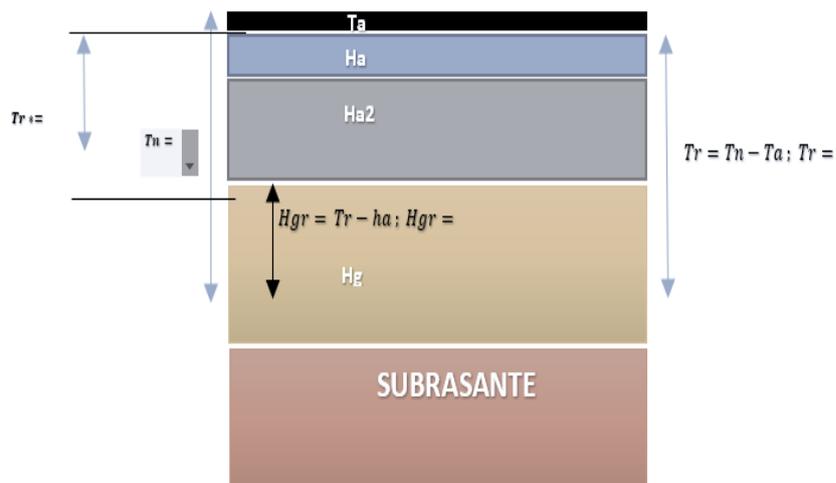
$m_2$  = coeficiente de drenaje de la capa granular

### 3.8.2. Diseño de Pavimento Reciclado.

Para el diseño por reciclado se tomarán en cuenta el siguiente gráfico para la identificación de los distintos cálculos de espesores.

**Figura 7**

*Modelo de cálculo para el diseño de pavimento reciclado*



Como primer punto, se determinan las características del pavimento existente que va a ser reciclado, es decir, el espesor de la carpeta asfáltica que para efectos de diseño se denominará ( $h_a$ ) y el espesor de las capas granulares denominadas ( $h_g$ ). Luego, se asigna un valor de factor de equivalencia ( $Fe$ ) en base al grado de contaminación del material en base a la tabla 16.

**Tabla 16**

*Factor  $Fe$  en relación al grado de contaminación*

$Fe$	0,1	Contaminado (>6% IP)
	0,2	No contaminado (6% IP)

Posteriormente, empleando el nomograma proporcionado por el Instituto del Asfalto para el diseño de reciclado de pavimentos se estimó el espesor requerido de pavimento reciclado más el espesor de la nueva carpeta asfáltica denominado ( $T_n$ ),

en función del módulo de la subrasantes obtenido mediante ensayos de laboratorio y el número de Esal's de diseño obtenido del estudio de tráfico. Luego, se determinó el espesor de la carpeta asfáltica en función de la tabla propuesta por el Instituto del Asfalto que relaciona el número de ejes equivalentes en el carril de diseño.

**Tabla 17**

*Espesor de la carpeta asfáltica*

Ejes equivalentes en el carril de diseño (N)	Espesor mínimo de carpeta asfáltica Ta(mm)
< 10 <sup>4</sup>	Tratamiento superficial
10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup>	50*
10 <sup>5</sup> -10 <sup>6</sup>	75*
10 <sup>6</sup> -10 <sup>7</sup>	100*
> 10 <sup>7</sup>	125*

*Nota. Obtenido del Instituto del Asfalto*

A continuación, se determina el espesor de pavimento existente que va a ser procesado (Tr)

$$T_r = T_n - T_a \quad \text{Ec. 20}$$

Posterior a ello, se determina el espesor granular por reprocesar (hgr)

$$h_{gr} = T_r - h_a \quad \text{Ec. 21}$$

Luego, se determina el espesor efectivo de las capas granulares remanentes (hger)

$$h_{ger} = (h_g - h_{gr})^* F_e \quad \text{Ec. 22}$$

Después, se obtiene el espesor corregido de las capas granulares por reciclar (hgr\*)

$$h_{gr*} = h_{gr} - h_{ger} \quad \text{Ec. 23}$$

Finalmente, se calculó el espesor definitivo del espesor de pavimento por reciclar (Tr\*)

$$T_{r*} = h_a + h_{gr*} \quad \text{Ec. 24}$$

### 3.9. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

**Tabla 18**

*Cuadro de Operacionalización de Variables*

<b>Variables</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Escala</b>
<b><i>Evaluación de daños del pavimento</i></b>	Es un proceso de inspección y análisis que tiene como objetivo determinar el estado de deterioro y las deficiencias en una superficie de pavimento.	Se realiza una evaluación de daños del pavimento implica la inspección visual y la medición de defectos como grietas, baches y desprendimientos en la superficie del pavimento.	Índice de Serviceabilidad del Pavimento	Registro de la Inspección	m <sup>2</sup>
<b><i>Estudio de tráfico</i></b>	Es un proceso de análisis que tiene como objetivo evaluar el flujo de vehículos, en una determinada área.	Se lleva a cabo mediante el conteo manual del tráfico para registrar datos sobre el flujo vehicular.	Tráfico Futuro	NS futuro ESAL'S de Diseño	Adimensional Adimensional
<b>Rehabilitación de pavimento de la vía “Dos Mangas”.</b>	Son un conjunto de acciones planificadas y ejecutadas en una carretera existente con el fin de restaurar su capacidad estructural, durabilidad y funcionalidad	Es un proceso que implica la reparación y mejora de una superficie de carretera existente. Se lleva a cabo mediante la identificación y eliminación de defectos como grietas, baches y áreas desgastadas	Diseño de Sobrecarpeta asfáltica	Espesor de Sobrecarpeta	m

## **CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS OE.1: EVALUAR EL NIVEL DE DAÑOS DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EMPLEANDO EL MÉTODO DE ÍNDICE DE SERVICEABILIDAD (PSI), PARA IDENTIFICAR EL PORCENTAJE DE DAÑO DEL PAVIMENTO.**

En respuesta del primer objetivo de investigación se obtuvo como resultado el porcentaje de daños observados por m<sup>2</sup>, que se describen en la tabla 19. El mayor daño observado en la superficie de la vía corresponde a los agregados pulidos con un 26,4%, este daño ocurre cuando los agregados aplicados a la superficie del pavimento se desprenden con el tiempo debido a factores como la abrasión, el tráfico vehicular intenso, condiciones climáticas adversas, o el uso de productos químicos agresivos. Además, las grietas longitudinales, de borde y cocodrilo son factores que comprometen la integridad de la capa de agregados y como se aprecia en la tabla, estos daños fueron encontrados en un 3,68%, 3,39% y 0,89% respectivamente.

Además de lo mencionado anteriormente, es crucial destacar que una adherencia deficiente entre los agregados y el agente de un pavimento puede dar lugar a desprendimientos prematuros en las etapas iniciales de la vida útil de la vía. Del mismo modo, la presencia de impurezas y la acumulación de suciedad pueden comprometer la adherencia completa, generando áreas sin material y propiciando la formación de baches a lo largo del tiempo. Para evitar estos problemas, es esencial garantizar una aplicación cuidadosa y precisa de los agregados, así como implementar medidas efectivas de limpieza y mantenimiento para preservar la integridad de la superficie del pavimento.

También, se observó, aunque en menor porcentaje la presencia de depresiones, baches e hinchamientos con valores del 0,047%, 0,43% y 0,71% respectivamente.

**Tabla 19.**

*Porcentaje de daños físicos observados en el capa asfáltica*

<b>Porcentaje de daños físicos</b>			
<b>Daño</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>%</b>
Grieta piel de cocodrilo	355,84	m2	0,89%
Agregados pulidos	10573,5	m2	26,4%
Baches y zanjas reparadas	173,005	m2	0,43%
Grietas de borde	169,6	m	3,39%
Grietas longitudinales	184	m	3,68%
Hinchamiento	284,8	m2	0,71%
Ahuellamiento	19,2	m2	0,05%
Depresiones	18,7	m2	0,047%
Huecos	47	No.	

## **4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS OE.2: REALIZAR UN ESTUDIO GEOTÉCNICO MEDIANTE ENSAYOS DE LABORATORIO PARA CONOCER LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE DE LA VÍA DE 5km “DOS MANGAS”**

En el marco del segundo objetivo de investigación, se llevó a cabo un análisis detallado de la subrasante donde se encuentra asentada la vía objeto de estudio, con el propósito de evaluar su resistencia y propiedades mecánicas. Se realizaron calicatas a una profundidad de 1,5 metros y las muestras de suelo obtenidas fueron analizadas en el laboratorio de suelos de la empresa INGEOTOP S.A.

De acuerdo con la clasificación ASSHTO, se identificó que la subrasante está mayormente compuesta por una arena limosa. Sin embargo, al emplear la clasificación SUCS, se observa presencia de arcilla con contenido de limo, excepto en el tramo del kilómetro 2+000 a 4+000. En este tramo, el suelo se clasificó como arcilla con contenido orgánico y una proporción de limo.

Es importante destacar que, a pesar de la presencia de arcilla, no se han observado daños estructurales en el pavimento según el análisis previo. Esto debido a la existencia de una capa de subbase compuesta por material granular. Esta capa proporciona un soporte adicional a la carpeta asfáltica, mitigando los posibles efectos adversos de la expansión y contracción que podrían surgir debido al contenido de arcilla en la subrasante. La estabilidad estructural actual podría estar relacionada con la capacidad de la capa de subbase para distribuir las cargas de tráfico de manera eficiente.

En cuanto a los valores de CBR, se observó una variación entre el 0,70% y el 2%. Estos resultados indican una capacidad de soporte baja, lo anterior sumado a los daños de tipo funcional observados en el inciso anterior sugieren la necesidad de considerar mejoras para garantizar la estabilidad a largo plazo y la resistencia adecuada a las cargas futuras del tráfico.

**Tabla 20***Resultados de los ensayos de la subrasante*

No.	Abs.	Prof.	Clasificación			W %	LL %	LP %	IP %	Granulometría				CBR %
			AASHTO	SUCS	Perfil					4 %	10 %	40 %	200 %	
1	0+00	1,5	A-2-4	CL		19,36	30,29	25,25	5,04	84,33	61,99	47,065	27,1	0,72
2	1+000	1,5	A-4	CL		25,61	32,49	28,04	4,45	89,088	74,55	66,96	44,19	2,09
3	2+000	1,5	A-4	CL		26,33	34,6	29,37	5,23	99,85	97,37	93,64	52,38	1,93
4	3+000	1,5	A-4	ML- OL		34,43	37,16	30,78	6,37	100	99,9	99,61	92,58	0,76
5	4+000	1,5	A-4	ML- OL		29,77	35,98	31,22	4,76	100	99,37	97,78	94,12	1,33
6	5+000	1,5	A-4	CL		28,52	36,47	31,71	4,76	100	99,84	98,74	98,35	1,67

Con los resultados obtenidos, se analizó el nivel de contaminación de los agregados que conforman las capas estructurales del pavimento que se muestran en la tabla 20, todas las muestras analizadas a excepción de la calicata cuatro fueron clasificados como contaminados en base a la tabla x detalla en la sección 3.3.4

**Tabla 21.**

*Grado de contaminación de los agregados de la estructura de pavimento existente*

<b>Contaminación de agregados</b>		
<b>Calicata</b>	<b>Índice plástico</b>	<b>Condición</b>
1	5,04 %	No contaminado
2	4,45 %	No Contaminado
3	5,23 %	No Contaminado
4	6,37 %	Contaminado
5	4.76 %	No Contaminado
6	4,76 %	No Contaminado

#### **4.2.1 Cálculo del CBR (Relación de Soporte de California) de la Subrasante**

Es necesario conocer la relación de soporte de suelo (CBR) actual de la subrasante al menos cada 500 o 1000 metros de abscisa, dependiendo de la varianza del material en cuanto al tipo de sub-rasante, para de esta manera correlacionarlo para obtener un módulo resiliente, el cual servirá para el cálculo del SN futuro, por tanto, se tomaron muestras de 6 calicatas para ensayarlas y conocer el CBR de cada una, a continuación, se anexan los resultados de los ensayos:

**Tabla 22**

*Resultados de los ensayos CBR realizados de las muestras extraídas.*

<b>MUESTRA</b>	<b>ABSCISA</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>	<b>CBR A 0.1"</b>
<b>1</b>	0+000	1.5 m	0.72
<b>2</b>	1+000	1.5 m	2.09
<b>3</b>	2+000	1.5 m	1.93
<b>4</b>	3+000	1.5 m	0.76
<b>5</b>	4+000	1.5 m	1.33
<b>6</b>	5+000	1.5 m	1.67

El Instituto del Asfalto recomienda usar un valor percentil de acuerdo al tráfico que se espera que circule por el pavimento, para calcular un valor de diseño general de entre los obtenidos de las muestras.

**Tabla 23**

*Percentiles para determinar el CBR de diseño de acuerdo a los ESAL's*

<b>NUMERO DE EJES DE 8.2 TONELADAS EN EL CARRIL DE DISEÑO</b>	<b>PERCENTIL A SELECCIONAR PARA DETERMINAR EL CBR DE DISEÑO</b>
$\leq 10^4$	60
$10^4 - 10^6$	75
$\geq 10^6$	87.5

*Nota. Extraído de Thickness design – Asphalt pavements for highways and streets Manual Series No 1. Novena edición (Revisión). Lexington, 2006. P. 26.*

El tráfico de diseño es de 294713 ejes, por tanto, se tomará el valor del 75% para el cálculo. Luego, se ordenan los resultados de menor a mayor y se le asigna una cantidad de valores CBR's iguales o mayores que a cada valor evaluado, y se deben representar en términos de frecuencia para poder graficar una línea de tendencia y trazar el percentil escogido, para de esta manera obtener el CBR de diseño.

**Tabla 24**

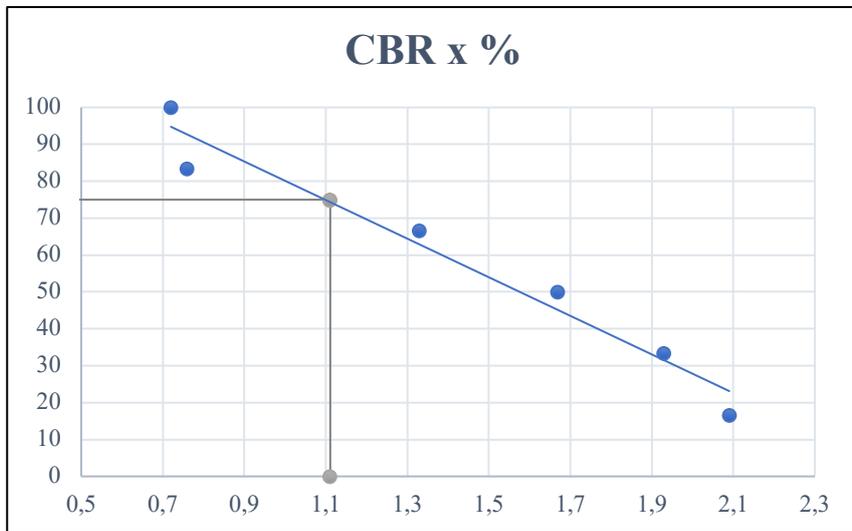
*Frecuencia de valores CBR's considerados.*

<b>N</b>	<b>CBR A 0.1"</b>	<b>MENOR A MAYOR</b>	<b>MAYOR O IGUAL</b>	<b>%</b>
1	0.72	0.72	6	100%
2	2.09	0.76	5	83%
3	1.93	1.33	4	67%
4	0.76	1.67	3	50%
5	1.33	1.93	2	33%
6	1.67	2.09	1	17%

En la figura 8, se obtiene un CBR de diseño de 1.11%.

**Figura 8**

*Trazado del percentil escogido en la gráfica de frecuencias.*



### **4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS O.E 3: ANALIZAR EL TRÁFICO ACTUAL, MEDIANTE EL CONTEO MANUAL DE VEHÍCULOS Y PROYECTARLO A FUTURO PARA LA PROPUESTA DE REHABILITACIÓN DEL PAVIMENTO.**

Como resultado del tercer objetivo de investigación se obtuvo como resultado el tráfico de diseño en término de ejes equivalentes de 18 libras detallada en la tabla 25, que permitirá diseñar las propuestas de rehabilitación.

El análisis del tráfico vehicular revela una composición mayoritaria de automóviles livianos, los cuales constituyen un notable 91,85% del total de la composición vehicular. El porcentaje restante se compone de camiones de dos y tres ejes, indicando una predominancia de vehículos de menor tonelaje en comparación con vehículos de carga pesada.

En términos cuantitativos, se registró un tráfico promedio diario anual (TPDA) de 981 automóviles. Este valor fue afectado por el factor de tráfico por desarrollo, que se estimó en un 10%, resultando en un total ajustado de 1079 vehículos. Esta corrección refleja con mayor precisión las condiciones cambiantes del tráfico en el área de estudio debido al desarrollo o crecimiento estimado.

En el contexto del tráfico de diseño, se calculó un total de 297,402 equivalentes de carga estándar (ESAL), una medida fundamental en la ingeniería de pavimentos para evaluar el impacto de carga vehicular. Este valor se sometió a ajustes adicionales, considerando el 100% y el 50% de los factores de carril y direccional, respectivamente. Estos factores de ajuste tienen en cuenta la variabilidad en las cargas vehiculares y las direcciones de movimiento, proporcionando una estimación más precisa de la carga estructural que la carretera podría experimentar a lo largo de su vida útil.

Este detallado análisis del tráfico vehicular y sus características específicas proporciona información esencial para el diseño y la evaluación de la resistencia y durabilidad del pavimento, garantizando que la carretera esté diseñada para soportar de manera efectiva las condiciones reales de tráfico a las que estará expuesta.

**Tabla 25**

*Tráfico de Diseño*

Tráfico Equivalente	TPDA	%	T. Asignado	F. Proyectado	Lx(kips)	L2	Bx	B18	Gt	F. Eje	F. Camión	Eje Diseño
Livianos	901	91,85%	991	11,61	4,4	1	0,40	0,583	-0,051	0,00264	0,016	67886
					6,6	1	0,41	0,583	-0,051	0,01352		
2D	30	3,04%	33	11,19	6,6	1	0,41	0,583	-0,051	0,01352	0,058	7877
					8,8	1	0,42	0,583	-0,051	0,04532		
2DA	25	2,58%	28	11,19	6,6	1	0,41	0,583	-0,051	0,01352	0,521	59401
					15,4	1	0,51	0,583	-0,051	0,50779		
2BD	22	2,28%	25	11,19	15,4	1	0,51	0,583	-0,051	0,50779	4,135	416235
					24,2	1	0,85	0,583	-0,051	3,62685		
3-A	0	0,00%	0	11,19	15,4	1	0,51	0,583	-0,051	0,50779	3,832	0
					44,1	2	0,74	0,583	-0,051	3,32416		
V2DB	2	0,23%	2	11,19	15,4	1	0,51	0,583	-0,051	0,50779	4,135	41166
					24,2	1	0,85	0,583	-0,051	3,62685		
4C	0	0,03%	0	11,19	15,4	1	0,51	0,583	-0,051	0,50779	2,024	2239
<b>Σ</b>	981	100%	1079		52,9	3	0,57	0,583	-0,051	1,51583	<b>Σ</b>	594804
T. Generado 0%	0										F. Carril	100%
T. Desarrollo 10%	98										F. Direccional	50%
T. Asignado	1079										Tráfico Diseño	297402

#### **4.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS O.E 4: PROPONER UN DISEÑO DE REHABILITACIÓN DE PAVIMENTO EMPLEANDO EL MÉTODO AASHTO 93, PARA DAR SOLUCIÓN A LAS FALLAS PRESENTES EN EL PAVIMENTO.**

En respuesta al último objetivo de investigación, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de diversas propuestas destinadas a la rehabilitación del pavimento. La naturaleza de los daños observados en el pavimento indicó que estos eran de tipo funcional, no estructural, lo que llevó a la consideración de dos enfoques principales: sobrecarpeta y reciclado (Guía AASHTO Para Diseño de Estructuras de Pavimentos, 1993).

En una primera instancia, se exploró la opción de sobrecarpeta asfáltica como una alternativa viable. Sin embargo, durante la evaluación detallada, se determinó que el espesor requerido sería sustancial, alcanzando los 11 centímetros. Con el objetivo de optimizar la intervención y reducir la cantidad de material necesario, se optó por reconsiderar la estrategia de rehabilitación (D. E. Mendieta Quito, 2016).

En consecuencia, se procedió a evaluar la propuesta de diseño basada en reciclado. Este enfoque demostró ser más eficiente en términos de espesor, logrando una reducción significativa a 7,5 centímetros (o 3 pulgadas). Esta decisión no solo se traduce en una intervención más económica en términos de material utilizado, sino que también puede tener beneficios ambientales al minimizar la cantidad de recursos necesarios para la rehabilitación (Sánchez Sabogal, 2020).

La elección de la estrategia de reciclado no solo se basó en la consideración del espesor reducido, sino también en la capacidad de abordar de manera efectiva los problemas funcionales del pavimento. Este diseño de reciclado se propone como una solución integral que garantice la restauración adecuada de la funcionalidad del pavimento, prolongando su vida útil y proporcionando una respuesta eficiente a las demandas del tráfico y las condiciones climáticas. Este análisis y selección cuidadosa de las propuestas de rehabilitación buscan optimizar los recursos y garantizar una solución efectiva y sostenible para la infraestructura vial en cuestión.

#### 4.4.1. Diseño de sobrecapa asfáltica

Para el diseño de la carpeta asfáltica se retoman las ecuaciones de diseño descritas en la sección 3.8 para obtener los parámetros de diseño para el diseño de sobrecapa. El coeficiente "a" asignado para la capa asfáltica y las capas granulares de acuerdo con la evaluación de daños queda expresada como se observa en la tabla

**Tabla 26.**

*Coeficiente a para la estructura de pavimento existente*

Material	Coeficiente a
Carpeta	0,40
Capa granular	0,14

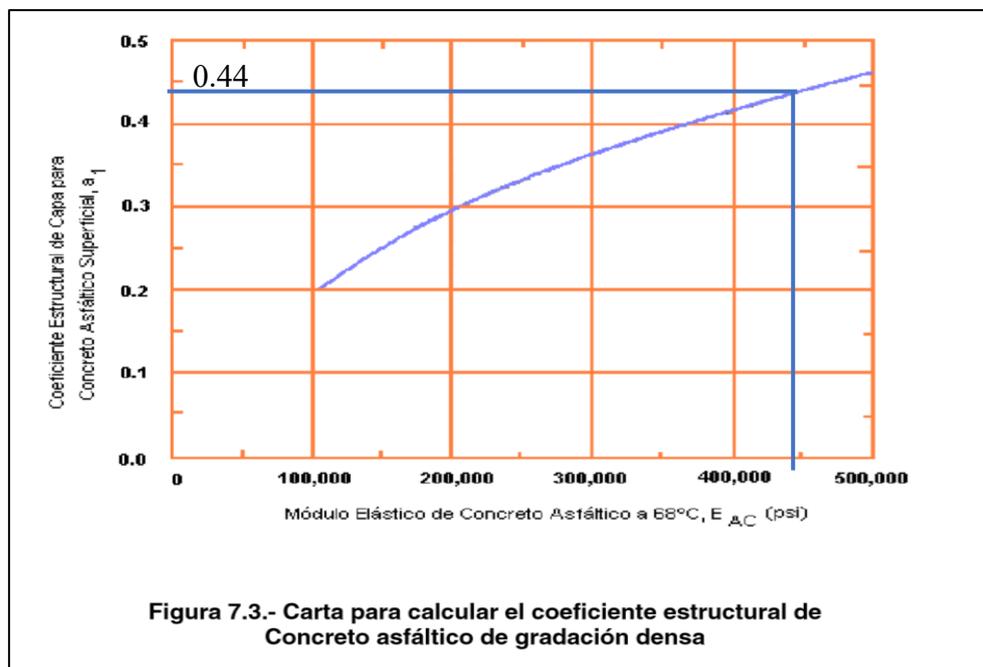
Se analiza las condiciones de drenaje de las capas estructurales y se obtiene lo siguiente:

$$Ne_{max} = 33,74 \quad \text{Ec. 25}$$

De acuerdo a la granulometría de los agregados, se observa que el material predominante es la grava con un contenido de finos inferior al 2,5 % el valor del coeficiente C es igual a 40. A continuación, se calculan los valores de porosidad, permeabilidad y el tiempo de drenaje para obtener el coeficiente de drenaje m de la capa granular.

Parámetro	Símbolo	Cantidad	Unidad
Volumen de vacíos máximo. <b>Ec. 11.</b>	Ne max	33,740	%
Tasa de drenaje por día. <b>Ec. 13.</b>	K	248,94	ft/día
Volumen de vacíos efectivo. <b>Ec. 12.</b>	Ne	13,50	%
Tiempo de drenaje total. <b>Ec. 14.</b>	m*	0,142	DÍAS
Factor tiempo al 50%. <b>Ec. 15.</b>	T50	0,0508	-
Tiempo de drenaje en horas	t	0,174	horas
Calidad de drenaje		EXCELENTE	
Luviosidad. <b>Ec. 16.</b>		8,77%	
Coeficiente m		1,20	

Al analizar estos datos detallados, se pudo clasificar la calidad del drenaje como excelente, según los criterios establecidos en la tabla 15, ya que el tiempo de drenaje es inferior a 2 horas. Posteriormente, se procedió a obtener el coeficiente estructural específico para la sobrecarpeta. Este cálculo se basó en el uso de un nomograma que relaciona el módulo elástico y la estabilidad Marshall. Los resultados de este análisis revelaron que el valor del coeficiente "a" es de 0,44. Estos hallazgos proporcionan información esencial para la toma de decisiones en el diseño de la sobrecarpeta, asegurando un rendimiento estructural óptimo y una adecuada capacidad de drenaje del pavimento. (Cordo, 2006)



Luego, con los datos obtenidos anteriormente se obtiene el espesor de la sobrecapa con las siguientes expresiones detalladas en la sección 3.8, por consiguiente, el valor de  $SN_{eff}$  es :

<b>Número estructural existente</b>	$SN_{eff} = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2$
$SN_{eff} = 0,4 * 2,95 + 0,14 * 7,87 * 1,20$	
$SN_{eff} = 2,504$	

El valor de  $SN_{futuro}$  fue calculado en el análisis de tráfico y corresponde a un valor de 4,33, la deficiencia estructural es de 1,83. Entonces, el espesor de la sobrecarpeta es igual a 4,15 plg.

<b>Espesor de sobrecarpeta</b>	<b><math>4,33 - 2,504</math></b>
	<b>0,44</b>
<b>4,15 plg. o 11cm</b>	

**Tabla 27.**

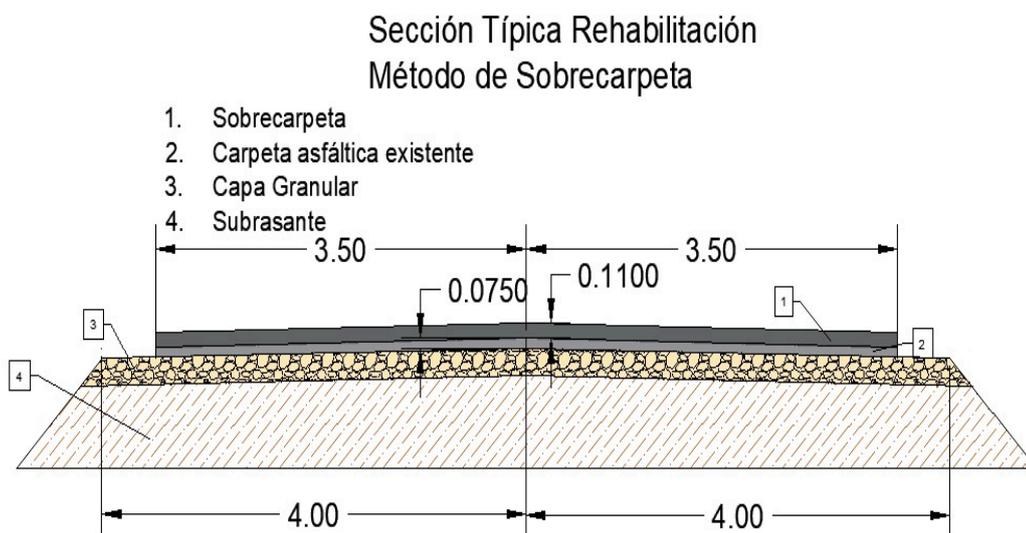
*Valores para el cálculo del espesor de sobrecarpeta*

<b>Espesor de sobrecapa</b>	
SN futuro	4,33
Deficiencia estructural	1,83
	<b>4,15 plg</b>
<b>Espesor</b>	<b>11,00 cm</b>

La figura 9 muestra la sección típica obtenida del procedimiento de cálculo realizado para el diseño de la sobrecarpeta

**Figura 9**

*Sección típica del método de sobrecarpeta*



Debido que el espesor final es de 11cm o 4,15 plg., se decidió optar por un diseño de reciclado con la intención de reducir el espesor.

#### 4.4.2. Diseño de Reciclado

Como primera etapa de diseño se selecciona un valor de  $T_a$  en base las consideraciones de la tabla propuesta por el Instituto del asfalto en base al nivel de tráfico.(Especificaciones Generales Para La Construcción de Caminos y Puentes, 2002)

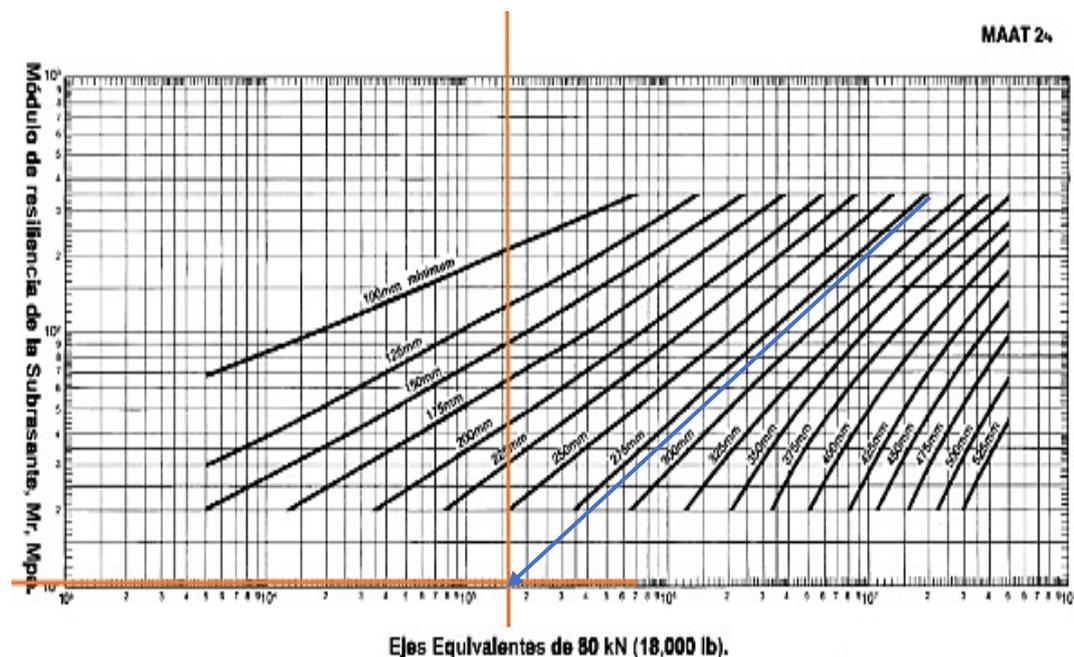
Datos	
ESALS	$2,9 \cdot 10^5$
$T_a$	75mm

Luego, se especifican los espesores de la capa de pavimento ( $h_a$  y  $h_g$ ).

Capa	Nomenclatura	
Carpeta asfáltica	$h_a$	7,5cm
Sub-base granular	$h_g$	20cm

De los datos del estudio tráfico con el ábaco proporcionado por el Instituto del Asfalto se obtiene el valor del espesor mínimo requerido para la capa de reciclado es de 258mm.(Facultad de Ciencias y Tecnología de la UMSS, 2016)

Datos	Nomenclatura	
ESALS	294713	
Módulo	1650 PSI	PSI
	11,38 MPa	MPa



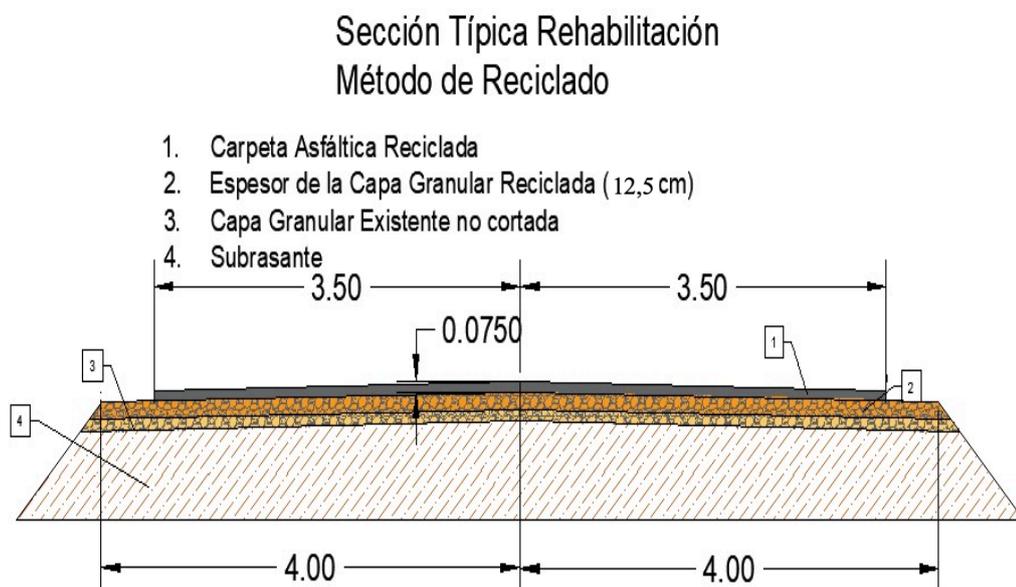
En base a los resultados obtenidos, las capas de pavimento no presentan contaminación y se elige un valor de  $F_e=0,2$ . Con la tabla se elige un valor de  $T_a$ . Retomado las ecuaciones anteriores de la sección 3.8.

Espesor de pavimento a ser procesado. <b>Ec. 19.</b>	$T_r = 285 - 75$ $T_r = 210 \text{ mm}$
Espesor de la base granular. <b>Ec. 20.</b>	$h_{gr} = 210 - 75$ $h_{gr} = 135 \text{ mm}$
Espesor efectivo <b>Ec. 21.</b>	$h_{ger} = (200 - 135) * 0,2_e$ $h_{ger} = 13 \text{ mm}$
Espesor corregido <b>Ec. 22.</b>	$h_{gr*} = 135 - 13$ $h_{gr*} = 122 \text{ mm}$ , que se redondea a 12,5 cm
Espesor del pavimento a reciclar <b>Ec. 23</b>	$T_{r*} = 75 + 122$ $T_{r*} = 197 \text{ mm}$

Del análisis anterior se tiene como resultado que se reciclará 12,5 cm de material granular del pavimento y la carpeta asfáltica será de espesor de 7,5cm. Como este espesor, es menos al obtenido por el método de rehabilitación se acepta el diseño.

**Figura 10**

*Sección Típica del diseño por reciclado*



## 4.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La discusión de los resultados obtenidos en el marco de la investigación sobre el estado del pavimento y las propuestas de rehabilitación revela una serie de desafíos y oportunidades significativas para la gestión de la infraestructura vial. El análisis detallado de los daños observados en la superficie de la vía destaca una preocupante predominancia de agregados pulidos, representando un 26,4% del área evaluada.

Estos desprendimientos de agregados, influenciados por factores como la abrasión, el tráfico vehicular intenso, las condiciones climáticas adversas y el uso de productos químicos agresivos, señalan una vulnerabilidad crítica en la integridad del pavimento. Las grietas longitudinales, de borde y cocodrilo, aunque en menor proporción, contribuyen a comprometer la estabilidad de la capa de agregados. La aplicación cuidadosa y precisa de los agregados, junto con medidas efectivas de limpieza y mantenimiento, se postulan como estrategias esenciales para preservar la integridad de la superficie del pavimento y mitigar estos problemas.

En cuanto al tráfico vehicular, el análisis revela una composición mayoritaria de automóviles livianos, representando el 91,85%. Esta información es fundamental para comprender la carga que soporta la carretera y diseñar intervenciones adecuadas. El tráfico de diseño, calculado en términos de equivalentes de carga estándar (ESAL), proporciona una base esencial para desarrollar propuestas de rehabilitación que se alineen con las demandas específicas del flujo vehicular identificado.

La propuesta de rehabilitación, derivada del tercer objetivo de investigación, refleja la cuidadosa consideración de las opciones disponibles. La elección del reciclado sobre la sobrecarpeta asfáltica destaca la búsqueda de soluciones eficientes y sostenibles. La reducción significativa en el espesor propuesto para el reciclado (7,5 cm frente a los 11 cm de la sobrecarpeta) no solo implica un uso más eficiente de materiales, sino que también puede tener beneficios ambientales al minimizar la cantidad de recursos necesarios para la rehabilitación.

Esta discusión subraya la necesidad de un enfoque integral en la gestión de la infraestructura vial. Desde la identificación de los daños y desafíos específicos hasta la selección de propuestas de rehabilitación, cada fase debe abordarse con atención a los detalles y una comprensión profunda de las condiciones particulares del pavimento y el entorno circundante. Estas consideraciones son esenciales para garantizar la sostenibilidad y la eficacia a largo plazo de las intervenciones en la carretera.

# **CAPÍTULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

## **5.1 CONCLUSIONES**

Se cumplieron satisfactoriamente los objetivos de investigación. En relación al primer objetivo de investigación se concluyó que el pavimento existente posee daños de tipo funcional y el mayor porcentaje de daños correspondió a los agregados pulidos con un valor del 26%, lo que sugiere problemas de adherencia de los agregados que conforman el pavimento.

En el segundo objetivo de investigación se concluye que el material de subrasante posee características arcillosas y contenido de limo orgánico en menor medida de acuerdo a la clasificación SUCS, por lo que la capa de subbase existente favorece al soporte de las cargas de tránsito. El valor de CBR de diseño fue de 1,1 considerado bajo.

En relación al tercer objetivo de investigación, se obtuvo como resultado un tráfico de diseño de 297402 ESAL'S, para este nivel de tráfico se asignó un SN futuro correspondiente a 4,33 para el diseño de las propuestas de rehabilitación. La composición vehicular estaba liderada por vehículos livianos debido a que es un vial de uso turístico principalmente.

En relación al último objetivo de investigación se concluyó que la mejor alternativa de diseño es el reciclado en frío con mezcla en sitio de emulsión asfáltica debido a que posee un espesor de carpeta de 7,5 cm. El diseño de sobrecarpeta no considera óptimo como propuesta de rehabilitación debido a que el espesor de carpeta asfáltica es de 11 cm, lo que supone costos mayores de construcción.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

Para minimizar el daño de pavimento de agregados pulidos, es importante realizar un mantenimiento adecuado, como limpieza regular, reparación de grietas, y la aplicación de selladores protectores. Además, la selección de los materiales adecuados y la aplicación según las especificaciones del fabricante son factores críticos para garantizar la durabilidad y el rendimiento a largo plazo del pavimento tratado con agregados pulidos.

Es esencial que todas las entidades públicas encargadas de las carreteras realicen inventarios periódicos para evaluar el estado de las estructuras de pavimento en la provincia. Este enfoque proactivo permitirá implementar intervenciones oportunas en la rehabilitación de pavimentos, evitando que la falta de mantenimiento resulte en trabajos de reconstrucción, los cuales conllevan costos significativamente mayores.

En cada proyecto vial, la realización de un control de calidad minucioso en cada capa que compone la estructura del pavimento es de suma importancia. Esto asegura que los parámetros utilizados en el cálculo del espesor del pavimento sean los adecuados, contribuyendo así a la durabilidad y eficiencia del pavimento.

Se recomienda la incorporación de emulsiones asfálticas en mezclas o reciclados en frío, tal como se propone en este proyecto, debido a sus beneficios medioambientales significativos. Este material ofrece una alternativa respetuosa con el medio ambiente al reducir la dependencia de recursos naturales y minimizar la generación de emisiones nocivas. Las emulsiones asfálticas no solo mejoran la sostenibilidad del pavimento, sino que también contribuyen a la eficiencia del proceso de construcción al permitir aplicaciones a temperaturas más bajas, lo que a su vez reduce el consumo energético. La adopción de este enfoque no solo implica una elección responsable desde el punto de vista ambiental, sino que también promueve prácticas de construcción más sostenibles y eficientes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Guía AASHTO para Diseño de Estructuras de Pavimentos, (1993).
- Albino, K. F., & Enciso, M. E. (2020). *“Rehabilitación de pavimentos flexibles mediante sistema whitetopping con Losas de Geometría Optimizada en la Av. La Unión-Manchay, 2020.* Universidad César Vallejo.
- Alimohammadi, H. (2020). A framework for evaluation of existing pavement conditions and selection of feasible maintenance/rehabilitation alternatives; a case study in some routes of Livingston Parish in the state of Louisiana. *SN Applied Sciences*, 2(2). <https://doi.org/10.1007/s42452-020-1999-6>
- Amaya, O. (2019). *Diseño de la estructura de un Pavimento Flexible Aplicando el Método AASHTO-93, para el corredor Vial comprendido entre la Diagonal 65 – Cai Boston – Cruce vía Yuma en Barrancabermeja, Santander.* Universidad Militar Nueva Granada.
- Aquino, J. (2022). *Estado de conservación de un pavimento flexible mediante métodos convencionales de evaluación – Avenida Las Palmeras, Los Olivos 2021.*
- Ávila, F. (2011). *“DISEÑO Y CALCULO DE ESPESORES DE PAVIMENTO FLEXIBLE POR EL METODO AASHTO Y DE LA MEZCLA ASFALTICA POR EL METODO MARSHAL, PARA LAS VIAS INTERNAS DEL PROYECTO TERMINAL MARITINO Y SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE LA PLANTA GLP EN LA PARROQUIA MONTEVERDE EN EL C.*
- Ayman Aguib, A. (2013). *Flexible Pavement Design AASHTO 1993 versus Mechanistic-Empirical Pavement Design* [The American University in Cairo School of Sciences and Engineering]. [https://fount.aucegypt.edu/retro\\_etds](https://fount.aucegypt.edu/retro_etds)

- Carguachi, M., & Escalante, D. (2019). *Análisis estructural y soluciones de rehabilitación o mantenimiento del pavimento flexible de la avenida Rodrigo de Chávez, ubicado en el Distrito Metropolitano de Quito, provincia de Pichincha*. UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.
- Cespedes, J. (2023). *PROPUESTA DE DISEÑO DE CAPA DE REFUERZO DE CONCRETO HIDRÁULICO UTILIZANDO EL SOFTWARE DE PAVEMENT DESIGNER PARA LA REHABILITACIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL JIRÓN JAVIER PULGAR VIDAL, CAYHUAYNA-2023*. UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN.
- Chonillo, A. D., & Palma, L. M. (2021). *EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE, DEL TRAMO DE LA VÍA TRONCAL DEL PACÍFICO COMPRENDIDO ENTRE LA CALLE 24 DE MAYO Y LA AVENIDA DÉCIMO OCTAVA, RUTA DEL SPONDYLUS, CANTÓN SANTA ELENA, PROVINCIA DE SANTA ELENA* [Universidad Estatal Península de Santa Elena]. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6497>
- Chuyes, E. (2021). *Evaluación del pavimento flexible aplicando las metodologías PCI y VIZIR para la rehabilitación de la Av. Ramón Castilla, distrito de Marcavelica-Piura* [Universidad César Vallejo]. <https://orcid.org/0000-0002-6488-3661>
- Colana, R. (2021). *Diseño del Pavimento Flexible Utilizando los Métodos AASHTO 93 en el Instituto del Asfalto en la Av. Santa Fortunata – Moquegua, 2021*. Universidad César Vallejo.
- Cordo, Ó. (2006). *Diseño de Pavimentos (AASHTO-93)*.
- Coronado Gutierrez, J. D. (2023). Análisis de patologías viales para determinar técnicas de rehabilitación del pavimento flexible utilizando método VIZIR en Av. Universitaria – Tumbes 2022. *Universidad Cesar Vallejo*, 1–139.

[http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez\\_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Dávila, M. (2012). *Diseño de la Rehabilitación del pavimento flexible en el tramo “Guayllabamba -El Pisque.”* Universidad Internacional del Ecuador.

Dionicio, M. R., & León, C. (2023). *Diseño Estructural Del Pavimento Flexible en las Calles del Asentamiento* [UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO]. <https://orcid.org/0000-0003-4733-4959>

Dominguez, J., & Panchana, M. (2021). *ESTUDIOS DE LAS PATOLOGÍAS Y REPARACIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE UBICADO EN EL TRAMO DE LA AV. FRANCISCO PIZARRO Y CALLE CUARTA – CANTÓN SANTA ELENA – PROVINCIA DE SANTA ELENA.*

Facultad de Ciencias y Tecnología de la UMSS. (2016). *Rehabilitación de Pavimentos con Refuerzos - Método AASHTO-93.*

García, A., & Terán, A. (2022). *EL PAVIMENTO FLEXIBLE Y EL MÉTODO WHITETOPPING EN COMPARACIÓN AL MÉTODO TRADICIONAL PARA LA REHABILITACIÓN DE LA VÍA PRINCIPAL DEL RECINTO BARRANCA DE LA CIUDAD DE SAMBORONDÓN.*

Hernández, A. (2022). *Rehabilitación vial con pavimento flexible reciclado.* Universidad Nacional Autónoma de México.

Huilcapi, V., & Pucha, K. (2015). *“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS DE EVALUACIÓN FUNCIONAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LAS VÍAS GARCÍA MORENO Y PANAMERICANA SUR DEL CANTÓN COLTA – PROVINCIA DE CHIMBORAZO.”* UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO.

Lambert, K., & Mendoza, F. (2020). *Diseño de sobre capa asfáltica del pavimento de la avenida 10 de Julio – Florencia de Mora – Trujillo – 2019.* In *Universidad*

*Andina* del *Cusco*.

[http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez\\_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Larios, A., & Mendoza, X. (2021). *FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL Rehabilitación del Pavimento Flexible de la Avenida Salvador*. Universidad César vallejo .

Liu, Z., & Sun, L. (2023). A review of effect of compaction methods on cold recycling asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 401. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132758>

Maldonado, R. B. (2021). *Optimización del diseño de pavimento flexible aplicando los métodos AASHTO-93 y DISPAV-5 en la Avenida N°1, Distrito San Antonio, Moquegua*. Universidad César Vallejo.

Mannan, U. A., Islam, M. R., & Tarefder, R. A. (2015). Effects of recycled asphalt pavements on the fatigue life of asphalt under different strain levels and loading frequencies. *International Journal of Fatigue*, 78, 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2015.04.004>

Meléndez, A., & Murillo, M. (2022). *REHABILITACIÓN DEL PAVIMENTO DEL TRAMO MEGA LARACH PERIFÉRICO - RESIDENCIAL CIUDAD JARDÍN, MDC*. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA.

Mendieta Quito, D. (2016). *Aplicación de una metodología para rehabilitación de pavimentos mediante sobrecapas de refuerzo, utilizando AASHTO 93*. [Universidad del Azuay]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6858>

Mendieta Quito, D. E. (2016). *Aplicación de una metodología para rehabilitación de pavimentos mediante sobrecapas de refuerzo, utilizando AASHTO 93*. Universidad del Azuay.

Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes, Pub. L. No. MOP-001-F 2002 (2002).

Montes, J. (2020). *Evaluación del diseño estructural de pavimento flexible en ejecución y planteamiento de alternativa para el mejoramiento y rehabilitación del tramo de 1.2km en la vía Villeta – La Magdalena de la ruta 50NC10 Villeta – Útica - La Palma en el Departamento de Cundinamarca*. Universidad Militar Nueva Granada.

Orrel Pino, E. (2009). *REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS CON CAPAS DELGADAS DE HORMIGÓN “WHITETOPPING”* (Vol. 3, Issue 2) [Universidad Austral de Chile]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/myaccess.library.utoronto.ca/pubmed/11720961>

Rajbongshi, P., & Das, A. (2008). Optimal Asphalt Pavement Design Considering Cost and Reliability. *JOURNAL OF TRANSPORTATION ENGINEERING*, 255–261. <https://doi.org/10.1061/ASCE0733-947X2008134:6255>

Restrepo, H., & Stephens, S. (2015). *Estudio de las Ventajas Económicas del Reciclaje en frío in situ de pavimentos asfálticos*.

Rivera, J. (2020). *Aplicación de técnicas de conservación en la rehabilitación del pavimento flexible en la Av. Lomas de Carabayllo – Carabayllo 2020*. Universidad César Vallejo.

Rodríguez, C., & Rodríguez, J. (2004). *Evaluación Y Rehabilitación De Pavimentos Flexibles Por El Método Del Reciclaje*. [http://ri.ues.edu.sv/2234/1/Evaluación\\_y\\_rehabilitación\\_de\\_pavimentos\\_flexibles\\_por\\_el\\_método\\_del\\_reciclaje.pdf](http://ri.ues.edu.sv/2234/1/Evaluación_y_rehabilitación_de_pavimentos_flexibles_por_el_método_del_reciclaje.pdf)

- Rojas, M. (2022). *Diagnóstico, evaluación y diseño de rehabilitación para pavimento existente en el municipio de Magangue corregimiento Juan Arias*. Universidad Militar Nueva Granada.
- Romero, B. G. (2022). *Evaluación estructural no destructiva de pavimento flexible mediante la solución del algoritmo AASHTO 1993, Carretera Piura- Paita, 2022*. Universidad César Vallejo.
- Sanchez Angel, J. C. (2009). Estudio De Las Ventajas Del “Reciclado in Situ” En Caliente De Pavimentos Flexibles. In *Universidad de la Salle*.
- Sánchez Sabogal, F. (2020). *Diseño de obras de rehabilitación para la corrección de deficiencias estructurales*.
- Solis, K., & Vallejos, J. (2019). *ESTUDIO Y EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE UBICADO EN LA AV. CHINCHAYSUYO DEL TRAMO DEL PASEO YORTUQUE EMPLEANDO EL MÉTODO PCI Y PROPUESTA DE REHABILITACION DEL PAVIMENTO FLEXIBLE*.
- Taipe Gala, A. J. (2020). Aplicación de sobrecapas asfálticas de refuerzo para la rehabilitación de pavimentos rígidos metodología AASHTO 93 en ciudad de Huancayo - 2021. In *Universidad Cesar Vallejo*. [http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez\\_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Vásquez-Varela, L. R., & García-Orozco, F. J. (2021). An overview of asphalt pavement design for streets and roads. *Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia*, 98, 10–26. <https://doi.org/10.17533/udea.redin>
- Vera, M. (2021). *Evaluación de la estructura del pavimento flexible aplicando el método índice de daño en la Av. Chinchaysuyo, Chiclayo, Lamba*. Universidad César Vallejo.

- Yaro, N. S. A., Sutanto, M. H., Baloo, L., Habib, N. Z., Usman, A., Yousafzai, A. K., Ahmad, A., Birniwa, A. H., Jagaba, A. H., & Noor, A. (2023). A Comprehensive Overview of the Utilization of Recycled Waste Materials and Technologies in Asphalt Pavements: Towards Environmental and Sustainable Low-Carbon Roads. In *Processes* (Vol. 11, Issue 7). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/pr11072095>
- Yu Chou, B. T. (1990). RELIABILITY DESIGN PROCEDURES FOR FLEXIBLE PAVEMENTS. *JOURNAL OF TRANSPORTATION ENGINEERING*, 602–614.
- Zhao, Y., Goulias, D., & Peterson, D. (2021). Recycled asphalt pavement materials in transport pavement infrastructure: Sustainability analysis & metrics. *Sustainability (Switzerland)*, 13(14). <https://doi.org/10.3390/su13148071>

# **ANEXOS**

**ANEXO I. CONTEO MANUAL DE TRAFICO EN LA VIA DOS MANGAS –  
MANGLARALTO.**



ESTACIÓN DE AJORO Nº		VIA													FECHA		DIA DE SEMANA								
HORA	LIVIANOS			BUSES			CAMIONES							DIA DE SEMANA											
	MOTOS	AUTOS	CARRONETAS	BURETA	BUS	20	20 A	200	3-A	4-C	V200	V30	V35	V35L	V35R	V35S	V35T	V35U	V35V	V35W	V35X	V35Y	V35Z		
12-1	97	40	45	2		7	12																		212
1-2	96	67	35	5		7	4																		216
2-3	70	83	32	4		5	6																		175
3-4	55	66	46	5		13	3																		185
4-5	30	65	28	2		5	3																		175
5-6																									
6-7																									
7-8																									
8-9																									
9-10																									
10-11																									
11-12																									
12-1	80	51	32	3		4	5	1																	903
																							176		
																							1139		

**ANEXO 2. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA EVALUACIÓN DE DAÑOS  
EN LA VÍA DE ESTUDIO.**

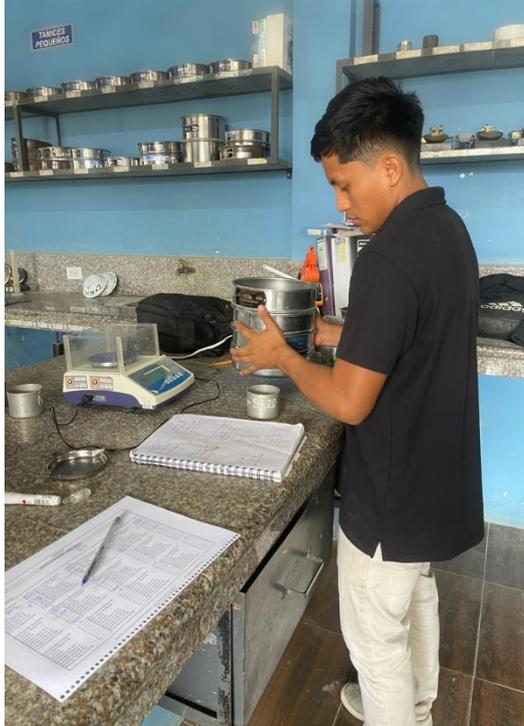




**ANEXO II. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA DEMARCACIÓN DE  
ABSCISAS.**



**ANEXO III. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADAS A LAS MUESTRAS DE SUELO.**





## ANEXO IV. REGISTRO DE LOS INFORMES OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO.

ENSAYO CBR - DENSIDADES																				
ANTES DE INMERSIÓN					DESPUÉS DE LA INMERSIÓN															
N° DE ENSAYO		1	2	3	N° DE ENSAYO		1	2	3											
TIPO	DATO	12 Golpes por capa	25 Golpes por capa	56 Golpes por capa	TIPO	DATO	12 Golpes por capa	25 Golpes por capa	56 Golpes por capa											
HUMEDAD	N° recipiente	IA	IL	IG	HUMEDAD	N° recipiente	JL	Z	R	AP	IA	CI								
	Whr			197,24 g		Whr					71,64 g	56,33 g								
	Wsr			170,71 g		Wsr					55,89 g	46,25 g								
	Ww			26,53 g		Ww					15,75 g	10,08 g								
	r			33,64 g		r					17,91 g	16,62 g								
	Ws			137,07 g		Ws					37,98 g	29,63 g								
	w(%)			19,36%		w(%)					41,47%	34,02%								
DENSIDADES	N° molde				DENSIDADES	Diámetro														
	Diámetro					Altura														
	Altura					Volumen						2,36 L								
	Volumen			2,36 L		Wh+Wmolde						6,86 Kg								
	Wh+Wmolde			10,39 Kg		W molde						4,08 Kg								
	W molde			6,06 Kg		Wh						2,96 Kg								
	Wh			3,53 Kg		w						37,74%								
	w			19,36%		yh						1495,00 Kg/m <sup>3</sup>								
	yh			1497,18 Kg/m <sup>3</sup>		Yd						1254,00 Kg/m <sup>3</sup>								
	Yd			1254,39 Kg/m <sup>3</sup>																
HINCHAMIENTO					PENETRACIÓN															
TIEMPO					A. PISTON	3,00 in <sup>2</sup>														
LECTURA INICIAL				1,21%	MEDIDA	CARGA UNITARIA EN Lb/in <sup>2</sup>				CARGA UNITARIA EN kg/cm <sup>2</sup>										
24 horas				1,39%		0,05 in	1,27 mm	16,76 lb	5,59 lb/in <sup>2</sup>	7,60 kg	0,39 kg/cm <sup>2</sup>									
48 horas				1,44%		0,10 in	2,54 mm	21,61 lb	7,20 lb/in <sup>2</sup>	9,80 kg	0,51 kg/cm <sup>2</sup>									
72 horas				1,47%		0,15 in	3,81 mm	24,03 lb	8,01 lb/in <sup>2</sup>	10,90 kg	0,56 kg/cm <sup>2</sup>									
96 horas				1,50%		0,20 in	5,08 mm	29,32 lb	9,77 lb/in <sup>2</sup>	13,30 kg	0,69 kg/cm <sup>2</sup>									
HINCHAMIENTO				5,80%		0,30 in	7,62 mm	36,38 lb	12,13 lb/in <sup>2</sup>	16,50 kg	0,85 kg/cm <sup>2</sup>									
						0,40 in	10,16 mm	42,77 lb	14,26 lb/in <sup>2</sup>	19,40 kg	1,00 kg/cm <sup>2</sup>									
						0,50 in	12,70 mm	48,50 lb	16,17 lb/in <sup>2</sup>	22,00 kg	1,14 kg/cm <sup>2</sup>									
CBR	%																			
ESIDAD SECA	%			1253																
		<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">N° golpes</th> <th colspan="2">Esfuerzo de penetración</th> </tr> <tr> <th>0,10 pulg</th> <th>0,20 pulg</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>12</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>25</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>56</td> <td>7,202</td> <td>9,774</td> </tr> </tbody> </table>			N° golpes	Esfuerzo de penetración		0,10 pulg	0,20 pulg	12			25			56	7,202	9,774		
N° golpes	Esfuerzo de penetración																			
	0,10 pulg	0,20 pulg																		
12																				
25																				
56	7,202	9,774																		
		<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">CBR</th> <th colspan="2">%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>12</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>25</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>56</td> <td>0,72</td> <td>0,65</td> </tr> </tbody> </table>			CBR	%		12			25			56	0,72	0,65				
CBR	%																			
	12																			
25																				
56	0,72	0,65																		

ENSAYO CBR - DENSIDADES

ANTES DE INMERSIÓN					DESPUÉS DE LA INMERSIÓN								
N° DE ENSAYO		1	2	3	N° DE ENSAYO		1		2		3		
TIPO	DATO	12 Golpes por capa		25 Golpes por capa	TIPO		12 Golpes por capa		25 Golpes por capa		56 Golpes por capa		
HUMEDAD	N° recipiente			IG	HUMEDAD	N° recipiente	JL	Z	R	AP	IA	CI	
	Whr			181,13 g		Whr						77,09 g	83,95 g
	Wsr			148,24 g		Wsr						58,45 g	64,98 g
	Ww			32,89 g		Ww						18,64 g	18,97 g
	r			32,93 g		r						17,27 g	16,58 g
	Ws			115,31 g		Ws						41,18 g	48,40 g
	w(%)			28,52%		w(%)						45,26%	39,19%
DENSIDADES	N° molde			5	DENSIDADES	Dímetro							
	Dímetro					Altura							
	Altura					Volumen						2,35 L	
	Volumen			2,35 L		Wh+Wmolde						9,80 Kg	
	Wh+Wmolde			9,29 Kg		W molde						6,01 Kg	
	W molde			6,01 Kg		Wh						3,79 Kg	
	Wh			3,28 Kg		w						42,23%	
	w			28,52%		yh						1613,19 Kg/m <sup>3</sup>	
	yh			1396,17 Kg/m <sup>3</sup>		Yd						1134,22 Kg/m <sup>3</sup>	
	Yd			1086,32 Kg/m <sup>3</sup>									

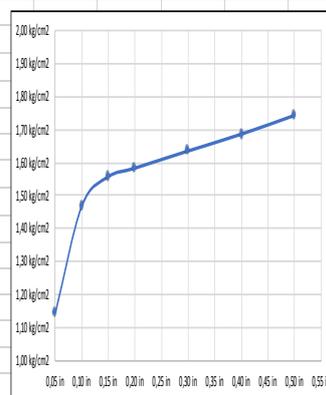
HINCHAMIENTO				
TIEMPO				
LECTURA INICIAL				0,93%
24 horas				1,16%
48 horas				1,19%
72 horas				1,20%
96 horas				1,29%
HINCHAMIENTO				7,20%

A. PISTON	3,00 in <sup>2</sup>	PENETRACIÓN				
MEDIDA	CARGA UNITARIA EN lb/in <sup>2</sup>				CARGA UNITARIA EN kg/cm <sup>2</sup>	
	0,05 in	1,27 mm	48,72 lb	16,24 lb/in <sup>2</sup>	22,10 kg	1,14 kg/cm <sup>2</sup>
0,10 in	2,54 mm	62,81 lb	20,87 lb/in <sup>2</sup>	28,40 kg	1,47 kg/cm <sup>2</sup>	
0,15 in	3,81 mm	66,36 lb	22,12 lb/in <sup>2</sup>	30,10 kg	1,56 kg/cm <sup>2</sup>	
0,20 in	5,08 mm	67,46 lb	22,49 lb/in <sup>2</sup>	30,60 kg	1,58 kg/cm <sup>2</sup>	
0,30 in	7,62 mm	69,67 lb	23,22 lb/in <sup>2</sup>	31,60 kg	1,63 kg/cm <sup>2</sup>	
0,40 in	10,16 mm	71,87 lb	23,96 lb/in <sup>2</sup>	32,60 kg	1,68 kg/cm <sup>2</sup>	
0,50 in	12,70 mm	74,30 lb	24,77 lb/in <sup>2</sup>	33,70 kg	1,74 kg/cm <sup>2</sup>	

CBR	%			
ESIDAD SECA	YS			1085

N° golpes	Esfuerzo de penetración	
	0,10 pulg	0,20 pulg
12		
25		
56	20,87	22,487

CBR	%
12	
25	
56	2,09
	1,5



ENSAYO CBR - DENSIDADES

ANTES DE INMERSIÓN					DESPUÉS DE LA INMERSIÓN								
N° DE ENSAYO		1	2	3	N° DE ENSAYO		1	2	3				
TIPO	DATO	12 Golpes por capa	25 Golpes por capa	56 Golpes por capa	TIPO	DATO	12 Golpes por capa	25 Golpes por capa	56 Golpes por capa				
HUMEDAD	N° recipiente			IG	HUMEDAD	N° recipiente	JL	Z	R	AP	IA	CI	
	Whr			183,49 g		Whr						66,81 g	72,94 g
	Wsr			153,71 g		Wsr						53,10 g	58,06 g
	Ww			29,78 g		Ww						13,71 g	14,86 g
	r			53,67 g		r						18,28 g	16,76 g
	Ws			100,04 g		Ws						34,82 g	41,30 g
	w(%)			29,77%		w(%)						39,37%	36,03%
DENSIDADES	N° molde			5	DENSIDADES	Diámetro							
	Diámetro					Altura							
	Altura					Volumen						2,37 L	
	Volumen			2,36 L		Wh+Wmolde						11,20 Kg	
	Wh+Wmolde			10,56 Kg		Wmolde						6,52 Kg	
	Wmolde			6,52 Kg		Wh						4,68 Kg	
	Wh			4,04 Kg		w						37,70%	
	w			29,77%		yh						1978,04 Kg/m <sup>3</sup>	
	yh			1710,66 Kg/m <sup>3</sup>		Yd						1436,47 Kg/m <sup>3</sup>	
	Yd			1318,24 Kg/m <sup>3</sup>									

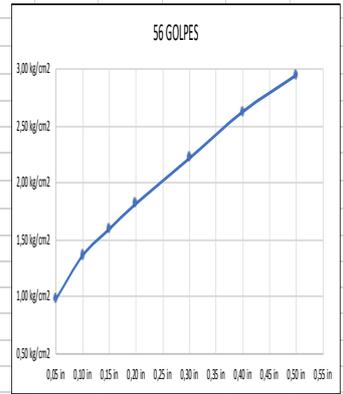
HINCHAMIENTO				
TIEMPO				
LECTURA INICIAL				1,66%
24 horas				3,40%
48 horas				4,05%
72 horas				4,35%
HINCHAMIENTO				53,80%

A. PISTON	3,00 in <sup>2</sup>	PENETRACIÓN				
MEDIDA	CARGA UNITARIA EN lb/in <sup>2</sup>				CARGA UNITARIA EN kg/cm <sup>2</sup>	
	0,05 in	1,27 mm	41,67 lb	19,89 lb/in <sup>2</sup>	18,90 kg	0,98 kg/cm <sup>2</sup>
0,10 in	2,54 mm	57,98 lb	19,33 lb/in <sup>2</sup>	26,30 kg	1,36 kg/cm <sup>2</sup>	
0,15 in	3,81 mm	67,90 lb	22,63 lb/in <sup>2</sup>	30,80 kg	1,59 kg/cm <sup>2</sup>	
0,20 in	5,08 mm	77,38 lb	25,79 lb/in <sup>2</sup>	35,10 kg	1,81 kg/cm <sup>2</sup>	
0,30 in	7,62 mm	94,36 lb	31,45 lb/in <sup>2</sup>	42,80 kg	2,21 kg/cm <sup>2</sup>	
0,40 in	10,16 mm	111,77 lb	37,26 lb/in <sup>2</sup>	50,70 kg	2,62 kg/cm <sup>2</sup>	
0,50 in	12,70 mm	125,44 lb	41,61 lb/in <sup>2</sup>	56,90 kg	2,94 kg/cm <sup>2</sup>	

CBR	%			
ESIDAD SECA	Ys			1318

N° golpes	Esfuerzo de penetración	
	0,10 pulg	0,20 pulg
12		
25		
56	19,327	25,794

CBR	%
12	
25	
56	1,93
	1,72



**ENSAYO CBR - DENSIDADES**

ANTES DE INMERSIÓN					DESPUÉS DE LA INMERSIÓN					
N° DE ENSAYO		1	2	3	N° DE ENSAYO		1	2	3	
TIPO	DATO	12 Golpes por capa	25 Golpes por capa	56 Golpes por capa	TIPO	DATO	12 Golpes por capa	25 Golpes por capa	56 Golpes por capa	
HUMEDAD	N° recipiente			IG	HUMEDAD	N° recipiente			IA CI	
	Whr			211,08 g		Whr			79,41 g	70,17 g
	Wsr			170,90 g		Wsr			59,08 g	56,12 g
	Ww			40,18 g		Ww			20,33 g	14,05 g
	r			54,20 g		r			16,91 g	18,34 g
	Ws			116,70 g		Ws			42,17 g	37,78 g
	w(%)			34,43%		w(%)			48,21%	37,19%
DENSIDADES	N° molde			5	DENSIDADES	Díametro				
	Díametro					Altura				
	Altura					Volumen				2,34 L
	Volumen			2,34 L		Wh+Wmolde				9,92 Kg
	Wh+Wmolde			9,72 Kg		Wmolde				5,83 Kg
	Wmolde			5,83 Kg		Wh				4,09 Kg
	Wh			3,89 Kg		w				42,70%
	w			34,43%		yh				1745,52 Kg/m <sup>3</sup>
	yh			1660,12 Kg/m <sup>3</sup>		Yd				1223,21 Kg/m <sup>3</sup>
	Yd			1234,93 Kg/m <sup>3</sup>						

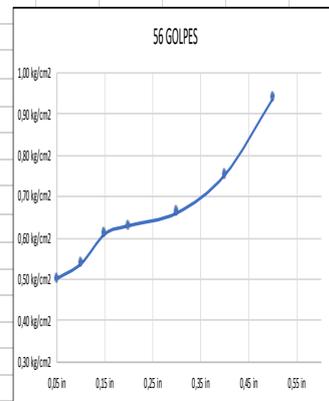
HINCHAMIENTO				
TIEMPO				
LECTURA INICIAL				1,92%
24 horas				2,26%
48 horas				2,49%
72 horas				2,58%
96				2,62%
HINCHAMIENTO				14,00%

A. PISTON		PENETRACIÓN			
MEDIDA		CARGA UNITARIA EN lb/in <sup>2</sup>		CARGA UNITARIA EN kg/cm <sup>2</sup>	
0,05 in	1,27 mm	21,38 lb	7,13 lb/in <sup>2</sup>	9,70 kg	0,50 kg/cm <sup>2</sup>
0,10 in	2,54 mm	22,93 lb	7,64 lb/in <sup>2</sup>	10,40 kg	0,54 kg/cm <sup>2</sup>
0,15 in	3,81 mm	26,01 lb	8,67 lb/in <sup>2</sup>	11,80 kg	0,61 kg/cm <sup>2</sup>
0,20 in	5,08 mm	26,90 lb	8,97 lb/in <sup>2</sup>	12,20 kg	0,63 kg/cm <sup>2</sup>
0,30 in	7,62 mm	28,22 lb	9,41 lb/in <sup>2</sup>	12,80 kg	0,66 kg/cm <sup>2</sup>
0,40 in	10,16 mm	32,19 lb	10,73 lb/in <sup>2</sup>	14,60 kg	0,75 kg/cm <sup>2</sup>
0,50 in	12,70 mm	40,12 lb	13,37 lb/in <sup>2</sup>	18,20 kg	0,94 kg/cm <sup>2</sup>

CBR	%			
ESIDAD SECA	YS			1235

N° golpes	Esfuerzo de penetración	
	0,10 pulg	0,20 pulg
12		
25		
56	7,643	8,965

CBR	%	
12		
25		
56	0,76	0,6



ENSAYO CBR - DENSIDADES

ANTES DE INMERSIÓN					DESPUÉS DE LA INMERSIÓN								
N° DE ENSAYO		1	2	3	N° DE ENSAYO		1	2	3				
TIPO	DATO	12 Golpes por capa	25 Golpes por capa	56 Golpes por capa	TIPO	DATO	12 Golpes por capa	25 Golpes por capa	56 Golpes por capa				
HUMEDAD	N° recipiente	IA	IL	IG	HUMEDAD	N° recipiente	IL	Z	R	AP	IA	CI	
	W <sub>hr</sub>			168,17 g		W <sub>hr</sub>						69,68 g	81,87 g
	W <sub>sr</sub>			140,17 g		W <sub>sr</sub>						54,72 g	64,04 g
	W <sub>w</sub>			28,00 g		W <sub>w</sub>						14,96 g	17,83 g
	r			33,81 g		r						16,26 g	18,17 g
	W <sub>s</sub>			106,36 g		W <sub>s</sub>						38,46 g	45,87 g
	w (%)			26,33%		w (%)						38,90%	38,87%
DENSIDADES	N° molde			5	DENSIDADES								
	Diámetro												
	Altura												
	Volumen			2,34 l								2,34 l	
	W <sub>h</sub> -W <sub>molde</sub>			10,34 Kg								10,90 Kg	
	W <sub>molde</sub>			6,92 Kg								6,92 Kg	
	W <sub>h</sub>			3,42 Kg								3,98 Kg	
	w			26,33%								38,88%	
	y <sub>h</sub>			1460,29 Kg/m <sup>3</sup>								1699,31 Kg/m <sup>3</sup>	
	Y <sub>d</sub>			1156,05 Kg/m <sup>3</sup>								1223,55 Kg/m <sup>3</sup>	

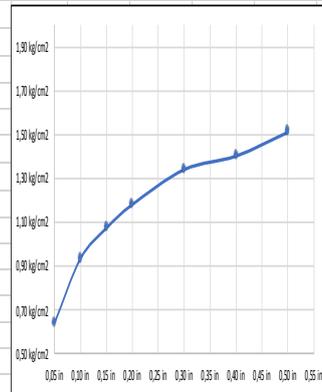
HINCHAMIENTO				
TIEMPO				
LECTURA INICIAL				0,29%
24 horas				0,55%
48 horas				0,57%
72 horas				0,63%
HINCHAMIENTO				6,80%

A. PISTON	3,00 in <sup>2</sup>	PENETRACIÓN				
MEDIDA	CARGA UNITARIA EN lb/in <sup>2</sup>				CARGA UNITARIA EN kg/cm <sup>2</sup>	
	0,05 in	1,27 mm	27,34 lb		9,11 lb/in <sup>2</sup>	12,40 kg
0,10 in	2,54 mm	39,53 lb		13,31 lb/in <sup>2</sup>	18,11 kg	0,94 kg/cm <sup>2</sup>
0,15 in	3,81 mm	45,86 lb		15,29 lb/in <sup>2</sup>	20,80 kg	1,08 kg/cm <sup>2</sup>
0,20 in	5,08 mm	50,49 lb		16,83 lb/in <sup>2</sup>	22,90 kg	1,18 kg/cm <sup>2</sup>
0,30 in	7,62 mm	57,32 lb		19,11 lb/in <sup>2</sup>	26,00 kg	1,34 kg/cm <sup>2</sup>
0,40 in	10,16 mm	59,97 lb		19,99 lb/in <sup>2</sup>	27,20 kg	1,41 kg/cm <sup>2</sup>
0,50 in	12,70 mm	64,60 lb		21,53 lb/in <sup>2</sup>	29,30 kg	1,51 kg/cm <sup>2</sup>

CBR	%			
DENSIDAD SECA	Y <sub>s</sub>			1156

N° golpes	Esfuerzo de penetración	
	0,10 pulg	0,20 pulg
12		
25		
56	13,309	16,829

CBR	%
12	
25	
56	1,33
	1,12



**ENSAYO CBR - DENSIDADES**

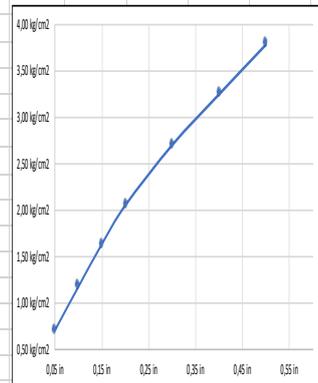
ANTES DE INMERSIÓN					DESPUÉS DE LA INMERSIÓN							
N° DE ENSAYO		1	2	3	N° DE ENSAYO		1	2	3			
TIPO	DATO	12 Golpes por capa	25 Golpes por capa	56 Golpes por capa	TIPO	DATO	12 Golpes por capa	25 Golpes por capa	56 Golpes por capa			
HUMEDAD	N° recipiente	IA	IL	IG	HUMEDAD	N° recipiente	IL	Z	R	AP	IA	CI
	Whr			159,58 g		Whr					88,64 g	69,06 g
	Wsr			134,06 g		Wsr					64,36 g	56,73 g
	Ww			25,52 g		Ww					24,28 g	12,33 g
	r			34,43 g		r					18,16 g	16,57 g
	Ws			99,63 g		Ws					46,20 g	40,16 g
	w (%)			25,61%		w (%)					52,55%	30,70%
N° molde			XIII	PROMEDIO						41,63 cm		
Molde + Suelo humedo (P)			10,22	Wh+Wmolde						10,98 Kg		
Molde			6,67	Wmolde						6,67 Kg		
Suelo humedo (P)			3,55	Wh						4,31 Kg		
Suelo seco (Ws)			2,83	w						41,63%		
Contenido de Agua (w)			25,61	yh						1832,00 kg/m3		
Densidad humeda (H)			1508,00	Yd						1294,00 kg/m3		
Densidad seca (S)			1201,00									

HINCHAMIENTO				
TIEMPO			DIAL	%
LECTURA INICIAL			0,12 in	0,95%
24 horas			0,21 in	1,05%
48 horas			0,28 in	1,08%
72 horas			0,33 in	1,15%
HINCHAMIENTO				4%
CBR	%			
ESIDAD SECA	%			1201

A. PISTON		PENETRACIÓN			
MEDIDA		CARGA UNITARIA EN Lb/in <sup>2</sup>		CARGA UNITARIA EN kg/cm <sup>2</sup>	
0,05 in	1,27 mm	29,98 lb	9,90 lb/in <sup>2</sup>	13,6 kg	0,70 kg/cm <sup>2</sup>
0,10 in	2,54 mm	50,04 lb	16,68 lb/in <sup>2</sup>	22,7 kg	1,17 kg/cm <sup>2</sup>
0,15 in	3,81 mm	69,67 lb	23,22 lb/in <sup>2</sup>	31,6 kg	1,63 kg/cm <sup>2</sup>
0,20 in	5,08 mm	87,52 lb	29,17 lb/in <sup>2</sup>	39,7 kg	2,05 kg/cm <sup>2</sup>
0,30 in	7,62 mm	115,3 lb	38,43 lb/in <sup>2</sup>	52,3 kg	2,70 kg/cm <sup>2</sup>
0,40 in	10,16 mm	138,67 lb	46,22 lb/in <sup>2</sup>	62,9 kg	3,25 kg/cm <sup>2</sup>
0,50 in	12,70 mm	161,6 lb	53,87 lb/in <sup>2</sup>	73,3 kg	3,79 kg/cm <sup>2</sup>

N° golpes	Esfuerzo de penetración	
	0,10 pulg	0,20 pulg
12		
25		
56	16,682	29,175

CBR	%	
12		
25		
56	1,67	1,94

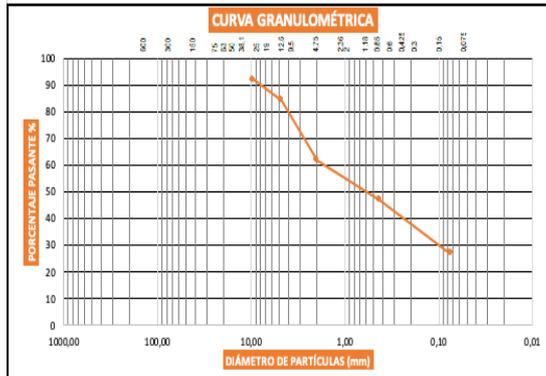


**INFORME DE RESULTADOS: DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE SUELOS NORMA ASTM D-422**

ENSAYO CONTENIDO DE HUMEDAD	SERIE GRUESA	SERIE FINA
Recipiente N°	Rt	
Masa de Recipiente + Muestra Húmeda (P1)	197,24	
Masa de Recipiente + Muestra Seca (P2)	170,71	
Masa de Agua (P3 = P1 - P2)	26,53	
Masa del Recipiente (P4)	33,64	
Masa de Muestra Seca (P5 = P2 - P4)	137,07	
% de Humedad (W = P3 × 100 ÷ P5)	19,36	

SERIE GRUESA			
Tamiz ASTM Abertura / N°	MASA RETENIDA		% PASANTE ACUMULADO
	PARCIAL	ACUMULADA	
600,00	24"		
300,00	12"		
150,00	3.5"		
75,00	3"		
63,00	2.5"		
50,00	2"		
38,10	1.5"		
25,00	1"		
19,00	3/4"		
12,50	1/2"		
9,50	3/8"	8,24	8,240
4,75	No. 4	7,98	16,220
PASA No. 4			84,330

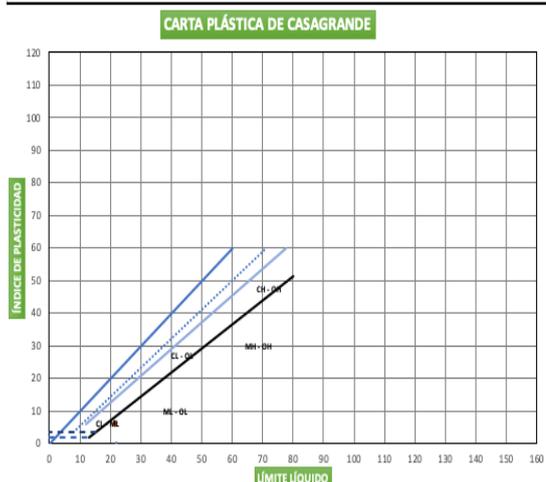
SERIE FINA				
Tamiz ASTM Abertura / N°	MASA RETENIDA		% PASANTE ACUMULADO	% PASANTE CORREGIDO
	PARCIAL	ACUMULADA		
2,360	No. 8			
2,000	No. 10	11,2	27,420	73,51
1,180	No. 16			61,991
0,850	No. 20			
0,600	No. 30			
0,425	No. 40	18,32	45,740	55,81
0,300	No. 50			47,065
0,150	No. 100			
0,075	No. 200	24,5	70,240	32,14
PASA EL No. 200				27,105
MASA INICIAL DEL MATERIAL PARA LAVADO			300	gr
MASA FINAL CORREGIDA POR HUMEDAD DE LOS FINOS			300,00	gr
MASA SECA TOTAL DEL MATERIAL USADO			103,510	gr



LL	LP	IP	TIPO DE SUELO FINO	P
22	16	6	C	L

Distribución del Tamaño de las Partículas (%)			
Pedrón Rodado (>12")		100	
Canto Rodado (12"-3")		0	
GRAVA	Gruesa (3"-3/4")	0,000	-84,330
	Fina (3/4"-N#4)	-84,330	
ARENA	Gruesa (N#4-N#10)	22,339	57,225
	Mediana (N#10-N#40)	14,925	
	Fina (N#40-N#200)	19,960	
Finos (>N#200)		27,105	

CONDICIONES DE FILTRO			
D15=	0,015		
D30=	0,036		
D60=	10,452	CU=	685,355
D50=	0,22	CC=	0,008
CU>=4		CU>=6 OK	
1<=CC<=3		1<=CC<=3 NO	
GRAVA		ARENA	



NOMINACIÓN DEL SUELO (S.U.C.S)				
TP	TPS	<5	5<=x<=12	>12
GRUESO	ARENA			C
SUELO	GRUESO	S	C	-

CLASIFICACIÓN AASHTO						
T200	LL	IP	a	b	c	d
27,105	22	6	-8	12	-18	-4
CORREGIDO		0	12	0	0	0

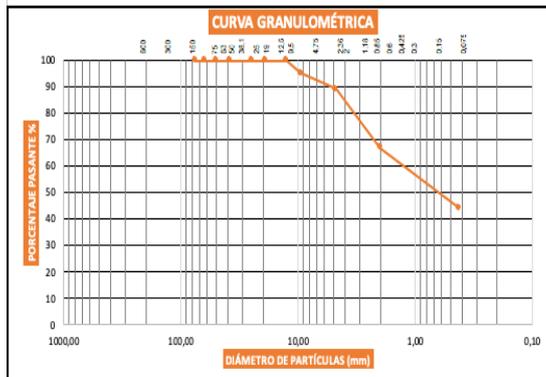
	D (mm)	%		
				D15
	D2	0,43	47,065	
D30	D1	9,50	92,039	0,036
	D2	4,75	84,330	
D60	D1	12,50	0,000	10,452
	D2	9,50	92,039	
D50	D1	9,50	92,039	0,217
	D2	4,75	84,330	

INFORME DE RESULTADOS: DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE SUELOS NORMA ASTM D-422

ENSAYO CONTENIDO DE HUMEDAD	SERE GRUESA	SERIE FINA
Recipiente N°	DC3	
Masa de Recipiente + Muestra Húmeda (P1)	159,58	
Masa de Recipiente + Muestra Seca (P2)	134,06	
Masa de Agua (P3 = P1 - P2)	25,52	
Masa del Recipiente (P4)	34,43	
Masa de Muestra Seca (P5 = P2 - P4)	99,63	
% de Humedad (W = P3 × 100 ÷ P5)	25,61	

SERIE GRUESA				
Tamiz ASTM	Abertura / N°.	MASA RETENIDA		% PASANTE
		PARCIAL	ACUMULADA	ACUMULADO
600,00	24"		0,000	100
300,00	12"		0,000	100
150,00	3.5"		0,000	100
75,00	3"		0,000	100
63,00	2.5"		0,000	100
50,00	2"	0	0,000	100,000
38,10	1.5"	0	0,000	100,000
25,00	1"	0	0,000	100,000
19,00	3/4"	0	0,000	100,000
12,50	1/2"	0	0,000	100,000
9,50	3/8"	4,43	3,527	95,161
4,75	No. 4	5,56	7,953	89,088
PASA No. 4				

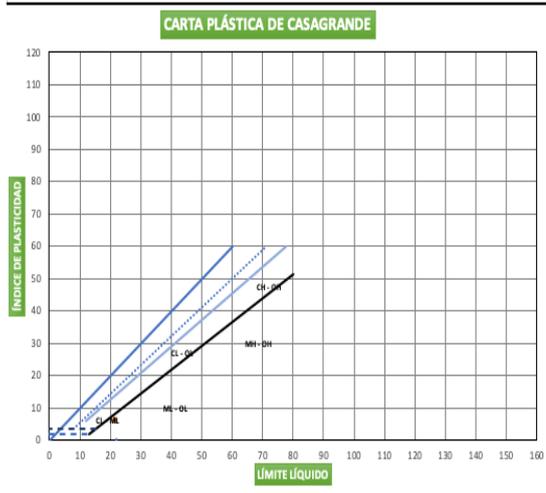
SERIE FINA				
Tamiz ASTM	Abertura / N°.	MASA RETENIDA		% PASANTE
		PARCIAL	ACUMULADA	ACUMULADO
2,360	No. 8			
2,000	No. 10	3,94	11,893	83,68
1,180	No. 16			
0,850	No. 20			
0,600	No. 30			
0,425	No. 40	6,21	18,103	75,16
0,300	No. 50			
0,150	No. 100			
0,075	No. 200	18,63	36,733	49,60
PASA EL No. 200				
MASA INICIAL DEL MATERIAL PARA LAVADO				300 gr
MASA FINAL CORREGIDA POR HUMEDAD DE LOS FINOS				300,00 gr
MASA SECA TOTAL DEL MATERIAL USADO				72,880 gr



LL	LP	IP	TIPO DE SUELO FINO	P
22	16	6	C	L

Distribución del Tamaño de las Partículas (%)			
Pedregón Rodado (>12")			0
Canto Rodado (12"-3")			0
GRAVA	Gruesa (3")	0,000	10,912
	Fina (3/4"-N#4)	10,912	
ARENA	Gruesa (N#4-N#10)	89,088	44,902
	Media (N#10-N#40)	-66,959	
	Fina (N#40-N#200)	22,773	
Finos (>N#200)			44,186

CONDICIONES DE FILTRO			
D15=	1,414		
D30=	0,006		
D60=	1,293	CU=	0,915
D50=	0,05	CC=	0,000
CU>=4		CU=6	NO
1<=CC<=3		1<=CC<=3	NO
GRAVA		ARENA	



NOMINACIÓN DEL SUELO (S.U.C.S)				
TP	TPS	<S	5<=x<=12	>12
GRUESO	ARENA			C

SUELO	GRUESO	S	C	-	

CLASIFICACIÓN AASHTO							
T200	LL	IP	a	b	c	d	
44,186	22	6	9	29	-18	-4	IG
	CORREGIDO		9	29	0	0	2

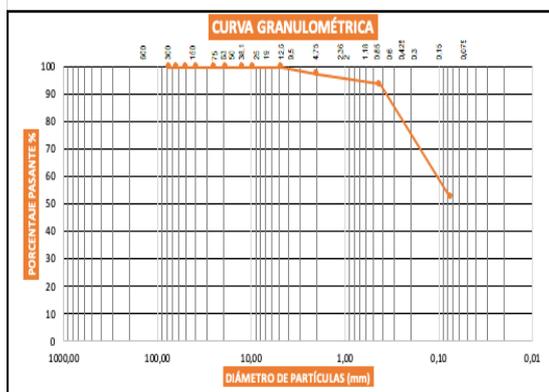
		D (mm)		%	
D15	D1	2,00	0,000	1,414	
	D2	0,43	66,959		
D30	D1	9,50	95,161	0,006	
	D2	4,75	89,088		
D60	D1	12,50	100,000	1,293	
	D2	9,50	95,161		
D50	D1	9,50	95,161	0,055	
	D2	4,75	89,088		

INFORME DE RESULTADOS: DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE SUELOS NORMA ASTM D-422

ENSAYO CONTENIDO DE HUMEDAD	SERE GRUESA	SERIE FINA
Recipiente N°	B	
Masa de Recipiente + Muestra Húmeda (P1)	168,17	
Masa de Recipiente + Muestra Seca (P2)	140,17	
Masa de Agua (P3 = P1 - P2)	28,00	
Masa del Recipiente (P4)	33,81	
Masa de Muestra Seca (P5 = P2 - P4)	106,36	
% de Humedad (W = P3 × 100 + P5)	26,33	

SERIE GRUESA			
Tamiz ASTM Abertura / N°	MASA RETENIDA		% PASANTE ACUMULADO
	PARCIAL	ACUMULADA	
600,00 24"		0,000	100
300,00 12"		0,000	100
150,00 3.5"		0,000	100
75,00 3"		0,000	100
63,00 2.5"		0,000	100
50,00 2"	0	0,000	100,000
38,10 1.5"	0	0,000	100,000
25,00 1"	0	0,000	100,000
19,00 3/4"	0	0,000	100,000
12,50 1/2"	0	0,000	100,000
9,50 3/8"	0	0,000	100,000
4,75 No. 4	0,12	0,095	99,852
PASA No. 4			

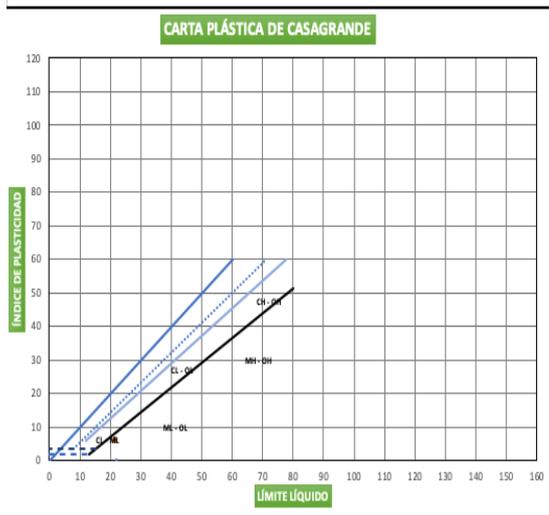
SERIE FINA				
Tamiz ASTM Abertura / N°	MASA RETENIDA		% PASANTE ACUMULADO	% PASANTE CORREGIDO
	PARCIAL	ACUMULADA		
2,360 No. 8				
2,000 No. 10	1,5	1,595	97,52	97,371
1,180 No. 16				
0,850 No. 20				
0,600 No. 30				
0,425 No. 40	2,4	3,995	93,78	93,639
0,300 No. 50				
0,150 No. 100				
0,075 No. 200	26,53	30,525	52,45	52,376
PASA EL No. 200				
MASA INICIAL DEL MATERIAL PARA LAVADO			300 gr	
MASA FINAL CORREGIDA POR HUMEDAD DE LOS FINOS			300,00 gr	
MASA SECA TOTAL DEL MATERIAL USADO			64,200 gr	



LL	LP	IP	TIPO DE SUELO FINO	P
22	16	6	C	L

Distribución del Tamaño de las Partículas (%)			
Pedregón Rodado (>12")			0
Canto Rodado (12"-3")			0
GRAVA	Gruesa (3"-3/4")	0,000	0,148
	Fina (3/4"-#84)	0,148	
ARENA	Gruesa (#4-N#10)	99,852	47,476
	Mediana (#10-N#40)	-93,639	
	Fina (N#40-N#200)	41,263	
Finos (>N#200)			52,376

CONDICIONES DE FILTRO			
D15=	1,561		
D30=	0,000		
D60=	#DIV/0!	CU=	#DIV/0!
D50=	0,00	CC=	#DIV/0!
CU=4		CU>=6	#DIV/0!
1<=CC<=3		1<=CC<=3	#DIV/0!
GRAVA		ARENA	



NOMINACIÓN DEL SUELO (S.U.C.S)				
TP	TPS	<5	5<=x<=12	>12
FINO	c			

SUELO	CL				
-------	----	--	--	--	--

CLASIFICACIÓN AASHTO						
T200	LL	IP	a	b	c	d
52,376	22	6	17	37	-18	-4
	CORREGIDO		17	37	0	0
						3

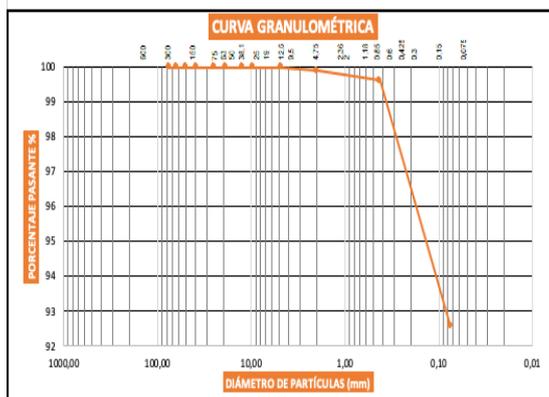
	D (mm)	%		
D15	D1	2,00	0,000	1,561
	D2	0,43	93,639	
D30	D1	9,50	100,000	0,000
	D2	4,75	99,852	
D60	D1	12,50	100,000	#DIV/0!
	D2	9,50	100,000	
D50	D1	9,50	100,000	0,000
	D2	4,75	99,852	

INFORME DE RESULTADOS: DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE SUELOS NORMA ASTM D-422

ENSAYO CONTENIDO DE HUMEDAD	SERIE GRUESA	SERIE FINA
Recipiente N°	X2	
Masa de Recipiente + Muestra Húmeda (P1)	211,08	
Masa de Recipiente + Muestra Seca (P2)	170,90	
Masa de Agua (P3 = P1 - P2)	40,18	
Masa del Recipiente (P4)	54,20	
Masa de Muestra Seca (P5 = P2 - P4)	116,70	
% de Humedad (W = P3 × 100 + P5)	34,43	

SERIE GRUESA			
Tamiz ASTM Abertura / N°.	MASA RETENIDA		% PASANTE ACUMULADO
	PARCIAL	ACUMULADA	
600,00 24"		0,000	100
300,00 12"		0,000	100
150,00 3.5"		0,000	100
75,00 3"		0,000	100
63,00 2.5"		0,000	100
50,00 2"	0	0,000	100,000
38,10 1.5"	0	0,000	100,000
25,00 1"	0	0,000	100,000
19,00 3/4"	0	0,000	100,000
12,50 1/2"	0	0,000	100,000
9,50 3/8"	0	0,000	100,000
4,75 No. 4	0	0,000	100,000
PASA No. 4			

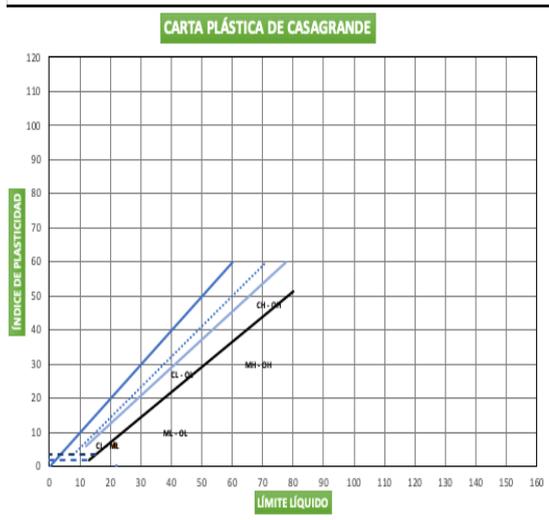
SERIE FINA				
Tamiz ASTM Abertura / N°.	MASA RETENIDA		% PASANTE ACUMULADO	% PASANTE CORREGIDO
	PARCIAL	ACUMULADA		
2,360 No. 8				
2,000 No. 10	0,06	0,06	99,90	99,897
1,180 No. 16				
0,850 No. 20				
0,600 No. 30				
0,425 No. 40	0,17	0,23	99,61	99,607
0,300 No. 50				
0,150 No. 100				
0,075 No. 200	4,11	4,34	92,58	92,576
PASA EL No. 200				
MASA INICIAL DEL MATERIAL PARA LAVADO			300 gr	
MASA FINAL CORREGIDA POR HUMEDAD DE LOS FINOS			300,00 gr	
MASA SECA TOTAL DEL MATERIAL USADO			58,460 gr	



LL	LP	IP	TIPO DE SUELO FINO	P
22	16	6	C	L

Distribución del Tamaño de las Partículas (%)			
Pedrón Rodado (>12")			0
Canto Rodado (12"-3")			0
GRAVA	Gruesa (3"-3/4")	0,000	0,000
	Fina (3/4"-N#4)	0,000	
ARENA	Gruesa (N#4-N#10)	0,103	7,424
	Media (N#10-N#40)	0,291	
	Fina (N#40-N#200)	7,030	
Finos (>N#200)			92,576

CONDICIONES DE FILTRO			
D15=	0,000		
D30=	#DIV/0!		
D60=	#DIV/0!	CU=	#DIV/0!
D50=	#DIV/0!	CC=	#DIV/0!
CU=4		CU>=6	#DIV/0!
1<=CC<=3		1<=CC<=3	#DIV/0!
GRAVA		ARENA	



NOMINACIÓN DEL SUELO (S.U.C.S)				
TP	TPS	<5	5<=x<=12	>12
FINO	c			

CLASIFICACIÓN AASHTO						
T200	LL	IP	a	b	c	d
92,576	22	6	58	78	-18	-4
						IG
						8

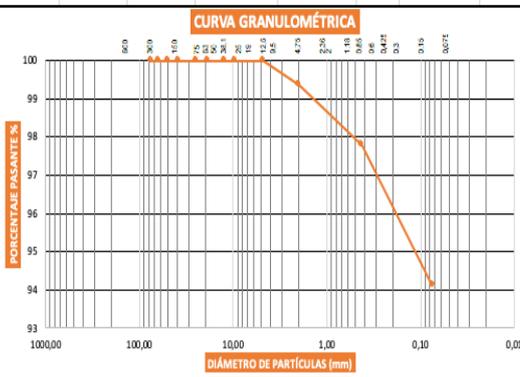
	D (mm)	%	
D15	D1	2,00	99,897
	D2	0,43	99,607
D30	D1	9,50	100,000
	D2	4,75	100,000
D60	D1	12,50	100,000
	D2	9,50	100,000
D50	D1	9,50	100,000
	D2	4,75	100,000

INFORME DE RESULTADOS: DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE SUELOS NORMA ASTM D-422

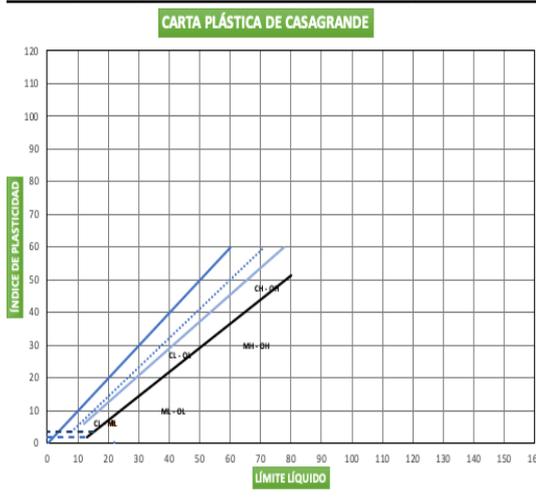
ENSAYO CONTENIDO DE HUMEDAD	SERE GRUESA	SERE FINA
Recipiente N°	5	
Masa de Recipiente + Muestra Húmeda (P1)	183,49	
Masa de Recipiente + Muestra Seca (P2)	153,71	
Masa de Agua (P3 = P1 - P2)	29,78	
Masa del Recipiente (P4)	53,67	
Masa de Muestra Seca (P5 = P2 - P4)	100,04	
% de Humedad (W = P3 x 100 + P5)	29,77	

Tamiz ASTM Abertura / N°.	MASA RETENIDA		% PASANTE ACUMULADO
	PARCIAL	ACUMULADA	
600,00 24"		0,000	100
300,00 12"		0,000	100
150,00 3.5"		0,000	100
75,00 3"		0,000	100
63,00 2.5"		0,000	100
50,00 2"	0	0,000	100,000
38,10 1.5"	0	0,000	100,000
25,00 1"	0	0,000	100,000
19,00 3/4"	0	0,000	100,000
12,50 1/2"	0	0,000	100,000
9,50 3/8"	0	0,000	100,000
4,75 No. 4	0	0,000	100,000
PASA No. 4			

Tamiz ASTM Abertura / N°.	MASA RETENIDA		% PASANTE ACUMULADO	% PASANTE CORREGIDO
	PARCIAL	ACUMULADA		
2,360 No. 8				
2,000 No. 10	0,36	0,36	99,37	99,368
1,180 No. 16				
0,850 No. 20				
0,600 No. 30				
0,425 No. 40	0,9	1,26	97,79	97,787
0,300 No. 50				
0,150 No. 100				
0,075 No. 200	2,09	3,35	94,12	94,116
PASA EL No. 200				
MASA INICIAL DEL MATERIAL PARA LAVADO			300 gr	
MASA FINAL CORREGIDA POR HUMEDAD DE LOS FINOS			300,00 gr	
MASA SECA TOTAL DEL MATERIAL USADO			56,930 gr	



LL	LP	IP	TIPO DE SUELO FINO	P
22	16	6	C	L



Distribución del Tamaño de las Partículas (%)			
Pedregón Rodado (>12")			0
Canto Rodado (12"-3")			0
GRAVA	Gruesa (3/4")	0,000	0,000
	Fina (3/4"-N#4)	0,000	
ARENA	Gruesa (N#4-N#10)	0,632	5,884
	Mediana (N#10-N#40)	1,581	
	Fina (N#40-N#200)	3,671	
Finos (> N#200)			94,116

CONDICIONES DE FILTRO			
D15=	0,000		
D30=	#DIV/0!		
D60=	#DIV/0!	CU=	#DIV/0!
D50=	#DIV/0!	CC=	#DIV/0!
CU>=4		CU>=6	#DIV/0!
1<=CC<=3		1<=CC<=3	#DIV/0!
GRAVA		ARENA	

NOMINACIÓN DEL SUELO (S.U.C.S)				
TP	TPS	<5	5<=x<=12	>12
FINO	c			
SUELO	CL			

CLASIFICACIÓN AASHTO						
T200	LL	IP	a	b	c	d
94,116	22	6	59	79	-18	-4
			CORREGIDO	40	40	0
						8

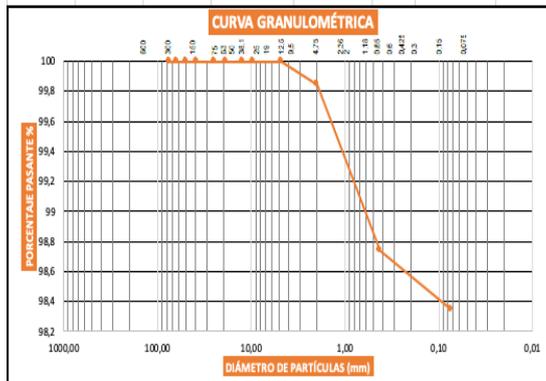
	D (mm)	%		
		D	%	
D15	D1	2,00	99,368	0,000
	D2	0,43	97,787	
D30	D1	9,50	100,000	#DIV/0!
	D2	4,75	100,000	
D60	D1	12,50	100,000	#DIV/0!
	D2	9,50	100,000	
D50	D1	9,50	100,000	#DIV/0!
	D2	4,75	100,000	

INFORME DE RESULTADOS: DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE SUELOS NORMA ASTM D-422

ENSAYO CONTENIDO DE HUMEDAD	SERIE GRUESA	SERIE FINA
Recipiente Nº	K	
Masa de Recipiente + Muestra Húmeda (P1)	181,13	
Masa de Recipiente + Muestra Seca (P2)	148,24	
Masa de Agua (P3 = P1 - P2)	32,89	
Masa del Recipiente (P4)	32,93	
Masa de Muestra Seca (P5 = P2 - P4)	115,31	
% de Humedad (W = P3 x 100 + P5)	28,52	

Tamiz ASTM Abertura / Nº.	MASA RETENIDA		% PASANTE ACUMULADO
	PARCIAL	ACUMULADA	
600,00 24"		0,000	100
300,00 12"		0,000	100
150,00 3,5"		0,000	100
75,00 3"		0,000	100
63,00 2,5"		0,000	100
50,00 2"	0	0,000	100,000
38,10 1,5"	0	0,000	100,000
25,00 1"	0	0,000	100,000
19,00 3/4"	0	0,000	100,000
12,50 1/2"	0	0,000	100,000
9,50 3/8"	0	0,000	100,000
4,75 No. 4	0	0,000	100,000
PASA No. 4			

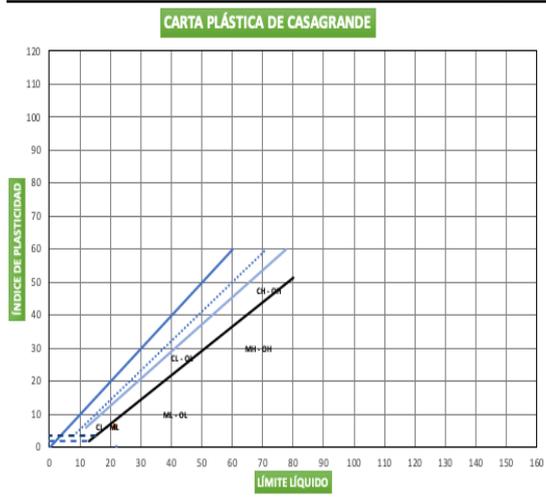
Tamiz ASTM Abertura / Nº.	MASA RETENIDA		% PASANTE ACUMULADO	% PASANTE CORREGIDO
	PARCIAL	ACUMULADA		
2,360 No. 8				
2,000 No. 10	0,47	0,47	99,84	99,843
1,180 No. 16				
0,850 No. 20				
0,600 No. 30				
0,425 No. 40	3,31	3,78	98,74	98,740
0,300 No. 50				
0,150 No. 100				
0,075 No. 200	1,17	4,95	98,35	98,350
PASA EL No. 200				
MASA INICIAL DEL MATERIAL PARA LAVADO			300 gr	
MASA FINAL CORREGIDA POR HUMEDAD DE LOS FINOS			300,00 gr	
MASA SECA TOTAL DEL MATERIAL USADO			55,570 gr	



LL	LP	IP	TIPO DE SUELO FINO	P
22	16	6	C	L

Distribución del Tamaño de las Partículas (%)			
Pedrón Rodado (>12")		0	
Canto Rodado (12"-3")		0	
GRAVA	Gruesa (3"-3/4")	0,000	0,000
	Fina (3/4"-Nº4)	0,000	
ARENA	Gruesa (Nº4-Nº10)	0,157	1,650
	Meda (Nº10-Nº40)	1,103	
	Fina (Nº40-Nº200)	0,390	
Finos (> Nº200)		98,350	

CONDICIONES DE FILTRO			
D15=	0,000		
D30=	#DIV/0!		
D60=	#DIV/0!	CU=	#DIV/0!
D50=	#DIV/0!	CC=	#DIV/0!
CU>=4		CU>=6	#DIV/0!
1<=CC<=3		1<=CC<=3	#DIV/0!
GRAVA		ARENA	



NOMINACIÓN DEL SUELO (S.U.C.S)			
TP	TPS	<5	5<=x<=12
FINO	c		>12

SUELO	cl			
-------	----	--	--	--

CLASIFICACIÓN AASHTO						
T200	LL	IP	a	b	c	d
98,350	22	6	63	83	-18	-4
	CORREGIDO		40	40	0	0
						8

D15	D1	D (mm)		%
		D (mm)	%	
D15	D1	2,00	99,843	0,000
	D2	0,43	98,740	
D30	D1	9,50	100,000	#DIV/0!
	D2	4,75	100,000	
D60	D1	12,50	100,000	#DIV/0!
	D2	9,50	100,000	
D50	D1	9,50	100,000	#DIV/0!
	D2	4,75	100,000	

**INFORME DE RESULTADOS: DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS  
NORMA ASTM D-4318**

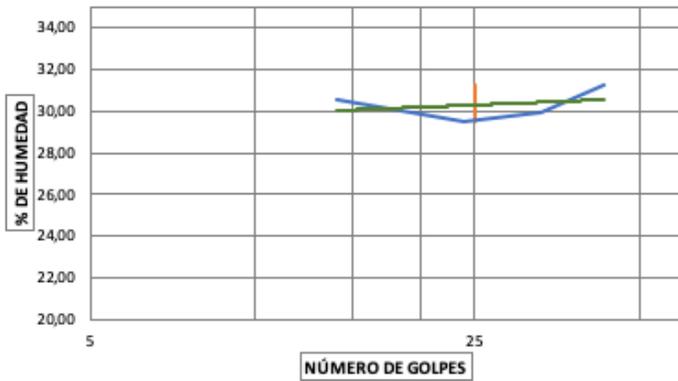
**CALICATA 1 - ESTRATO 1**

LÍMITE LÍQUIDO				
Recipiente N°	V8	U8	Y8	101
Masa de Recipiente + Muestra Húmeda ( P1 )	29,78	24,01	35,97	29,62
Masa de Recipiente + Muestra Seca ( P2 )	24,10	19,80	29,1	23,9
Masa de Agua ( P3 = P1 - P2 )	5,68	4,21	6,87	5,72
Masa del Recipiente ( P4 )	5,50	5,52	6,17	5,61
Masa de Muestra Seca ( P5 = P2 - P4 )	18,60	14,28	22,93	18,29
% de Humedad ( W = P3 × 100 ÷ P5 )	30,54	29,48	29,96	31,27
# DE GOLPES	14	24	33	43

LÍMITE PLÁSTICO				
Recipiente N°	51	61		
Masa de Recipiente + Muestra Húmeda ( P1 )	10,32	11,96	11,01	1,107
Masa de Recipiente + Muestra Seca ( P2 )	9,32	10,80	10,01	
Masa de Agua ( P3 = P1 - P2 )	1,00	1,16	1,00	
Masa del Recipiente ( P4 )	5,38	6,21	6,05	
Masa de Muestra Seca ( P5 = P2 - P4 )	3,94	4,59	3,96	
% de Humedad ( W = P3 × 100 ÷ P5 )	25,30	25,16	25,28	

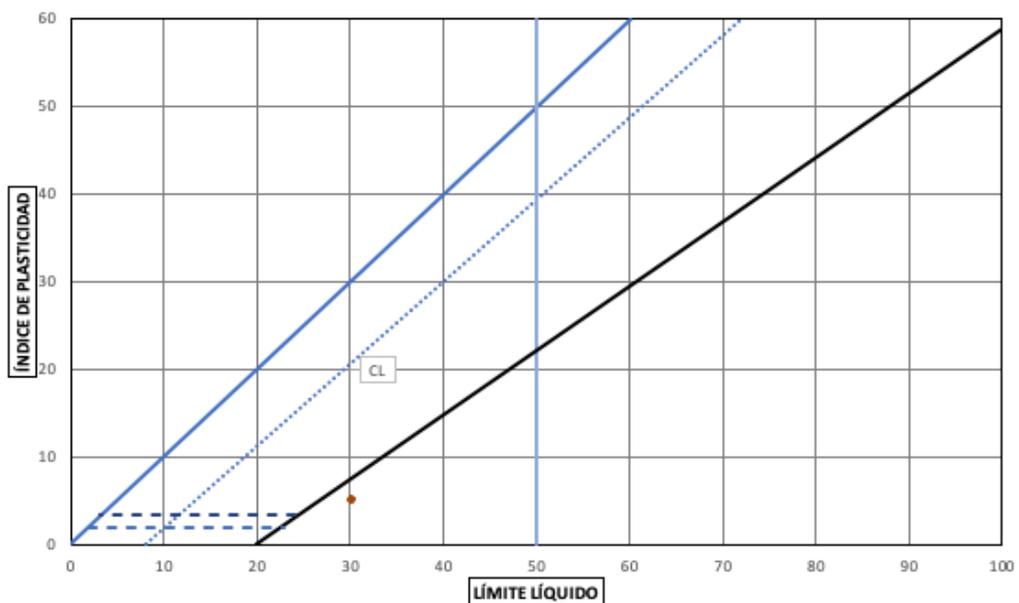
**CURVA DE LÍMITE LÍQUIDO**

$$y = 0,4676 \ln(x) + 28,785$$



1	2	31,27
0,4676	28,785	29,48
RESULTADOS		
L. LÍQUIDO =	30,29	
LÍMITE PLÁSTICO =	25,25	
I. PLASTICIDAD =	5,04	
TIPO DE SUELO (SUCS)		

**CARTA PLÁSTICA DE CASAGRANDE**



**INFORME DE RESULTADOS: DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS  
NORMA ASTM D-4318**

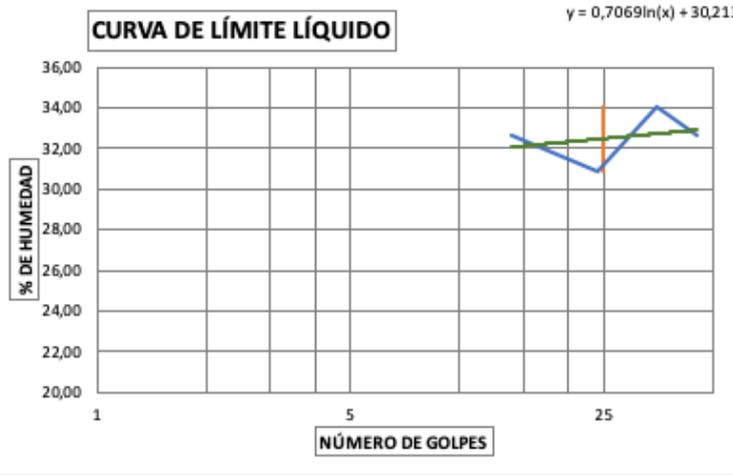
**CALICATA 1 - ESTRATO 2**

**LÍMITE LÍQUIDO**

Recipiente Nº	111	U	AE	CB		
Masa de Recipiente + Muestra Húmeda ( P1 )	26,00	26,62	23,44	25,46	20,6992	1,23048
Masa de Recipiente + Muestra Seca ( P2 )	21,13	21,64	19,05	20,7		
Masa de Agua ( P3 = P1 - P2 )	4,87	4,98	4,39	4,76		
Masa del Recipiente ( P4 )	6,21	5,52	6,15	6,1		
Masa de Muestra Seca ( P5 = P2 - P4 )	14,92	16,12	12,90	14,60		
% de Humedad ( W = P3 × 100 ÷ P5 )	32,64	30,89	34,03	32,60		
# DE GOLPES	14	24	35	45		

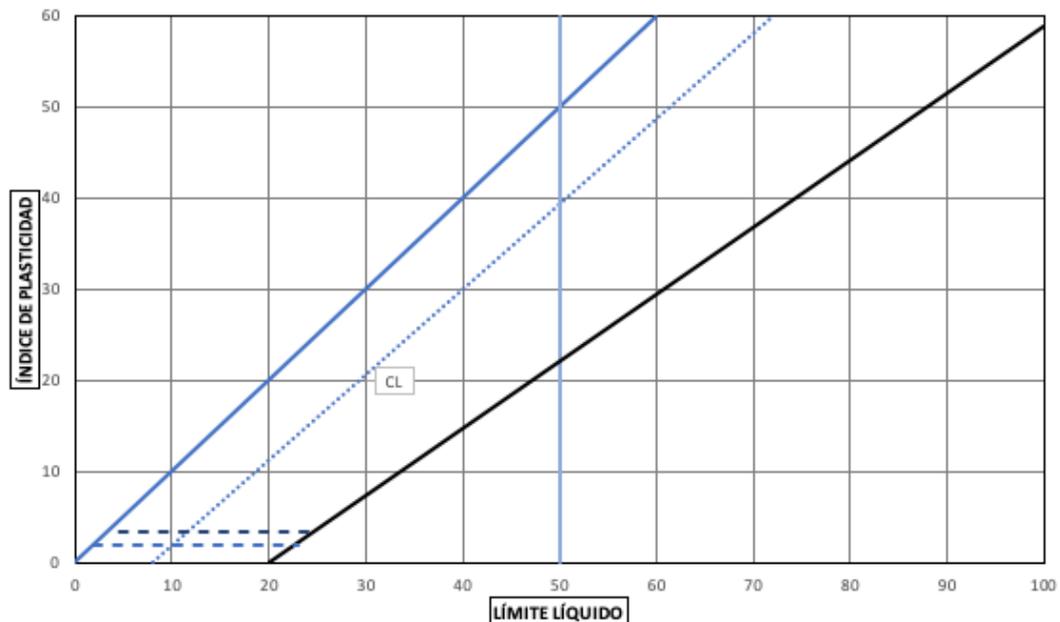
**LÍMITE PLÁSTICO**

Recipiente Nº	Y8	U8				
Masa de Recipiente + Muestra Húmeda ( P1 )	10,80	9,53	11,16			
Masa de Recipiente + Muestra Seca ( P2 )	9,81	8,75	9,96			
Masa de Agua ( P3 = P1 - P2 )	0,99	0,78	1,20			
Masa del Recipiente ( P4 )	6,28	5,94	5,72			
Masa de Muestra Seca ( P5 = P2 - P4 )	3,53	2,81	4,24			
% de Humedad ( W = P3 × 100 ÷ P5 )	28,05	27,76	28,30			



1	2	34,03
0,7069	30,213	30,89
RESULTADOS		
L. LÍQUIDO =		32,49
LÍMITE PLÁSTICO =		28,04
I. PLASTICIDAD =		4,45
TIPO DE SUELO (SUCS)		CL

**CARTA PLÁSTICA DE CASAGRANDE**



**INFORME DE RESULTADOS: DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS  
NORMA ASTM D-4318**

**CALICATA 1 - ESTRATO 3**

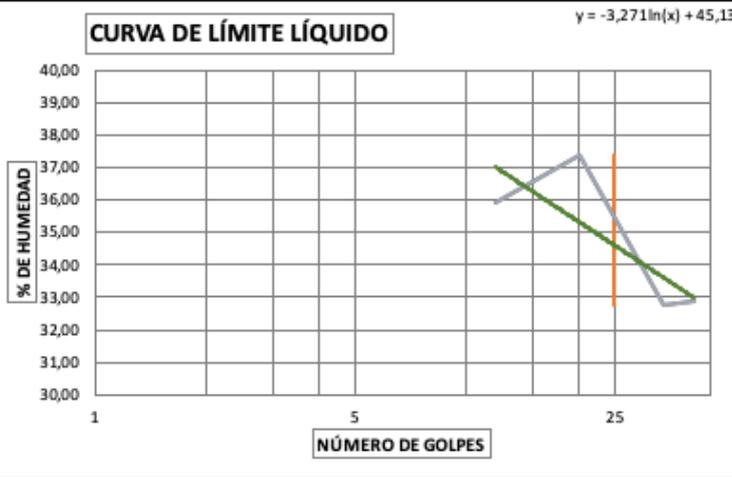
**LÍMITE LÍQUIDO**

Recipiente Nº	H	L	5	2
Masa de Recipiente + Muestra Húmeda ( P1 )	35,35	29,89	35,42	31,43
Masa de Recipiente + Muestra Seca ( P2 )	27,59	23,46	28,03	25,22
Masa de Agua ( P3 = P1 - P2 )	7,76	6,43	7,39	6,21
Masa del Recipiente ( P4 )	6,00	6,25	5,46	6,32
Masa de Muestra Seca ( P5 = P2 - P4 )	21,59	17,21	22,57	18,90
% de Humedad ( W = P3 × 100 ÷ P5 )	35,94	37,36	32,74	32,86
# DE GOLPES	12	20	34	41

**LÍMITE PLÁSTICO**

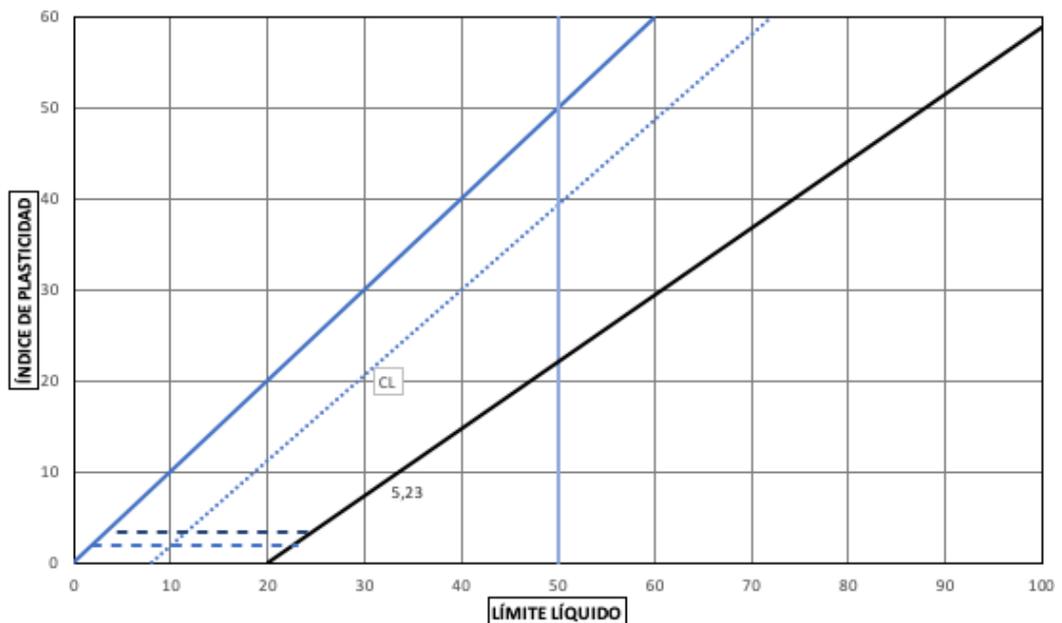
Recipiente Nº	5	U	
Masa de Recipiente + Muestra Húmeda ( P1 )	12,13	10,71	11,39
Masa de Recipiente + Muestra Seca ( P2 )	10,83	9,48	10,17
Masa de Agua ( P3 = P1 - P2 )	1,30	1,23	1,22
Masa del Recipiente ( P4 )	6,31	5,22	6,16
Masa de Muestra Seca ( P5 = P2 - P4 )	4,52	4,26	4,01
% de Humedad ( W = P3 × 100 ÷ P5 )	28,75	28,94	30,44

**CURVA DE LÍMITE LÍQUIDO**



1	2	37,36
-3,271	45,13	32,74
RESULTADOS		
L. LÍQUIDO =		34,60
LÍMITE PLÁSTICO =		29,37
I. PLASTICIDAD =		5,23
TIPO DE SUELO (SUCS)		CL

**CARTA PLÁSTICA DE CASAGRANDE**

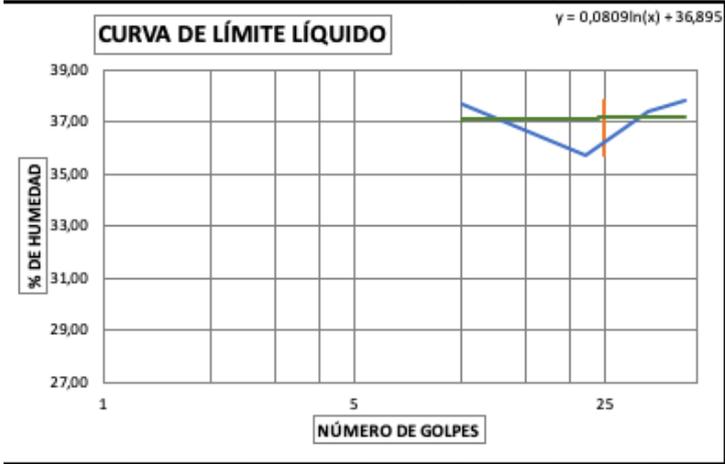


**INFORME DE RESULTADOS: DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS  
NORMA ASTM D-4318**

**CALICATA 2 - ESTRATO 1**

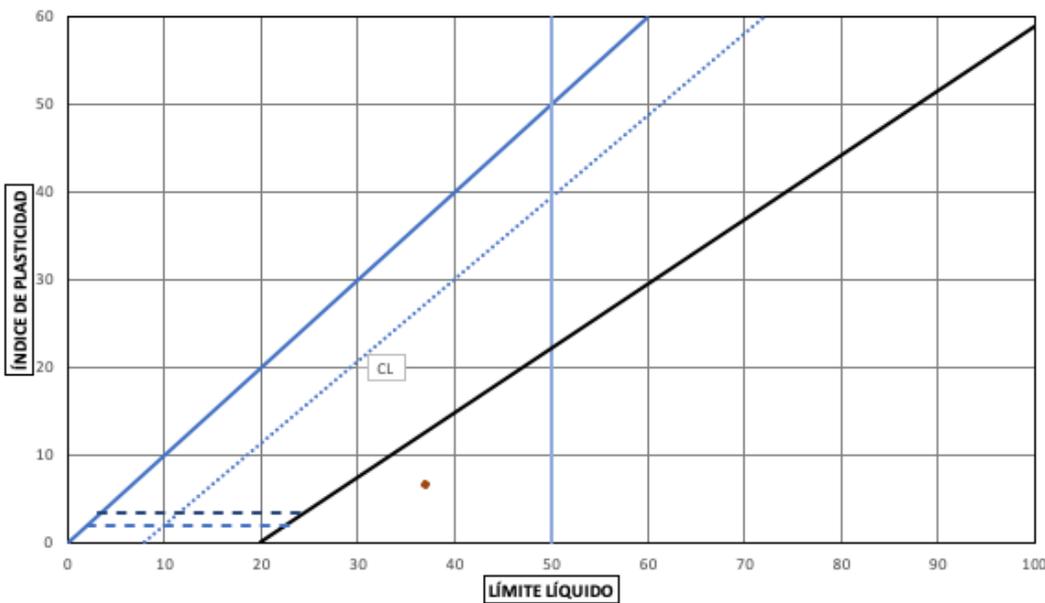
<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>				
Recipiente Nº	Z8	V8	X8	W8
Masa de Recipiente + Muestra Húmeda ( P1 )	27,74	28,59	21,83	24,88
Masa de Recipiente + Muestra Seca ( P2 )	21,84	22,51	17,3254	19,746
Masa de Agua ( P3 = P1 - P2 )	5,90	6,08	4,50	5,13
Masa del Recipiente ( P4 )	6,20	5,48	5,28	6,17
Masa de Muestra Seca ( P5 = P2 - P4 )	15,64	17,03	12,05	13,58
% de Humedad ( W = P3 × 100 ÷ P5 )	37,70	35,69	37,40	37,82
# DE GOLPES	10	22	33	42

<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>			
Recipiente Nº	111	AE	
Masa de Recipiente + Muestra Húmeda ( P1 )	9,66	10,15	11,20
Masa de Recipiente + Muestra Seca ( P2 )	8,85	9,20	10,01
Masa de Agua ( P3 = P1 - P2 )	0,81	0,95	1,19
Masa del Recipiente ( P4 )	6,12	6,13	6,26
Masa de Muestra Seca ( P5 = P2 - P4 )	2,73	3,07	3,75
% de Humedad ( W = P3 × 100 ÷ P5 )	29,67	30,94	31,73



1	2	37,82
0,0809	36,895	35,69
<b>RESULTADOS</b>		
L. LÍQUIDO =	37,16	
LÍMITE PLÁSTICO =	30,78	
I. PLASTICIDAD =	6,37	
TIPO DE SUELO (SUCS)	ML-OL	

**CARTA PLÁSTICA DE CASAGRANDE**

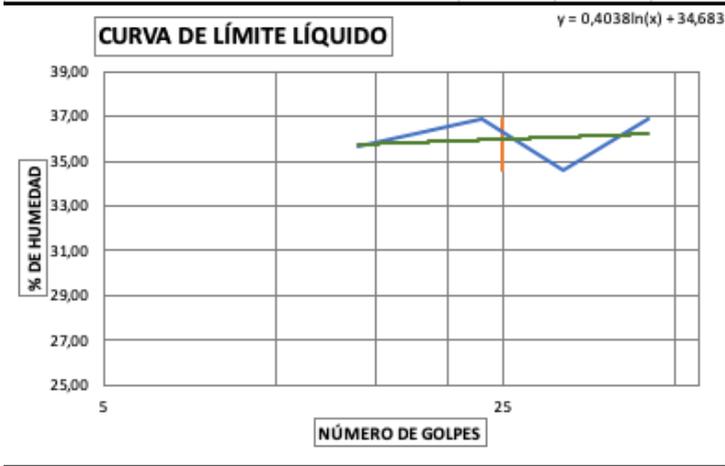


**INFORME DE RESULTADOS: DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS  
NORMA ASTM D-4318**

**CALICATA 2 - ESTRATO 1**

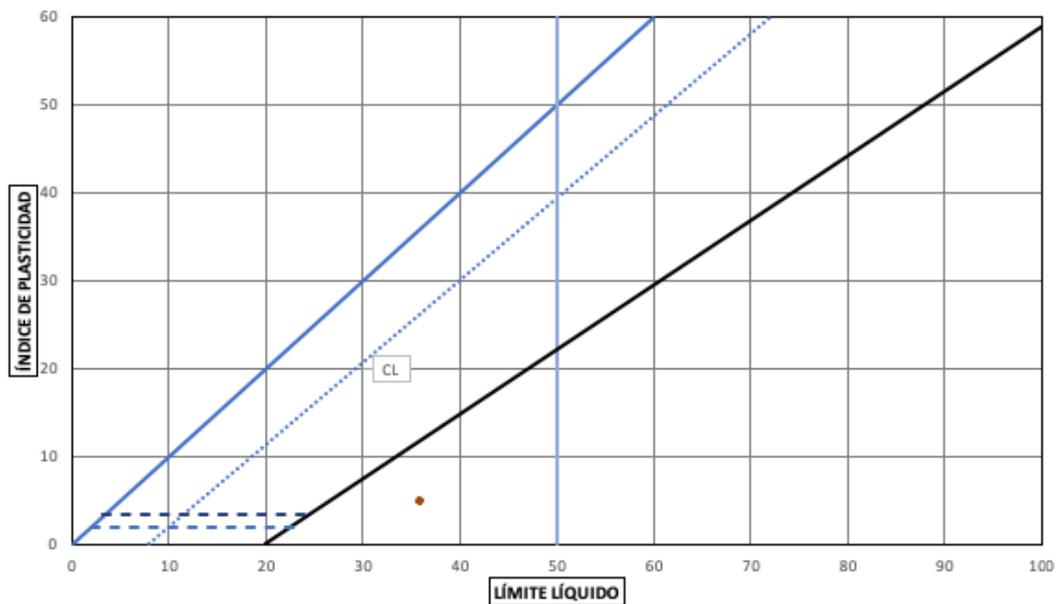
<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>					
Recipiente Nº	Z8	V8	X8	W8	
Masa de Recipiente + Muestra Húmeda ( P1 )	32,83	29,20	32,21	28,93	
Masa de Recipiente + Muestra Seca ( P2 )	25,85	22,99	25,36	22,78	
Masa de Agua ( P3 = P1 - P2 )	6,98	6,21	6,85	6,15	
Masa del Recipiente ( P4 )	6,28	6,15	5,56	6,11	
Masa de Muestra Seca ( P5 = P2 - P4 )	19,57	16,84	19,80	16,67	
% de Humedad ( W = P3 × 100 ÷ P5 )	35,66	36,86	34,58	36,90	
# DE GOLPES	14	23	32	45	

<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>					
Recipiente Nº	111	AE			
Masa de Recipiente + Muestra Húmeda ( P1 )	9,02	10,55	9,15		
Masa de Recipiente + Muestra Seca ( P2 )	8,18	9,51	8,28		
Masa de Agua ( P3 = P1 - P2 )	0,84	1,04	0,87		
Masa del Recipiente ( P4 )	5,57	6,22	5,37		
Masa de Muestra Seca ( P5 = P2 - P4 )	2,61	3,29	2,91		
% de Humedad ( W = P3 × 100 ÷ P5 )	32,30	31,49	29,87		



1	2	36,90
0,4038	34,683	34,58
<b>RESULTADOS</b>		
L. LÍQUIDO =	35,98	
LÍMITE PLÁSTICO =	31,22	
I. PLASTICIDAD =	4,76	
TIPO DE SUELO (SUCS)	ML-OL	

**CARTA PLÁSTICA DE CASAGRANDE**

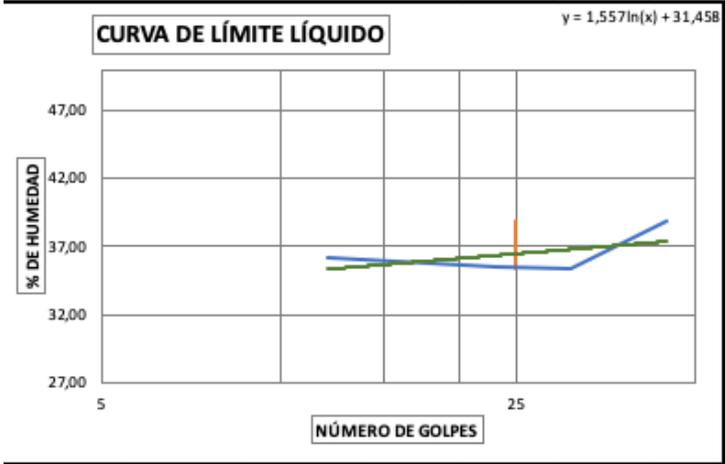


**INFORME DE RESULTADOS: DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS  
NORMA ASTM D-4318**

**CALICATA 4 - ESTRATO 2**

<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>				
Recipiente Nº	L	CB	H	2
Masa de Recipiente + Muestra Húmeda ( P1 )	24,77	28,95	26,2	23,32
Masa de Recipiente + Muestra Seca ( P2 )	19,66	22,98	20,79	18,51
Masa de Agua ( P3 = P1 - P2 )	5,11	5,97	5,41	4,81
Masa del Recipiente ( P4 )	5,53	6,13	5,51	6,12
Masa de Muestra Seca ( P5 = P2 - P4 )	14,13	16,85	15,28	12,39
% de Humedad ( W = P3 × 100 ÷ P5 )	36,18	35,46	35,37	38,84
# DE GOLPES	12	23	31	45

<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>			
Recipiente Nº	X8	W8	
Masa de Recipiente + Muestra Húmeda ( P1 )	9,98	10,61	8,40
Masa de Recipiente + Muestra Seca ( P2 )	9,04	9,61	7,61
Masa de Agua ( P3 = P1 - P2 )	0,94	1,00	0,79
Masa del Recipiente ( P4 )	6,17	6,35	5,47
Masa de Muestra Seca ( P5 = P2 - P4 )	2,87	3,26	2,14
% de Humedad ( W = P3 × 100 ÷ P5 )	32,76	30,65	37,00



1	2	38,84
1,557	31,458	35,37
<b>RESULTADOS</b>		
L. LÍQUIDO =	36,47	
LÍMITE PLÁSTICO =	31,71	
I. PLASTICIDAD =	4,76	
TIPO DE SUELO (SUCS)	CL	

**CARTA PLÁSTICA DE CASAGRANDE**

