



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

“ANÁLISIS ESTRUCTURAL ENTRE: PAVIMENTO FLEXIBLE  
CONVENCIONAL, GEOMALLA BIAXIAL Y MATERIAL  
GRANULAR ESTABILIZADO CON ASFALTO, PARA MEJORAR  
COMPORTAMIENTO MECÁNICO, EN PARROQUIA  
MANGLARALTO, CANTÓN Y PROVINCIA DE SANTA ELENA”

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**AUTORES:**

ELSY YELENA ROJAS CHELE  
ANGEL LEONEL RAMIREZ ALEJANDRO

**TUTOR:**

ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE, MSc.

**LA LIBERTAD, ECUADOR**

**2023**

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**“ANÁLISIS ESTRUCTURAL ENTRE: PAVIMENTO FLEXIBLE  
CONVENCIONAL, GEOMALLA BIAXIAL Y MATERIAL  
GRANULAR ESTABILIZADO CON ASFALTO, PARA MEJORAR  
COMPORTAMIENTO MECÁNICO, EN PARROQUIA  
MANGLARALTO, CANTÓN Y PROVINCIA DE SANTA ELENA”**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**AUTORES:**

**ELSY YELENA ROJAS CHELE**

**ANGEL LEONEL RAMIREZ ALEJANDRO**

**TUTOR:**

**ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE, MSc.**

**LA LIBERTAD – ECUADOR**

**2023**

# TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f.



Ing. Jonny Villao Borbor, MSc.

**DIRECTOR DE CARRERA**

f.



Ing. Daniel Campoverde Campoverde, MSc.

**DOCENTE TUTOR**

f.



Ing. Lucrecia Moreno Alcívar, Ph.D.

**DOCENTE ESPECIALISTA**

f.



Ing. Lucrecia Moreno Alcívar, Ph.D.

**DOCENTE UIC**

# DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **ELSY YELENA ROJAS CHELE** y **ANGEL LEONEL RAMIREZ ALEJANDRO**, declaramos bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado “**ANÁLISIS ESTRUCTURAL ENTRE: PAVIMENTO FLEXIBLE CONVENCIONAL, GEOMALLA BIAXIAL Y MATERIAL GRANULAR ESTABILIZADO CON ASFALTO, PARA MEJORAR COMPORTAMIENTO MECÁNICO, EN PARROQUIA MANGLARALTO, CANTÓN Y PROVINCIA DE SANTA ELENA**”, 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 y perteneciente 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.   
\_\_\_\_\_

**Elsy Yelena Rojas Chele**

**C.I. 2450278763**

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

**Angel Leonel Ramirez Alejandro**

**C.I. 2450122508**

# CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, MSc.

## TUTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo “ANÁLISIS ESTRUCTURAL ENTRE: PAVIMENTO FLEXIBLE CONVENCIONAL, GEOMALLA BIAXIAL Y MATERIAL GRANULAR ESTABILIZADO CON ASFALTO, PARA MEJORAR COMPORTAMIENTO MECÁNICO, EN PARROQUIA MANGLARALTO, CANTÓN Y PROVINCIA DE SANTA ELENA”, previo a la obtención del Título de INGENIERO CIVIL elaborado por la Srta. ELSY YELENA ROJAS CHELE y el Sr. ANGEL LEONEL RAMIREZ ALEJANDRO, 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, MSc.

C.I.: 0913176541

DOCENTE TUTOR

# CERTIFICACIÓN DE GRAMATOLOGIA

*Certificación de Gramatólogo*

Lic. ALEXI JAVIER HERRERA REYES

*Magíster En Diseño Y Evaluación*

*De Modelos Educativos*

La Libertad, junio 7 del 2023.

## Certifica:

Que después de revisar el contenido del trabajo de integración curricular en opción al título de INGENIERO/A CIVIL de: ROJAS CHELE ELSY YELENA & RAMIREZ ALEJANDRO ÁNGEL LEONEL, cuyo tema es: "ANÁLISIS ESTRUCTURAL ENTRE: PAVIMENTO FLEXIBLE CONVENCIONAL, GEOMALLA BIAXIAL Y MATERIAL GRANULAR ESTABILIZADO CON ASFALTO, PARA MEJORAR COMPORTAMIENTO MECÁNICO, EN PARROQUIA MANGLARALTO, CANTÓN Y PROVINCIA DE SANTA ELENA", 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**

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema **“ANÁLISIS ESTRUCTURAL ENTRE: PAVIMENTO FLEXIBLE CONVENCIONAL, GEOMALLA BIAxIAL Y MATERIAL GRANULAR ESTABILIZADO CON ASFALTO, PARA MEJORAR COMPORTAMIENTO MECÁNICO, EN PARROQUIA MANGLARALTO, CANTÓN Y PROVINCIA DE SANTA ELENA”**, elaborado por la Srta. **ELSY YELENA ROJAS CHELE** y el Sr. **ANGEL LEONEL RAMIREZ ALEJANDRO**, egresados de la carrera de **Ingeniería Civil**, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio **COMPILATIO**, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un 1% de la valoración permitida.

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

**Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, MSc.**

**C.I.: 0913176541**

**DOCENTE TUTOR**

# REPORTE DE SIMILITUD



## Tesis 2023-1 Capítulo I, II, III, IV, V RAMIREZ ANGEL-ROJAS ELSY

1% Similitudes  
2% Texto entre comillas  
0% similitudes entre comillas  
2% Idioma no reconocido

Nombre del documento: Tesis 2023-1 Capítulo I, II, III, IV, V RAMIREZ ANGEL-ROJAS ELSY.pdf  
ID del documento: fef7da895b95902166b93900bc683af874f6ff77  
Tamaño del documento original: 6,3 MB

Depositante: DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE  
Fecha de depósito: 12/7/2023  
Tipo de carga: interface  
Fecha de fin de análisis: 12/7/2023

Número de palabras: 38.385  
Número de caracteres: 273.566

Ubicación de las similitudes en el documento:



### Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<a href="https://repositoriodemo.continental.edu.pe/">repositoriodemo.continental.edu.pe</a>   Repositorio Continental: Propuesta del mejor... <a href="https://repositoriodemo.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/51657?locale=fr">https://repositoriodemo.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/51657?locale=fr</a>	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (23 palabras)
2	<a href="https://1library.co/document/2x0081no-determinacion-de-la-gravedad-especifica-y-porcentaje-de-abs...">1library.co</a>   DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA Y PORCENTAJE DE ABSO... <a href="https://1library.co/document/2x0081no-determinacion-de-la-gravedad-especifica-y-porcentaje-de-abs...">https://1library.co/document/2x0081no-determinacion-de-la-gravedad-especifica-y-porcentaje-de-abs...</a>	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (24 palabras)
3	Documento de otro usuario #bc1492 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (22 palabras)
4	<a href="https://post.geonet.com/Clasificación-de-suelos-Geología-publicaciones">post.geonet.com</a>   Clasificación de suelos - Geología - publicaciones <a href="https://post.geonet.com/Clasificación-de-suelos/">https://post.geonet.com/Clasificación-de-suelos/</a> 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (24 palabras)
5	<a href="https://1library.co/document/212k08ey-estudio-diseño-maldonado-abcisca-canton-jijapa-provincia-m...">1library.co</a>   Estudio De Suelo, Para El Diseño De La Vía Rural Maldonado- Pisloy Des... <a href="https://1library.co/document/212k08ey-estudio-diseño-maldonado-abcisca-canton-jijapa-provincia-m...">https://1library.co/document/212k08ey-estudio-diseño-maldonado-abcisca-canton-jijapa-provincia-m...</a>	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (21 palabras)

### Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<a href="http://localhost:8080/html/bitstream/edug/528649/MARTINEZ_DMARIBGALARZA_ANDY_TRABAJO_TL...">localhost</a>   Análisis del proceso constructivo de vías en la Urbanización "Mi Lote" eta... <a href="http://localhost:8080/html/bitstream/edug/528649/MARTINEZ_DMARIBGALARZA_ANDY_TRABAJO_TL...">http://localhost:8080/html/bitstream/edug/528649/MARTINEZ_DMARIBGALARZA_ANDY_TRABAJO_TL...</a>	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (36 palabras)
2	<a href="https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/11537/52575/1/Caballero_Porte_Esmeralda_Colchado_Bayfo...">repositorio.upn.edu.pe</a> <a href="https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/11537/52575/1/Caballero_Porte_Esmeralda_Colchado_Bayfo...">https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/11537/52575/1/Caballero_Porte_Esmeralda_Colchado_Bayfo...</a>	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (35 palabras)
3	<a href="http://blog.pucp.edu.pe/blog/14spucp/2021/06/30/aplicacion-de-geomallas-en-pavimentos/">blog.pucp.edu.pe</a>   Aplicación de geomallas en pavimentos <a href="http://blog.pucp.edu.pe/blog/14spucp/2021/06/30/aplicacion-de-geomallas-en-pavimentos/">http://blog.pucp.edu.pe/blog/14spucp/2021/06/30/aplicacion-de-geomallas-en-pavimentos/</a>	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (33 palabras)
4	<a href="http://repositorio.upse.edu.ec/8080/jspui/bitstream/48000/2289/6/UPSE-TIC-2015-006.pdf.txt">repositorio.upse.edu.ec</a>   Estudio y diseño de la vía a Pajiza, desde el cruce abcisca ... <a href="http://repositorio.upse.edu.ec/8080/jspui/bitstream/48000/2289/6/UPSE-TIC-2015-006.pdf.txt">http://repositorio.upse.edu.ec/8080/jspui/bitstream/48000/2289/6/UPSE-TIC-2015-006.pdf.txt</a>	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (34 palabras)
5	<a href="https://vsip.info/desbroce-excavacion-y-relleno-pdf-free.html">vsip.info</a>   DESBROCE, EXCAVACION Y RELLENO - VSIP.INFO <a href="https://vsip.info/desbroce-excavacion-y-relleno-pdf-free.html">https://vsip.info/desbroce-excavacion-y-relleno-pdf-free.html</a>	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (33 palabras)

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

1	<a href="https://doi.org/10.3390/ma14164745">https://doi.org/10.3390/ma14164745</a>
2	<a href="https://www.obraspublicas.gob.ec/wp">https://www.obraspublicas.gob.ec/wp</a>
3	<a href="http://dx.doi.org/10.15517/v.v21i37.42614">http://dx.doi.org/10.15517/v.v21i37.42614</a>
4	<a href="https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR_Chimborazo_Cumanda_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf">https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR_Chimborazo_Cumanda_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf</a>
5	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12404/5419">http://hdl.handle.net/20.500.12404/5419</a>



# **DEDICATORIA**

El presente proyecto de titulación va dedicado:

A mi Dios y madre del cielo, mi mayor fuente de amor, fe y esperanza que me han permitido superar cada prueba con sabiduría.

A mi incondicional madre, la Sra. Mónica Pilar Chele Cruz quien, a través de su amor real y único en el mundo, me dio una y mil razones para no rendirme.

A mi apreciado padre, el Sr. Edison Rugel Rojas García quién jamás dejó de creer en mí y darme esa motivación día a día.

A mis hermanos, Brayan Fajardo Rojas Chele, por cuidarme y enseñarme que a pesar de la distancia su cariño y afecto se siente muy cerca, a Edison Jardel Rojas Chele, por su protección y amor hacia mí.

A mi sobrino Braydan Kadir Rojas Tuárez, que iluminó nuestras vidas convirtiéndose en mi mayor fortaleza.

A mis abuelos Patricia Cruz, Patricio Chele y Elsa García por recibirme con tanto amor.

A mis tíos, tías, primas, primos que con su bondad y amor sincero me enseñaron el valor de la familia y lo importante que es para la vida.

***ELSY YELENA***

El presente trabajo de Integración Curricular va dedicado en primera instancia a Dios, por darme la vida y salud en el transcurso de mi carrera universitaria.

A mis queridos padres, el Sr. **Angel Ramirez De La Cruz** y la Sra. **Angelita Alejandro Laínez** que, con su esfuerzo, apoyo y amor permitieron que logre culminar con éxito mi carrera profesional y por ser los pilares fundamentales en mi vida, por su comprensión y confianza depositada en mí.

A mis hermanos, **Patricia, Gabriela, Janeth y Neider**, quienes me motivan e inspiran a seguir creciendo en todos los aspectos.

A mis familiares que me apoyaron incondicionalmente en la ejecución y consecución de esta importante meta.

***ANGEL LEONEL***

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por darme la fuerza, sabiduría, humanidad, amor y mucha fe, lo cual me ha permitido lograr con éxito mis metas y sobre todo el propósito de vida de servir con amor.

A mi hermosa familia por enseñarme a estar más unidos en los peores y buenos momentos, por la humildad, sencillez y sobre todo humanidad que los caracteriza, los amo.

A la Universidad Estatal Península de Santa Elena, docentes de la carrera de Ingeniería Civil, tutor de tesis, que con sabiduría, conocimientos, paciencia y buenos consejos nos brindaron en el transcurso de años de estudio, y por supuesto al Ingeniero Jhony Villao por sus sabios consejos y oraciones que brindó hacia mi familia cuando más lo necesité.

A mis amigos con quienes compartí conocimientos y momentos únicos dentro y fuera de las aulas, participando en experiencias a lo largo de este camino, a mi compañero de tesis por la paciencia, entrega día a día para culminar con nuestro proyecto, gracias y éxitos a cada uno de ustedes.

Por último, pero no menos importantes, a todas aquellas personas que me acompañaron y formaron parte de este trayecto de mi vida, a quienes nos ayudaron a completar nuestro proyecto de integración curricular, gracias infinitas, que Dios los proteja y los bendiga siempre.

***ELSY YELENA***

Mi principal agradecimiento es a Dios por brindarme las energías necesarias, guiar mi camino en todo momento e ir superando los obstáculos que se presentaron en el trayecto, fortaleciendo mi formación en cada etapa e iluminando mi vida con el don de la sabiduría y entendimiento.

Agradecer eternamente a mis padres por ayudarme a ser perseverante y constante, que en base a sus consejos forjaron mi personalidad y determinación a la hora de afrontar cada adversidad que se pueda presentar.

A mi docente tutor de tesis el Ing. Daniel Campoverde MSc, que con su experiencia y conocimientos aportó significativamente con su tiempo y profesionalismo en el desarrollo de este trabajo de investigación.

A mis amigos que estuvieron desde el inicio de este sueño y a los que se sumaron en el camino participando de mi formación académica. A mi buen amigo Erick D, por su valioso aporte y quien estuvo siempre presto a apoyarme en momentos determinantes que necesité de su contribución.

A mi compañera de tesis con quien asumimos responsablemente la ardua labor de realizar las actividades de procesar y ordenar la información que fundamenta nuestro trabajo de tesis en el aspecto investigativo y práctico.

A cada familiar que en algún momento me extendió su mano, mención especial a mi tío Armando R. quien estuvo presto, desde el primer momento que requerí su apoyo y que, gracias a esta herramienta portátil, finalmente me permito redactar el documento de trabajo de titulación. Gracias infinitas a todos mis buenos amigos, docentes y familia.

***ANGEL LEONEL***

# TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN .....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	iii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR .....	iv
CERTIFICACIÓN DE GRAMATOLOGIA.....	v
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO .....	vi
DEDICATORIA .....	viii
AGRADECIMIENTOS .....	x
TABLA DE CONTENIDO .....	xii
LISTA DE FIGURAS .....	xviii
LISTA DE TABLAS .....	xx
LISTA DE ECUACIONES .....	xxii
RESUMEN.....	xxiii
ABSTRACT .....	xxiv
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.2. ANTECEDENTES .....	5
1.3. HIPÓTESIS.....	12
1.3.1. Hipótesis General.....	12
1.3.2. Hipótesis Específicas. ....	12
1.4. OBJETIVOS .....	12
1.4.1. Objetivo General. ....	12
1.4.2. Objetivos Específicos.....	13
1.5. ALCANCE .....	13
1.6. VARIABLES.....	14
1.6.1. Variables Independientes.....	14
1.6.2. Variables Dependientes.....	14

<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	15
<b>2.1. DEFINICIÓN DE SUELO</b> .....	15
<b>2.1.1. Origen.</b> .....	15
<b>2.1.2. Composición de los suelos.</b> .....	16
<b>2.1.3. Propiedades del suelo.</b> .....	17
<b>2.1.4. Resistencia Mecánica.</b> .....	17
<b>2.2. ENSAYOS DE LABORATORIO</b> .....	18
<b>2.2.1. Granulometría.</b> .....	18
<i>2.2.1.1. Clasificación Internacional.</i> .....	18
<i>2.2.1.2. Classification de Massachusetts Institute of Technology (M.I.T.)</i> .....	18
<b>2.2.2. Límites de Atterberg.</b> .....	19
<b>2.2.3. Gravedad Específica.</b> .....	20
<b>2.2.4. Proctor Modificado.</b> .....	20
<b>2.2.5. CBR (California Bearing Ratio).</b> .....	21
<b>2.3. CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN AASHTO Y SUCS.</b>	21
<b>2.3.1. Clasificación de los suelos AASHTO.</b> .....	22
<b>2.3.2. Clasificación de los suelos SUCS.</b> .....	24
<b>2.4. CARACTERÍSTICAS DE LA SUBRASANTE</b> .....	28
<b>2.5. PROPIEDADES DE LOS SUELOS ESTABILIZADOS</b> .....	28
<b>2.6. GENERALIDADES DEL PAVIMENTO CONVENCIONAL</b>	30
<b>2.6.1. Definición de pavimento.</b> .....	30
<b>2.6.2. Estructura de un pavimento.</b> .....	30
<b>2.6.3. Características de un pavimento.</b> .....	31
<b>2.6.4. Clasificación de pavimentos.</b> .....	31
<i>2.6.4.1. Pavimentos flexibles.</i> .....	31
<i>2.6.4.2. Pavimentos Rígidos.</i> .....	32
<i>2.6.4.3. Pavimentos Semi-rígidos.</i> .....	32
<i>2.6.4.4. Pavimentos Articulados.</i> .....	32
<b>2.7. GEOSINTÉTICOS</b> .....	33

2.7.1. Tipos de geosintéticos.....	33
2.7.2. Ventajas de los geosintéticos.....	34
2.8. GEOMALLA BIAxIAL COEXTRUIDA.....	35
2.8.1. Ventajas y beneficios.....	36
2.8.2. Campos de aplicación.....	36
2.9. GENERALIDADES DEL PAVIMENTO REFORZADO CON GEOMALLA BIAxIAL.....	36
2.9.1. Mecanismos de refuerzo generados por las Geomallas..	36
2.9.1.1. Confinamiento lateral de la base o subbase. ....	36
2.9.1.2. Mejoramiento de la capacidad de soporte. ....	37
2.9.1.3. Efecto de la membrana tensionada.....	38
2.9.1.4. Estructura de Pavimento con refuerzo de Geomallas. ....	39
2.10. ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO SEGÚN NORMATIVA DEL MTOP.....	40
2.10.1. Bases.....	40
2.10.2. Bases de Hormigón Asfáltico.....	41
2.10.3. Subbases. ....	42
2.10.4. Mejoramiento de la Subrasante.....	42
2.11. ASFALTO DILUIDO.....	43
2.12. ESPECIFICACIONES PARA ASFALTOS DILUIDOS O REBAJADOS SEGÚN MTOP.....	47
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....</b>	<b>51</b>
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	51
3.1.1. Tipo.....	51
3.1.2. Nivel.....	51
3.2. MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	52
3.2.1. Método.....	52
3.2.2. Enfoque.....	52
3.2.3. Diseño.....	52

<b>3.3.</b>	<b>POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO .....</b>	<b>53</b>
	<b>3.3.1. Población. ....</b>	<b>53</b>
	<b>3.3.2. Muestra.....</b>	<b>53</b>
	<b>3.3.3. Muestreo.....</b>	<b>54</b>
<b>3.4.</b>	<b>UBICACIÓN DEL SECTOR DE ESTUDIO.....</b>	<b>54</b>
	<b>3.4.1. Cantera Sitio Nuevo. ....</b>	<b>54</b>
	<b>3.4.2. Cantera Juan Montalvo. ....</b>	<b>55</b>
<b>3.5.</b>	<b>METODOLOGÍA DEL OE.1: DESARROLLO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CONVENCIONAL MEDIANTE ESPECIFICACIONES DE LA AASHTO-93 .....</b>	<b>56</b>
	<b>3.5.1. Metodología de diseño aashto-93 aplicada en pavimentos flexibles. ....</b>	<b>56</b>
	<b>3.5.2. Variables de Diseño de Pavimentos Flexibles. ....</b>	<b>57</b>
	<b>3.5.3. Confiabilidad.....</b>	<b>58</b>
	<b>3.5.4. Desviación Estándar Normal.....</b>	<b>58</b>
	<b>3.5.5. Error Estándar Combinado (So). ....</b>	<b>59</b>
	<b>3.5.6. Pérdida de serviciabilidad. ....</b>	<b>60</b>
	<b>3.5.7. Módulo Resiliente. ....</b>	<b>61</b>
	<b>3.5.8. Número Estructural. ....</b>	<b>62</b>
	<b>3.5.9. Coeficientes de drenaje (mi).....</b>	<b>62</b>
	<b>3.5.10. Coeficientes estructurales (ai).....</b>	<b>63</b>
	<b>3.5.11. Criterio de espesores mínimos.....</b>	<b>67</b>
<b>3.6.</b>	<b>METODOLOGÍA DEL OE.2: DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO REFORZADO CON GEOMALLA BIAXIAL PARA OPTIMIZAR Y REDUCIR ESPESORES.....</b>	<b>69</b>
	<b>3.6.1. Metodología de diseño aplicada en Pavimentos Reforzados con Geomalla.....</b>	<b>69</b>
	<b>3.6.2. Propiedades físico- mecánicas de la Geomalla Biaxial para diseño de pavimento. ....</b>	<b>69</b>
	<b>3.6.3. Método AASHTO para Diseño de Pavimentos Flexibles reforzados con Geomallas Biaxiales Coextruidas.....</b>	<b>70</b>
<b>3.7.</b>	<b>METODOLOGÍA DEL OE.3: DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES CON MATERIALES GRANULARES ESTABILIZADOS CON ASFALTO.....</b>	<b>74</b>



3.7.1. Ensayos de laboratorio de los materiales granulares de las canteras Sitio Nuevo y Juan Montalvo. ....	74
3.7.1.1. Cuarteo de muestras. ....	74
3.7.1.2. Contenido de humedad. ....	75
3.7.1.3. Análisis Granulométrico. ....	76
3.7.1.4. Ensayos de Límites de Atterberg e Índice de Plasticidad. ....	78
3.7.1.5. Gravedad Específica. ....	81
3.7.1.6. Abrasión mediante Máquina de los Ángeles. ...	82
3.7.1.7. Ensayos de Compactación (Proctor Modificado). ....	85
3.7.1.8. Ensayo CBR. ....	86
3.7.2. Diseño Marshall para estabilización del material granular. ....	90
3.7.2.1. Ensayo de compactación por medio del martillo Marshall. ....	90
3.7.3. Ensayos de estabilidad y flujo. ....	92
3.7.3.1. Estabilidad seca. ....	92
3.7.3.2. Flujo. ....	92
3.8. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES. ....	94
<b>CAPÍTULO IV: DESARROLLO, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS. ....</b>	<b>95</b>
4.1. RESULTADOS DE O.E.1: DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CONVENCIONAL POR EL MÉTODO AASHTO-93. ....	95
4.1.1. Resultados del redimensionamiento del pavimento flexible convencional. ....	100
4.2. RESULTADOS DE O.E.2: DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE INCORPORANDO GEOMALLA BIAXIAL. ....	101

4.2.1.	Diseño de pavimento flexible incorporando Geomalla Biaxial – Método AASHTO. ....	101
4.3.	<b>RESULTADOS DE O.E.3: DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON MATERIAL GRANULAR ESTABILIZADO CON ASFALTO MÉTODO AASHTO-93</b> .....	106
4.3.1.	Evaluación de Parámetros físico-mecánicos de materiales granulares.....	106
4.3.2.	Evaluación de Gráficas de Estabilización de material granular con Asfalto Diluido – Método Marshall.....	109
4.3.3.	Diseño de Pavimento implementando Material Granular estabilizado con asfalto.....	113
4.4.	<b>ANÁLISIS DE DEFLEXIONES ADMISIBLES Y DE LAS ESTRUCTURAS DISEÑADAS</b> .....	118
4.4.1.	Deflexión vertical del pavimento flexible convencional. ....	118
4.4.2.	Deflexión vertical del pavimento flexible reforzado con Geomalla Biaxial.....	122
4.4.3.	Deflexión vertical del pavimento flexible incorporando material granular estabilizado con asfalto. ....	124
4.4.4.	Deflexión admisible del pavimento. ....	126
4.5.	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	127
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....		131
5.1.	<b>CONCLUSIONES</b> .....	131
5.2.	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	132
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....		133
<b>ANEXOS</b> .....		140

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> Composición del suelo.....	16
<b>Figura 2</b> Consistencia del suelo .....	19
<b>Figura 3</b> Carta de plasticidad .....	25
<b>Figura 4</b> Comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos.....	32
<b>Figura 5</b> Geomalla biaxial.....	35
<b>Figura 6</b> Confinamiento lateral generado por la Geomalla en un material granular .....	37
<b>Figura 7</b> Mejoramiento de la capacidad portante al utilizar una Geomalla de refuerzo .....	37
<b>Figura 8</b> Membrana tensionada.....	38
<b>Figura 9</b> Estructura de Pavimento reforzado con Geomalla .....	39
<b>Figura 10</b> Ubicación de Cantera Sitio Nuevo .....	54
<b>Figura 11</b> Ubicación de Cantera Juan Montalvo.....	55
<b>Figura 12</b> Nomograma de Coeficientes estructurales (a1).....	64
<b>Figura 13</b> Nomograma de coeficientes estructurales (a2).....	64
<b>Figura 14</b> Nomograma de coeficientes estructurales (a3).....	65
<b>Figura 15</b> Variación de $a_2$ en bases tratadas con asfalto en función de la Estabilidad Marshall.....	65
<b>Figura 16</b> Variación del coeficiente estructural de la capa de base tratada con cemento. ....	66
<b>Figura 17</b> CBR Vs Número de ciclos en secciones no reforzadas y reforzadas con Geomallas.....	72
<b>Figura 18</b> LCR Vs. CBR de la Subrasante.....	73
<b>Figura 19</b> Cuarteo de muestras .....	75
<b>Figura 20</b> Granulometría Método lavado (Vía Húmeda).....	77
<b>Figura 21</b> Granulometría (Vía seca) – Muestras tamizadas.....	78
<b>Figura 22</b> Ensayos de límites de Atterberg .....	80
<b>Figura 23</b> Ensayo de Gravedad Específica .....	82

<b>Figura 24</b> Lavado del material previo al ensayo de abrasión de los Ángeles y Colocación de material en el horno.....	84
<b>Figura 25</b> Ajuste de la tapa de la Máquina de Abrasión .....	84
<b>Figura 26</b> Retiro del material después del ensayo.....	84
<b>Figura 27</b> Ensayo Proctor Modificado .....	86
<b>Figura 28</b> Ensayo CBR .....	88
<b>Figura 29</b> Toma de Lecturas CBR .....	88
<b>Figura 30</b> Prensa Hidráulica, Rotura de Cilindros CBR-Toma de muestra de Ensayo CBR.....	89
<b>Figura 31</b> Ensayo de compactación por medio del martillo Marshall .....	91
<b>Figura 32</b> Aplicación y medición de cargas: Estabilidad y Flujo .....	93
<b>Figura 33</b> Cálculo del Número Estructural Requerido (SNreq).....	96
<b>Figura 34</b> Diseño de Estructura de Pavimento Flexible Convencional .....	101
<b>Figura 35</b> Aporte de Geomallas mediante el LCR vs CBR .....	102
<b>Figura 36</b> Interfaz del Software de Diseño - Refuerzo en Vías con Geomallas Biaxiales.....	103
<b>Figura 37</b> Parámetros calculados y resultados .....	104
<b>Figura 38</b> Parámetros calculados y resultados del reajuste de espesores.....	104
<b>Figura 39</b> Estructura de Pavimento Flexible reforzado con Geomalla Biaxial..	105
<b>Figura 40</b> Gráfica Densidad Bulk Vs Contenido de Asfalto Diluido .....	109
<b>Figura 41</b> Gráfica Estabilidad Vs Contenido de Asfalto Diluido .....	110
<b>Figura 42</b> Gráfica Flujo Vs Contenido de Asfalto Diluido.....	111
<b>Figura 43</b> Determinación de espesores de Pavimento Semirrígido .....	114
<b>Figura 44</b> Estructura de Pavimento implementando Material Granular Estabilizado con Asfalto .....	117
<b>Figura 45</b> Factores de Deflexión según Foster y Alvin (1954).....	120
<b>Figura 46</b> Deflexión vertical en Pavimento Flexible Convencional .....	121
<b>Figura 47</b> Deflexión vertical en Pavimento reforzado con Geomalla Biaxial ...	123
<b>Figura 48</b> Deflexión vertical en Pavimento con Material Granular estabilizado con asfalto .....	125
<b>Figura 49</b> Estructura de Pavimentos .....	127

# LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> Clasificación internacional.....	18
<b>Tabla 2</b> Classification de Massachusetts Institute of Technology (M.I.T.) .....	18
<b>Tabla 3</b> Clasificación de suelos por el método AASHTO .....	23
<b>Tabla 4</b> Sistema Unificado de Clasificación; símbolos de grupo para suelos limosos y arcillosos .....	25
<b>Tabla 5</b> Sistema Unificado de Clasificación; símbolos de grupo para suelos tipo grava.....	26
<b>Tabla 6</b> Sistema Unificado de Clasificación; símbolos de grupo para suelos arenosos.....	26
<b>Tabla 7</b> Suelo de Cimentación .....	27
<b>Tabla 8</b> Categorización de la subrasante en función del CBR (%).....	28
<b>Tabla 9</b> Propiedades de suelos estabilizados.....	29
<b>Tabla 10</b> Funciones principales de algunos geosintéticos.....	34
<b>Tabla 11</b> Especificaciones para bases acorde a la Granulometría.....	40
<b>Tabla 12</b> Parámetros de diseño para bases estabilizadas con asfalto diluido.....	41
<b>Tabla 13</b> Especificación de Subbases acorde a la Granulometría.....	42
<b>Tabla 14</b> Especificaciones de calidad para Cutbacks de Curado Medio y Rápido .....	44
<b>Tabla 15</b> Ensayos de Prueba de Calidad .....	45
<b>Tabla 16</b> Propiedades de agregados utilizados en Mezclas asfálticas en Caliente .....	47
<b>Tabla 17</b> Requisitos de los Asfalto Diluidos de Curado Lento (SC) .....	48
<b>Tabla 18</b> Requisitos de los Asfaltos Diluidos de Curado Medio (MC) .....	49
<b>Tabla 19</b> Requisitos de los Asfalto Diluidos de Curado Rápido (RC).....	50
<b>Tabla 20</b> Período de Diseño en función del tipo de carretera .....	57
<b>Tabla 21</b> Niveles de Tránsito de diseño (ejes equivalentes de 8.2 Ton) .....	58
<b>Tabla 22</b> Niveles de confiabilidad recomendados por AASHTO-93.....	58
<b>Tabla 23</b> Desviación Estándar Normal (Zr) .....	59
<b>Tabla 24</b> Valores recomendados para la desviación estándar total (So).....	60
<b>Tabla 25</b> Índice de Serviciabilidad.....	60
<b>Tabla 26</b> Tiempos de drenaje para capas granulares.....	62
<b>Tabla 27</b> Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles .....	63
<b>Tabla 28</b> Valores típicos de los módulos de capas en pavimentos asfálticos .....	66
<b>Tabla 29</b> Espesores mínimos sugeridos .....	67
<b>Tabla 30</b> Propiedades mecánicas de la Geomalla Biaxial.....	69
<b>Tabla 31</b> Propiedades físicas de la Geomalla Biaxial .....	70
<b>Tabla 32</b> Especificaciones de la Geomalla Biaxial .....	70

<b>Tabla 33</b> Especificaciones para ensayo de Abrasión .....	83
<b>Tabla 34</b> Cuadro de Operacionalización de Variables .....	94
<b>Tabla 35</b> Parámetros de Diseño de Pavimento Flexible Convencional .....	95
<b>Tabla 36</b> Propiedades de las capas de la estructura Pavimento Flexible Convencional.....	98
<b>Tabla 37</b> Diseño de Pavimento Flexible Convencional (Espesores Mínimos)....	99
<b>Tabla 38</b> Diseño de Pavimento Flexible Convencional (Optimización de espesores) .....	100
<b>Tabla 39</b> Espesores del Pavimento Flexible Convencional y Pavimento con Geomalla Biaxial.....	105
<b>Tabla 40</b> Resultados de propiedades mecánicas de materiales granulares de canteras.....	107
<b>Tabla 41</b> Especificaciones técnicas según normativa del MTOP .....	107
<b>Tabla 42</b> Evaluación de parámetros técnicos según normativa del MTOP.....	108
<b>Tabla 43</b> Densidad Específica Bulk .....	109
<b>Tabla 44</b> Estabilidad Seca (Estabilización Granular con asfalto Diluido).....	110
<b>Tabla 45</b> Flujo (Material Granular estabilizado con asfalto diluido).....	111
<b>Tabla 46</b> Propiedades de la Estabilización del Material Granular con Asfalto Diluido - Método Marshall .....	112
<b>Tabla 47</b> Propiedades de capas del Pavimento con Granular estabilizado con asfalto .....	113
<b>Tabla 48</b> Diseño de Pavimento con Material Granular Estabilizado con Asfalto .....	117
<b>Tabla 49</b> Datos para evaluación de deflexión vertical en pavimento convencional .....	118
<b>Tabla 50</b> Datos para evaluación de deflexión vertical en pavimento reforzado con Geomalla Biaxial.....	122
<b>Tabla 51</b> Datos para evaluación de deflexión vertical en pavimento incorporando material granular estabilizado con asfalto.....	124
<b>Tabla 52</b> Cuadro de resumen de espesores totales, SN requerido, SN total y deflexiones de los diseños de pavimentos.....	127
<b>Tabla 53</b> Resultados de la estructura del pavimento flexible sin refuerzo método AASHTO-93 y con refuerzo de Geomallas Biaxiales .....	130

## LISTA DE ECUACIONES

	<b>Pág.</b>
<b>Ecuación 1.</b> Índice de grupo.....	22
<b>Ecuación 2.</b> Cálculo del número estructural (SN) – Ecuación AASHTO-93 .....	56
<b>Ecuación 3.</b> Pérdida de Serviciabilidad.....	60
<b>Ecuación 4.</b> Correlación de CBR de diseño para obtención del Módulo Resiliente (CBR<10%) .....	61
<b>Ecuación 5.</b> Correlación para determinar Módulo Resiliente (CBR= 10-20%)... 61	61
<b>Ecuación 6.</b> Correlación para obtener Módulo Resiente (CBR>20%) .....	61
<b>Ecuación 7.</b> Número Estructural (SN) en función de coeficientes de capas .....	62
<b>Ecuación 8.</b> Determinación del Número Estructural (SN) y el aporte de la Geomalla .....	71
<b>Ecuación 9.</b> Determinación del LCR .....	71
<b>Ecuación 10.</b> Reducción de espesor de Capa de Base con uso de Geomalla.....	73
<b>Ecuación 11.</b> Reducción de espesor de Capa de Asfalto con uso de Geomalla... 73	73
<b>Ecuación 12.</b> Contenido de humedad.....	75
<b>Ecuación 13.</b> Radio del neumático.....	119
<b>Ecuación 14.</b> Deflexión vertical en pavimento flexible .....	120
<b>Ecuación 15.</b> Deflexión admisible .....	126

**“ANÁLISIS ESTRUCTURAL ENTRE: PAVIMENTO FLEXIBLE  
CONVENCIONAL, GEOMALLA BIAxIAL Y MATERIAL GRANULAR  
ESTABILIZADO CON ASFALTO, PARA MEJORAR  
COMPORTAMIENTO MECÁNICO, EN PARROQUIA MANGLARALTO,  
CANTÓN Y PROVINCIA DE SANTA ELENA”**

**Autores:** Angel Leonel Ramírez Alejandro y Elsy Yelena Rojas Chele

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

## **RESUMEN**

La actual investigación tuvo como propósito analizar la estructura de un pavimento flexible convencional frente a dos estructuras que incorporan un material geosintético y un material granular estabilizado con asfalto, respectivamente, que actúan como refuerzo y dotan de mayor capacidad portante respecto al pavimento convencional, mejorando su comportamiento mecánico, llevando a cabo los ensayos clásicos de laboratorio, se logró determinar las propiedades mecánicas de materiales granulares provenientes de canteras que se encuentran dentro del cantón Santa Elena, en función de sus características físico-mecánicas, posteriormente se calificó el material y se ejecutó la estabilización del material granular de la Cantera Juan Montalvo con un porcentaje óptimo de asfalto correspondiente al 4%, se consiguió una estabilidad de 1020 lbs. min que proporciona mayor resistencia al material granular en análisis. Se concluyó que el diseño de pavimento flexible convencional presenta mayores espesores, con un espesor total de 95 cm respecto al pavimento reforzado con Geomalla Biaxial y al pavimento con material granular estabilizado con asfalto, siendo sus espesores totales de 83 cm y 62.5 cm respectivamente, optimizando y reduciendo espesores.

**Palabras Clave:** Pavimento Flexible, Geomalla Biaxial, Material Granular Estabilizado, Asfalto.



**“STRUCTURAL ANALYSIS BETWEEN: CONVENTIONAL FLEXIBLE  
PAVEMENT, BIAXIAL GEOGRID AND GRANULAR MATERIAL  
STABILISED WITH ASPHALT, TO IMPROVE MECHANICAL  
BEHAVIOUR, IN THE PARISH OF MANGLARALTO, CANTON AND  
PROVINCE OF SANTA ELENA”**

**Authors:** Angel Leonel Ramirez Alejandro y Elsy Yelena Rojas Chele

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

## **ABSTRACT**

The current research had the purpose of analyzing the structure of conventional flexible pavements, incorporating a geo-synthetic material and granular material stabilized with asphalt, which act as reinforcement and provide greater bearing capacity to the structure, improving its mechanical behavior. By carrying out classic laboratory tests, we were able to determine the mechanical properties of granular materials from quarries located in the canton of Santa Elena, based on their physical-mechanical characteristics. Subsequently, the material was qualified and the stabilization of the granular material from the Juan Montalvo quarry was carried out with an optimum percentage of asphalt corresponding to 4%, achieving a stability of 1020 lbs. Min, which provides greater resistance to the granular material under analysis. It was concluded that the conventional flexible pavement design presents greater thicknesses, with a total thickness of 95 cm with respect to the Biaxial Geogrid reinforced pavement and the pavement with granular material stabilized with asphalt, with total thicknesses of 83 cm and 62.5 cm respectively, optimizing and reducing thicknesses.

**Key Words:** Flexible Pavement, Biaxial Geogrid, Granular Material Stabilized, Asphalt.

# CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación se enfoca en realizar un análisis entre la estructura de un pavimento flexible convencional frente a otro que incluya un material geo-sintético y un material granular estabilizado con asfalto que permitan disipar los esfuerzos mejorando la resistencia de la estructura de un pavimento flexible y evitar deformaciones a nivel de subrasante con el objetivo de determinar la viabilidad de la implementación del uso de elementos estructurales que actuarán como refuerzo en dicha estructura. Un pavimento debe ser diseñado de tal manera que las cargas impuestas por el tránsito no generen deformaciones permanentes excesivas. En el caso de los pavimentos flexibles estas deformaciones se producen en cada una de las capas. Los vehículos que circulan sobre una estructura de pavimento inducen ciclos de carga y descarga que generan dentro de las capas granulares deformaciones recuperables (resilientes) y permanentes (plásticas).

La ingeniería de pavimentos ha venido desarrollando estudios desde la década de los 60 con el fin de intentar comprender el comportamiento elastoplástico que experimentan materiales granulares cuando conforman capas de base y subbase en estructuras flexibles. La mayor parte de las investigaciones que se han realizado en esta área se han concentrado en estudiar su comportamiento resiliente. (Rondón y Reyes, 2007). Así como también la utilización de la geomalla como refuerzo de la estructura del pavimento flexible, es un método utilizando a nivel mundial para reducir espesores de las capas, prolongar la vida útil del pavimento, logrando vías de comunicación más eficientes y duraderas (Berrospi, 2017).

La pérdida de propiedades funcionales y estructurales de los pavimentos en la actualidad es frecuente debido a los elevados volúmenes de tráfico en las infraestructuras viarias. El refuerzo de geomalla se puede introducir en los pavimentos para mejorar su rendimiento mecánico (Al-Barqawi et al., 2021).

Uno de los objetivos claves de la gestión de pavimentos es desarrollar e implementar una estrategia de construcción y mantenimiento rentables, con el fin

de alcanzar niveles requeridos de servicio y desempeño. Una técnica rentable y sustentable para la rehabilitación de pavimentos es la de estabilización. Las Geomallas utilizadas en refuerzo son soluciones que presentan altas resistencias a la tensión para trabajar en conjunto con los suelos, los cuales presentan resistencia a la compresión, formando sistemas reforzados que generan beneficios en las obras de infraestructura. El confinamiento lateral de los materiales granulares (Base o Subbase) se logran a través de la fricción y trabazón de la Geomalla con el agregado. Esto se presenta debido a que los módulos de los materiales granulares dependen del estado de esfuerzos, al aumentar el confinamiento lateral, aumenta el módulo de la capa granular sobre la Geomalla (Palma, 2012).

Un incremento del contenido de agua en materiales granulares genera una disminución notable de su resistencia a la deformación permanente. Un aumento en la densidad del material genera un aumento en la resistencia a la deformación permanente, pero esta influencia es leve (para el caso del rango de densidades encontradas en pavimentos) en comparación con la influencia que tiene la magnitud de las cargas y el contenido de agua. Materiales con partículas angulares presentan mayor resistencia a la deformación permanente que aquellos con partículas redondeadas (Rondón y Reyes, 2009).

El capítulo I, contiene los aspectos generales en los que se fundamenta la investigación, siendo de mucha importancia destacar una breve introducción, los antecedentes, el problema que gira en torno al estudio, las hipótesis, los objetivos, el alcance y las variables. En el capítulo II, se detalla el marco teórico, que reúne los conceptos principales que se deben considerar para el análisis estructural de un pavimento flexible convencional, un pavimento estructuralmente reforzado con geomalla biaxial y otro compuesto por un material granular estabilizado con asfalto para mejorar el comportamiento mecánico. El capítulo III comprende la metodología usada para el desarrollo eficaz de la investigación y de análisis de los tres tipos de estructura de pavimento propuesto, en el capítulo IV se presentan los resultados obtenidos en esta indagación y se realiza la discusión de estos resultados en correspondencia a los antecedentes internacionales y nacionales; ultimando con el capítulo V que describe las respectivas conclusiones y recomendaciones de este trabajo de titulación.

## **1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

Las carreteras se encuentran sometidas a cargas dinámicas, puntuales y cíclicas considerables debido a la circulación de los vehículos, cuyas cargas producen agrietamientos que, bajo acción y presencia del agua, dan celeridad al proceso de deterioro de la estructura del pavimento flexible. También se requiere del análisis de una serie de parámetros de los cual los más importantes son el diseño de tráfico y el cálculo del módulo de resiliencia. (Miranda, 2019)

El deterioro en el pavimento se produce, entre otras razones debido a la aplicación reiterada de las cargas de tráfico, conocido como efecto dinámico, este proceso puede desarrollar una falla estructural del pavimento deteriorándolo de forma acelerada. Los factores ambientales producidos por las condiciones del clima, como las variaciones en la temperatura o la humedad en la subrasante, también pueden originar deterioros de carácter estructural. Los ciclos de humedad y sequedad (o congelación y descongelación) pueden causar el deterioro de la capa de base. Los procesos constructivos también afectan el comportamiento del pavimento. El uso de suelos con exceso de finos, que se consideran plásticos, puede ocasionar un rápido desgaste del pavimento. Se dan algunas recomendaciones relacionadas con el diseño estructural de pavimentos reciclados; seguidamente se presentan las alternativas para la recuperación superficial de pavimentos y por último la recuperación profunda de pavimentos asfálticos. Dentro de la recuperación y mantenimiento se han aplicado nuevas tecnologías para la recuperación profunda de pavimentos flexibles: 1) Base granular estabilizada con asfalto espumado; 2) Base granular estabilizada con cemento y asfalto espumado; 3) Base granular estabilizada con cemento y Geosta K1 (Paris y Pastrana, 1999).

Una de las estructuras viales más utilizadas a nivel nacional e internacional, es el pavimento flexible por el costo relativamente económico y la disponibilidad de materiales que se requiere para su ejecución, ésta estructura vial debido a la complejidad de factores que intervienen en su diseño y ejecución debe estar sujeto a la experimentación y a las modificaciones permanentes considerando las características del lugar y condiciones ambientales, las capas granulares a usar y el suelo o terreno de fundación. Además, el país al poseer una gran variabilidad

geomorfológica, que comprende la costa, sierra y selva, cabe la probabilidad de encontrar suelos, granulares, cohesivos y hasta orgánicos de buena y baja capacidad portante respectivamente. Dentro de estas variedades de suelos, los suelos que se definen como de difícil manejo o problemáticos son aquellos caracterizados como de baja resistencia y expansividad, los que originarán “problemas serios en el proceso constructivo como en el comportamiento posterior de la estructura del pavimento”. (Orejon, 2018)

En el campo de la ingeniería civil el suelo siempre supone un problema durante la construcción de obras civiles que van a estar situadas sobre éste. En una carretera la subrasante no siempre es adecuada para su diseño por lo que es necesario realizar un mejoramiento del suelo para su utilización. Varios suelos que se encuentran en estado natural no cumplen con los requisitos para su construcción por lo que el ingeniero civil deberá decidir entre aceptar el suelo tal como se encuentra y diseñar según la calidad de esa materia, remover el suelo y sustituirlo por uno de mejor característica o alterar las propiedades del suelo para que cumplan con los requerimientos para su diseño. (Guamán, 2016)

La provincia de Santa Elena carece de materiales que cumplan con los requerimientos técnicos para ser considerados como materiales de base en el proceso constructivo, sus principales canteras o sitios de extracción de material califican como materiales para subbases. Ante los problemas anteriormente citados la Parroquia Manglaralto, ubicada al norte de la provincia de Santa Elena cuya población y territorio están en vías de desarrollo de gran importancia en el sector turístico, agrícola, pesquero, etc.; presenta deficiencias en su sistema vial que son una constante conforme avanza el tiempo y que por falta de estudios e implementación de nuevas tecnologías, como la planteada en la presente investigación, se busca resolver los problemas de agrietamientos, fisuras o fallas que suelen aparecer de manera temprana debido a la baja capacidad portante de los suelos en el que se asienta una estructura de pavimento y a las condiciones del clima.

De los estudios técnicos existentes de suelos e investigaciones de campo realizados en la zona norte de la provincia de Santa Elena, específicamente en la parroquia

Manglaralto indican que los suelos no cumplen con las características mínimas de una subrasante regular que posee baja capacidad portante, obteniendo subrasantes de mala calidad lo que abre paso a incluir espesores de capa mayores en el diseño del pavimentos flexibles, con el fin de reducir espesores además de proveer de mayor resistencia y aumentar los años de vida de la estructura, se propone incluir el uso de geo sintéticos (Geomalla Biaxial) como refuerzo y material estabilizado con asfalto para brindarle un mejor comportamiento mecánico al pavimento y de esta manera la estructura pueda absorber uniformemente los esfuerzos de tensión y evitar que lleguen a nivel de subrasante lo que provocaría deformaciones causadas por el tráfico vehicular.

La formulación de la problemática de la investigación se plantea en función del cuestionamiento general que gira entorno a: ¿Cuáles son las condiciones de diseño para el análisis estructural que inciden en el comportamiento mecánico en un diseño de pavimento flexible en la parroquia Manglaralto, cantón y provincia de Santa Elena?, de la cual se despliegan dos problemas específicos: ¿Qué parámetros teóricos en base a especificaciones técnicas se consideran en el sitio de estudio para el análisis estructural del diseño de pavimento flexible convencional?, y ¿Qué parámetros se establecen para la evaluación estructural del diseño de pavimento flexible con geomalla biaxial y pavimento compuesto de material granular estabilizado con asfalto?

## **1.2. ANTECEDENTES**

De acuerdo con Orozco y Díaz (2018), los antecedentes de la investigación también considerados “estado de la cuestión” son el conjunto de estudios previos que se han realizado sobre el tema que como investigadores se decidió indagar, estos pueden ser antecedentes teóricos o antecedentes de campos realizados a nivel internacional, nacional y local. En referencia a lo anterior se destacan los siguientes:

En el ámbito internacional, la investigación de Al-Barqawi et al. (2021), titulada “POLYMER GEOGRIDS: A REVIEW OF MATERIAL, DESIGN AND STRUCTURE RELATIONSHIPS”, tuvo como finalidad presentar una revisión de la literatura sobre la tecnología de materiales de geomallas en las últimas tres

décadas para promover el estado actual de la ciencia del desarrollo de geomallas, incluidos los usos, los tipos principales, el rendimiento, la eficiencia, las técnicas de construcción y otros avances para la detección estructural. Esta revisión representa una mirada integral a la literatura sobre geomallas con tres secciones. La primera sección sobre características física-químicas cubre la microestructura y los comportamientos ambientales en los principales productos de geomalla actualmente en el mercado (geomallas uniaxiales, biaxiales y triaxiales). Se revisan los comportamientos microestructurales y ambientales para las propiedades físico-mecánicas, el daño de la instalación y los efectos de los defectos. La segunda sección de esta revisión se ocupa de las geomallas en la estructura y cómo se comportan. Aquí se observa el efecto de la interacción suelo-geomalla y cómo las geomallas se han desempeñado como refuerzo no solo en el suelo, sino también en aplicaciones de asfalto, concreto y muros de contención. Más allá de los estudios de laboratorio, se evaluaron los enfoques y resultados para la evaluación in situ del refuerzo y estabilización de suelos y estructuras. Finalmente, la última sección analiza la caracterización avanzada en geomallas y cómo se han utilizado para detectar las condiciones del subsuelo y se han integrado con métodos eléctricos y ópticos, se evaluaron los enfoques y resultados para la evaluación in situ del refuerzo y estabilización de suelos y estructuras. Esta revisión destacó el comportamiento de las geomallas y las oportunidades futuras. Ellos concluyeron que los efectos de las formas de apertura, las direcciones de carga, la oxidación, la temperatura y la presión en las geomallas influyen significativamente en las características y el rendimiento de las geomallas. El impacto de la selección de materiales muestra una amplia variedad de opciones disponibles y existen más oportunidades para mejorar la resistencia a la fluencia de los materiales que tienen una temperatura de transición vítrea baja, además de las geomallas uniaxiales, biaxiales y triaxiales tienen claras ventajas, pero se necesita más orientación de los fabricantes sobre cuándo usar qué material debido a la variedad de opciones posibles.

La indagación también se sustenta en el estudio expuesto por los autores Caballero y Yauri (2021): “DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON EL USO DE GEOMALLAS EN LA CARRETERA DEL CENTRO POBLADO DE LLACTASH, INDEPENDENCIA, HUARAZ-2021”, la cual tuvo como objetivo

general realizar el diseño de pavimento flexible, haciendo uso de geomallas en el centro poblado Lactash, Independencia, Huaraz 2021. Analizar las propiedades mecánicas del suelo y comparar el diseño de pavimento flexible tradicional con el diseño de pavimento flexible con el uso de geomalla. Con respecto a los resultados se realizó el diseño de pavimento flexible mediante la metodología AASHTO 93, dando como resultado los espesores de la carpeta estructural: Carpeta asfáltica 5cm, capa base 23 cm y capa subbase 24 cm. Posteriormente se desarrolló el diseño de pavimento flexible con el uso de geomalla biaxial Tensar BX 4100, dando como resultado los espesores de la carpeta estructural: Carpeta asfáltica 5cm, capa base 20 cm y la capa subbase 12.33 cm. Al comparar ambos diseños, concluyeron que hay disminución de espesores en la capa base de un total de 13.05% y la reducción es el espesor de la subbase es de un total de 48.62%.

En el contexto internacional, Vargas (2021), “USO DE GEOMALLAS BIAXIALES PARA EL REFUERZO DE PAVIMENTOS DE LA AV. FERROCARRIL DISTRITO-VILLA MARÍA DEL TRIUNFO-LIMA 2021”. Menciona que la presente investigación tuvo como objetivo principal analizar si la Geomalla Biaxial mejora en el comportamiento mecánico en el pavimento de la Avenida ferrocarril en el distrito de Villa María del Triunfo, el proyecto de esta investigación cuenta con las variables: Uso de Geomallas Biaxiales para el refuerzo de pavimentos, el diseño de esta investigación es experimental, el enfoque cuantitativo y el tipo de investigación es de carácter aplicada, la metodología consistió en la realización de las 3 calicatas entre el Jirón Ica y Jirón Cajamarca con una distancia de separación cada 100 metros de tal manera que al extraer las muestras se llevó al estudio de granulometría y el CBR en el laboratorio JJ GEOTECNIA SAC, obteniendo los resultados una muestra patrón de 14.5% y la segunda muestra más el refuerzo con Geomalla en 21.3% de tal manera que hubo un incremento del CBR en un 6.8% , como conclusiones se tuvo que el uso de Geomallas Biaxiales logró mejorar las propiedades mecánicas del suelo y por ende un mejor comportamiento y desempeño al momento de recibir las cargas en dos direcciones (biaxial) que son transmitidas por vehículos reduciendo las fallas comunes como piel de cocodrilo, grietas y baches.



Otro estudio en el medio internacional, corresponde a Guzman (2018), que expresa en su trabajo: “INFLUENCIA DE LOS GEOSINTÉTICOS EN EL DIMENSIONAMIENTO DE LOS ESPESORES DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE”. Cuyo objetivo es establecer la influencia de los geosintéticos en el dimensionamiento de los espesores de las capas del pavimento flexible, la hipótesis que debe verificarse es: el hecho de aplicar los geosintéticos en el dimensionamiento logra reducir los espesores de las capas del pavimento flexible. Por naturaleza del estudio el tipo de investigación es aplicada, nivel descriptiva-explicativa, con un método deductivo y diseño no experimental transversal explicativo, la población considerada es la zona urbana del distrito de Huamali, y la muestra conformada por 7 vías locales con un promedio de 3.4 km. Se concluye que, del dimensionamiento de los espesores de las capas del pavimento flexible, se logró determinar que el geosintético tipo geomalla ó BPBX12 (30 KN/m) influye en la reducción del espesor de las capas diseñadas entre 3 a 5 cm.

En el ámbito nacional, se puede citar el estudio de Gavilanes (2012), basado en el “DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO CON REFORZAMIENTO DE GEOSINTÉTICOS APLICADO A UN TRAMO DE LA CARRETERA ZUMBAHUA-LA MANÁ”. La mencionada investigación tuvo como objetivo realizar un análisis sobre el diseño de la estructura del pavimento tradicional y la estructura del pavimento reforzada con geomalla biaxial aplicada a un tramo de la carretera Latacunga – Zumbahua – La Maná. Para realizar el diseño de la estructura del pavimento no reforzada y reforzada se requiere del estudio, análisis y recopilación de una serie de parámetros para poder calcular los espesores de las capas que van a conformar estas estructuras, dichos parámetros son el análisis del clima de la zona, el análisis del tráfico vehicular que existió antes de la ampliación de la carretera, el tráfico que se va a generar con la ampliación de la misma y el tráfico que se va asignar a esta para determinar el diseño más adecuado, se realizó varios ensayos en campo y en laboratorio para determinar el tipo de suelo predominante en el tramo experimental, se determinó la densidad máxima y humedad óptima del tramo para calcular la capacidad portante que tiene el suelo y obtener el valor del CBR de diseño, se realizó ensayos para clasificar al material granular que se utilizó en las capas granulares mediante las especificaciones del Ministerio de Transportes y Obras Públicas, se realizó el ensayo de Estabilidad

Marshall entre otros para obtener las características de la mezcla asfáltica que va a conformar la estructura. El diseño de la estructura de pavimento obtenida con el Método de la Asociación Americana de funcionarios de Carreteras y Transportes Estatales, por sus siglas en inglés (AASHTO 93) Capa por Capa determina los números estructurales necesarios de la base, subbase y subrasante, utilizando los módulos de elasticidad respectivos, para determinar la distribución de los espesores, garantizando que estos sean óptimos para la transmisión de las cargas provenientes del tráfico vehicular. En los análisis de precios unitarios realizados se demuestra que el costo de la estructura de pavimento reforzado con geomalla biaxial Tipo A son menores a los de la estructura tradicional evidenciando que un pavimento con geomalla biaxial mejora la resistencia de las diferentes capas y reduce los espesores de ésta lo que garantiza ahorro en material, mano de obra y equipo, al existir menor uso de maquinaria en la excavación, transporte e instalación de la geomalla y los materiales.

Teniendo en cuenta a Rosero (2013), destaca en su indagación “BASES ESTABILIZADAS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA PAVIMENTOS (APLICACIÓN CALLE NOGALES PARROQUIA NAYÓN L= 1.0 KM)”, que tuvo como propósito demostrar las ventajas de utilizar emulsión asfáltica para estabilizar materiales granulares deficientes, como los provenientes de las Minas de Pomasqui y la Mitad del Mundo, para su uso en la capa de base en pavimentos. Para esto, se determinaron las propiedades físicas y mecánicas de los agregados, y luego se conformó una mezcla de agregados que cumpla con los requerimientos expuestos en normas técnicas. La determinación de la cantidad de emulsión asfáltica a emplear fue realizada mediante el Método Marshall Modificado para mezclas en frío. Con base a los resultados de estabilización obtenidos, se procedió a realizar el diseño de la aplicación en la calle Nogales, parroquia de Nayón, en una longitud de un kilómetro, habiendo demostrado que el uso de esta técnica es una alternativa factible que presenta un beneficio aceptable, a un bajo costo.

En el contexto nacional, el investigador Quiroz (2017), en su investigación “COMPARACIÓN ENTRE LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA, Y LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON ASFALTO Y DIÉSEL PARA DETERMINAR CUÁL ESTABILIZACIÓN

PROPORCIONA MAYOR DENSIDAD APARENTE Y RELACIÓN DE SOPORTE CBR”. Estableció como objetivo comparar la estabilización del esfuerzo del suelo con emulsión asfáltica, y la estabilización con asfalto y diésel para determinar qué estabilización proporciona mayor densidad aparente y valor relativo de soporte CBR. El mismo que se llevó a cabo a partir de diferentes ensayos, el planteamiento de la hipótesis se puede corroborar mediante la realización de los ensayos tanto como CBR y Proctor, para lo cual fueron tomadas muestras de suelo en dicho sector. Una vez realizados los ensayos respectivos se comprobó que la hipótesis planteada es correcta y se puede establecer la correlación entre cada ensayo, consecuentemente se procedió a la tabulación, análisis e interpretación de los datos alcanzados en el trabajo de campo, consiguiendo valores de CBR de cada muestra, los mismos que permitirán determinar las propiedades del suelo y los diferentes usos que se le puede dar en dicho sector. Determinó que el suelo con el asfalto y emulsión asfáltica en caliente dio como densidad aparente el valor de 2.484 gr/cm<sup>3</sup>, cuyo valor permite encontrar el CBR puntual, el mismo que da el esfuerzo portante del suelo. Numéricamente no se puede diferenciar una cantidad mayor, y se determina que son idénticos en capacidad portante. Detallando los ensayos realizados, el primer CBR tiene un valor de 60 correspondiente a la estabilización de suelo con el 9 % de Emulsión Asfáltica, el segundo valor es de 59 correspondiente a la estabilización de suelo con el 3% de Asfalto y el 6% de Diésel, obteniendo el resultado base para cualquier estudio vial.

En el contexto local, no existen investigaciones que planteen el diseño de pavimentos flexibles incluyendo Geomalla Biaxial y Material Granular estabilizado con asfalto, no obstante, se cita la investigación de Jordan y Suárez (2017), “DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES CON EL USO DE GEOSINTÉTICOS COMO REFUERZO APLICADO EN LAS VÍAS DE ACCESO A LA CIUDADELA LA MILINA DEL CANTÓN SALINAS”. El objetivo del estudio fue analizar el uso de Geosintéticos como refuerzo en el diseño de pavimentos flexibles para mejorar comportamiento estructural que se aplica a las vías de acceso a la ciudadela La Milina del cantón Salinas. Para el “Diseño del Pavimento Flexible” se requerirán parámetros para realizar el correcto análisis y cálculo de los determinados espesores en la estructura reforzada y no reforzada de cada método que se utilizará. Se hará un estudio de tráfico vehicular en las vías de

acceso a la ciudadela La Milina del cantón Salinas y se realizará diferentes tipos de ensayos de suelos en el Laboratorio de la Carrera de Ingeniería Civil ubicado en la Universidad Estatal Península de Santa Elena, los cuales servirán para determinar la calidad y capacidad portante del suelo. Se realizó el diseño de pavimento por medio del método del ASSTHO 93 en base al número estructural de la Sub-rasante y análisis de capas. Y para demostrar la efectividad de las Geomallas Bi-orientadas o Biaxiales se realizó el diseño reforzado con Geomallas mediante el Método de PAVCO que está orientado y modificado en base al diseño tradicional del ASSTHO 93. Así mismo con la utilización de esta tecnología se demuestra una reducción significativa de los espesores de las capas de la estructura del pavimento flexible, por lo que, se puede obtener una reducción de costos en la construcción de pavimentos flexibles.

Asimismo, Zambrano y Zavala (2019), en su investigación, “ESTUDIO DE SUELO Y ESTABILIZACIÓN DEL MATERIAL GRANULAR EXISTENTE CON EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE, EN LA VÍA LIBERTADOR BOLÍVAR-SITIO NUEVO DE LONGITUD 5 KM, DEL CANTÓN SANTA ELENA, PROVINCIA DE SANTA ELENA”. En el presente trabajo de investigación pretende demostrar que el mejoramiento del material granular existente de la vía Libertador Bolívar - Sitio Nuevo, sea factible para el uso como capa base de la estructura del pavimento, por medio de la incorporación de la emulsión asfáltica. Para esto se determinaron las características físicas-mecánicas del material granular comparándolos con los requerimientos expuestos en las normas técnicas del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), y posteriormente se diseñó una mezcla con distintos porcentajes de emulsión asfáltica. La determinación del porcentaje óptimo de emulsión asfáltica para este tipo de materiales en sitio fue obtenida mediante el método de ensayo Marshall para mezclas en frío. En base a los resultados obtenidos a través de los ensayos de laboratorio, se procedió a realizar el diseño de la estructura del pavimento flexible con base estabilizada, y se culminará con un análisis de costo por metro cuadrado que representará este tipo de estabilización del material en sitio como una alternativa constructiva para la vía de estudio.

## **1.3. HIPÓTESIS**

### **1.3.1. Hipótesis General.**

La implementación de geomallas biaxiales y granulares estabilizados con asfalto en la construcción de vías en el medio local disminuirán o reducirán significativamente el proceso de reflexión de grietas o fisuras en la superficie de rodadura, además de reducir espesores optimizando el dimensionamiento de capas en pavimentos flexibles convencionales.

### **1.3.2. Hipótesis Específicas.**

**H.E1.:** El diseño de una estructura de pavimento flexible convencional permitirá determinar los espesores de capas que se obtienen bajo condiciones de alto tráfico.

**H.E2.:** El diseño estructural de un pavimento flexible reforzado con Geomalla Biaxial mejorará el comportamiento mecánico de la estructura y a su vez reducirá y optimizará espesores.

**H.E3.:** La implementación de material granular estabilizado con asfalto mejorará la capacidad estructural en el diseño del pavimento flexible reduciendo y optimizando el dimensionamiento de espesores de capas.

## **1.4. OBJETIVOS**

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

Analizar estructuralmente un Pavimento Flexible Convencional, un Pavimento Flexible reforzado con Geomalla Biaxial y otro que incorpora Material Granular Estabilizado con Asfalto mediante métodos teóricos y experimentales para evaluar mejora del comportamiento mecánico.

### **1.4.2. Objetivos Específicos.**

**O.E1.:** Diseñar un pavimento flexible convencional mediante especificaciones de la AASHTO-93 para la evaluación de su comportamiento mecánico.

**O.E2.:** Realizar un análisis estructural del diseño del pavimento flexible reforzando con geomalla biaxial mediante el uso del software de diseño Geosoft para aumentar su capacidad, optimizar y reducir espesores.

**O.E3.:** Implementar material granular estabilizado con asfalto al diseño del pavimento flexible por medio de ensayos de laboratorio y requerimientos técnicos para la reducción y optimización en el dimensionamiento de espesores de capas.

## **1.5. ALCANCE**

Se llevará a cabo la investigación mediante recopilación de información existente, recolección de datos e investigaciones sobre el proceso constructivo de un pavimento flexible con su respectivo estudio del material granular para su estabilización con asfalto y además obtener información técnica sobre geomalla biaxial, en el ámbito constructivo que conduzcan al correcto desarrollo de la presente investigación que beneficia al sistema vial de la parroquia Manglaralto cuya población aproximada es de 30 000 habitantes, parroquia perteneciente al cantón y provincia de Santa Elena.

Este estudio es mediante la ejecución de diseños de pavimentos flexibles bajo tres modalidades: Pavimento Convencional, Pavimento reforzado con geomalla biaxial y Pavimento implementando un material granular estabilizado con asfalto, dará a conocer los beneficios desde el punto vista estructural que se obtienen de la implementación de una estructura bidimensional de polipropileno y una estabilización con asfalto del material granular como parte de mejorar el comportamiento mecánico en la construcción de una vía.

## **1.6. VARIABLES**

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

- ✓ Análisis estructural de un pavimento flexible convencional.
- ✓ Análisis estructural de un pavimento flexible con geomalla biaxial.
- ✓ Análisis estructural de un pavimento con material granular estabilizado con asfalto.

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

- ✓ Mejorar comportamiento mecánico

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. DEFINICIÓN DE SUELO**

En el sentido general de la ingeniería, suelo se define como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) junto con el líquido y gas que ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas. El suelo se usa como material de construcción en diversos proyectos de ingeniería civil y sirve para soportar las cimentaciones estructurales. Por esto, los ingenieros civiles deben estudiar las propiedades del suelo, tales como origen, distribución granulométrica, capacidad para drenar agua, compresibilidad, resistencia cortante, capacidad de carga, y otras más. (Das, 2021)

El suelo es el material de construcción más abundante del mundo y en diversas zonas constituye, de hecho, el único material disponible localmente. Cuando el ingeniero usa el suelo como material de construcción debe seleccionar el tipo de suelo adecuado, así como el método de colocación y, luego, controlar su colocación en obra. Ejemplos de suelo como material de construcción son las presas en tierra, rellenos para urbanizaciones o vías. (Duque y Escobar, 2002)

#### **2.1.1. Origen.**

Hay que considerar en primer término la roca madre; el suelo tendrá indiscutiblemente una tendencia congénita a ser arcilloso, limoso, arenoso, según que la roca sea arcillosa, limosa, o arenosa, en el caso de rocas sedimentarias y sedimentos, o bien que sea capaz de producir esos elementos en el curso de su alteración, si se presenta al estado de roca consolidada y coherente. Esta tendencia puede ser favorecida o contrarrestada por la evolución. El humus aparece normalmente con todos los factores que condicionan su naturaleza (vegetación, clima, medio pedológico, etc.).



El suelo puede entonces enriquecerse con humus cálcico y estabilizarse, o puede descalcificarse y ser lixiviado. En este caso, la proporción de arcilla disminuye en la superficie y aumenta en la profundidad. El humus puede dar lugar a migraciones capaces de transformar radicalmente la textura original, como por ejemplo en la podzolización. Mientras se produce esta evolución, la alteración de la roca madre puede continuar, puede enlentecerse y hasta detenerse. (Rucks et al., 2004).

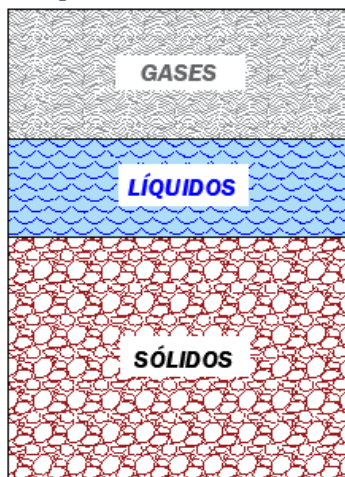
A través de un proceso de desintegración mecánica y descomposición química, las rocas de la corteza terrestre forman los materiales sueltos que se encuentran en ella. Algunos ingenieros civiles (A. Rico y H. del Castillo) definen al suelo como el conjunto de partículas minerales, producto de la desintegración mecánica o de la descomposición química de rocas preexistentes. (Villalaz, 2005)

### 2.1.2. Composición de los suelos.

Un suelo está constituido por tres partes, una parte sólida, otra líquida y otra gaseosa: La **parte sólida** está formada en su mayoría por minerales del suelo, la **parte líquida** está compuesta de agua, aunque en el suelo puedan existir otros líquidos de menor significación, la **parte gaseosa** la comprende principalmente el aire, pero también pueden estar presente otros gases (vapores, sulfuros, anhídrido carbónico, etc.)

**Figura 1**

*Composición del suelo*



*Nota. Esquema trifásico del suelo. Tomado de (Das, 2021)*

### **2.1.3. Propiedades del suelo.**

Los principales efectos de las propiedades del suelo están asociados con aquellos factores que mejoran la capacidad para el aire y la permeabilidad de los suelos. Estas son: textura, estructura, cantidad de agua y contenido de materia orgánica. Boynton y Reuther (1938, Baver, 1956) estudiaron el efecto de la humedad y la profundidad sobre la composición del aire del suelo en O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>. Los resultados obtenidos indican que cualquiera sea la estación del año, el porcentaje de CO<sub>2</sub> aumenta con la profundidad. Lo inverso sucede con el O<sub>2</sub>. Es interesante ver las variaciones del O<sub>2</sub> por debajo de los primeros 30 cm del suelo con relación a la humedad. Durante los meses de invierno el contenido de O<sub>2</sub> varía de 0.15 a 0.25%. Cuando el suelo se seca el O<sub>2</sub> de las capas inferiores aumenta rápidamente. (Rucks et al., 2004).

### **2.1.4. Resistencia Mecánica.**

Tanto la capacidad de soporte como la cohesión son propiedades que dependen de las características intrínsecas del suelo, de las tensiones internas dadas por el potencial mátrico y de las tensiones externas, dadas por el tipo de carga y el manejo (Horn y Rostek, 2000).

El ajuste lineal en los suelos arcillosos está indicando que, para el rango de cargas analizadas, los aumentos de capacidad de soporte y cohesión mantienen su proporcionalidad, producto de la gran cohesión desarrollada por las tensiones internas generadas en el material arcilloso. Es decir, la mayor capacidad de soporte estaría generada por el acercamiento de las partículas y el aumento de la cohesión (Seguel y Orellana, 2008).

## 2.2. ENSAYOS DE LABORATORIO

### 2.2.1. Granulometría.

El ensayo de análisis granulométrico corresponde a la Norma ASTM D421-85 – Práctica estándar para la preparación en seco de muestras de suelo para el análisis del tamaño de partículas y la determinación de constantes de suelo, ASTM D422-63: Método de prueba estándar para análisis de tamaño de partículas de suelo.

Se refiere a la determinación de la cantidad en por ciento de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo. Para el conocimiento de la composición granulométrica de un determinado suelo existen procedimientos diferentes. Mediante el tamizado podemos clasificar por tamaños las partículas gruesas. (Alegria, 2019)

Para un ensayo granulométrico, se hace pasar una muestra de suelo a través de una serie de tamices, con sus respectivos tamaños de abertura de forma decreciente. Algunas clasificaciones granulométricas de los suelos según sus tamaños son los siguientes:

#### 2.2.1.1. Clasificación Internacional.

**Tabla 1**

*Clasificación internacional*

Tamaño en mm				
2	0,2	0,02	0,002	0,0002
Arena Gruesa	Arena Fina	Limo	Arcilla	Ultra-Arcilla (coloides)

*Fuente. Tomado de (Villacrés, 2022).*

#### 2.2.1.2. Classification de Massachusetts Institute of Technology (M.I.T.)

**Tabla 2**

*Classification de Massachusetts Institute of Technology (M.I.T.)*

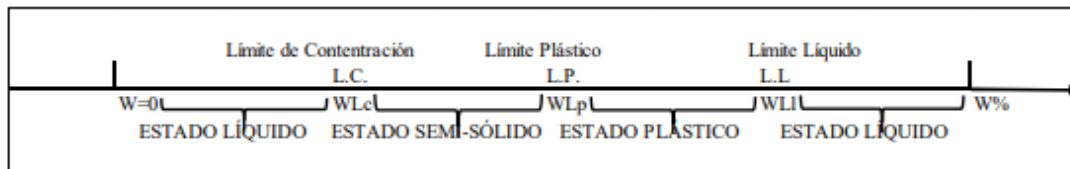
Tamaño en mm								
2,0	0,6	0,2	0,06	0,02	0,006	0,002	0,0006	0,0002
Gruesa	Media	Fina	Gruesa	Media	Fina	Gruesa	Media	Fina
<b>Arena</b>			<b>Limo</b>			<b>Arcilla</b>		

### 2.2.2. Límites de Atterberg.

Los límites de Atterberg, también denominados límites de consistencia, destacando el límite líquido (LL) y el límite plástico (LP) se encuentran entre los parámetros más importantes en la identificación y clasificación geotécnica de suelos. A pesar de su relevancia y amplia utilización, los métodos normalizados para determinarlos apenas han sufrido cambios desde que estos fueran definidos hace ya más de cien años; cuya Normativa corresponde a ASTM D4318 – Metodología de prueba para la determinación de los límites líquido, plástico e índice de plasticidad.

**Figura 2**

*Consistencia del suelo*



*Fuente: (Crespo, 2004, p. 69)*

**Límite líquido (LL):** “El límite líquido se define como el contenido de humedad expresado en por ciento con respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico” como citó en (Zambrano y Zavala, 2019).

**Límite Plástico (LP):** “El límite plástico se define como el contenido de humedad, expresado en por ciento con respecto al peso seco de la muestra secada al horno, para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico” como citó (Zambrano y Zavala, 2019).

La diferencia entre el límite líquido y límite plástico es el **Índice Plástico**, está representado por el límite de humedad del estado plástico de un suelo.

$$IP = LL - LP$$

### **2.2.3. Gravedad Específica.**

La Norma ASTM D854-14 – Métodos de prueba estándar para la gravedad específica de sólidos del suelo por agua picnómetro indica que la gravedad específica de un agregado es útil para determinar la relación peso-volumen del agregado compactado y así calcular el contenido de vacíos en las mezclas asfálticas en caliente compactado. Por definición, la gravedad específica de un agregado es la relación del peso por unidad de volumen de un material respecto del mismo volumen de agua a aproximadamente 23 ° C.

El método de trabajo del laboratorio para determinar la gravedad específica es un método indirecto puesto que para medir el volumen del suelo se mide el volumen del agua desplazada. Al ejecutar este ensayo se usa la ASTM C 127 para la determinación de la gravedad específica y la absorción del agregado grueso y la ASTM C 128 para la determinación de la gravedad específica y absorción de agregados finos. (Atala, 2011)

### **2.2.4. Proctor Modificado.**

En la Normativa ASTM D1557-12e1 – Métodos de prueba estándar para características de compactación en el laboratorio de suelos usando esfuerzo modificado explica que el ensayo se emplea para determinar, en un suelo o capa granular, la relación entre la densidad seca y la humedad para una energía de compactación dada, y definir la densidad seca máxima y su humedad correspondiente, denominada óptima, que se puede conseguir con ese suelo en el laboratorio. Así, los resultados del ensayo serán utilizados como referencia para el control de calidad de la compactación en obra.

La diferencia que existe con el Proctor Normal radica en los valores de los parámetros básicos, además los instrumentos que se emplean como la masa (4535 kg) y el molde de las probetas (2320 cm<sup>3</sup>) son de mayores dimensiones, en lugar de compactar 3 capas de material granular, se compactan 5 capas, siendo necesario dar a cada capa 60 golpes que deben distribuirse uniformemente sobre la superficie del material. (López, 2020)

### **2.2.5. CBR (California Bearing Ratio).**

La Norma ASTM D1883-16: Método de prueba estándar para California Bearing Ratio (CBR) de suelos compactados en laboratorios indica que el ensayo se realiza normalmente, sobre una muestra de suelo preparada en el laboratorio en determinadas condiciones de humedad y densidad, un pistón circular penetra una muestra de suelo a una velocidad constante. El CBR se expresa como la relación porcentual entre el esfuerzo requerido para que el pistón penetre 2.54 o 5.08 mm dentro de la muestra de ensayo, y el esfuerzo que se requirió para penetrar las mismas profundidades de una muestra patrón de grava bien gradada.

Este método de ensayo se emplea para evaluar la resistencia potencial de materiales de subrasante, subbase y base, incluyendo materiales reciclados, para su empleo en pavimentos de carreteras y pistas de aterrizaje. El valor de CBR obtenido en esta prueba forma parte integral de varios métodos de diseño de pavimentos flexibles (Palomino, 2016).

### **2.3. CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN AASHTO Y SUCS**

Teniendo en cuenta que en la naturaleza existen una gran variedad de suelos, la ingeniería de suelos ha desarrollado algunos métodos de clasificación de estos. Cada uno de estos métodos, tienen, prácticamente, su campo de aplicación según la necesidad y uso que los haya fundamentado. (Montejo, 2002), pág. 43).

Actualmente en el campo de la Ingeniería Civil para el desarrollo de los estudios de suelos, se utilizan los sistemas de clasificación de suelos de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) para carreteras y aeropistas y el Unified Soil Classification System conocido como Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.) para otras obras.

### 2.3.1. Clasificación de los suelos AASHTO.

En este sistema los suelos inorgánicos se clasifican en siete grupos con una nomenclatura que va desde el A-1 al A-7, y estos a su vez se dividen en: A-1-a, A-1-b, A-3, A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7, A-4, A-5, A-6, A-7-5, A-7-6, dando un total de 12 subgrupos los mismos que dependen en gran medida del análisis granulométrico y de los límites de Atterberg. Además, estos siete grupos se dividen en dos categorías de suelos, que son suelos granulares: que constituye los grupos A-1, A-2 y A-3 con una característica en donde el 35% o menos del material fino pasa por el tamiz No. 200; también se tiene los suelos finos limos arcillosos que constituye los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 con una característica en donde más del 35% del material fino pasa por el tamiz No. 200.

Cabe recalcar que existe otro grupo en la clasificación de los suelos AASHTO que corresponde al A-8, en esta clasificación van todos los suelos con una elevada proporción de materia orgánica.

Si se quiere evaluar la calidad del suelo como material de terraplenes, subrasantes, bases y subbases de carreteras, se debe calcular el índice de grupo (IG) y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$IG = (P_{200} - 35) [0,2 + 0,005(LL - 40)] + 0,01(P_{200} - 15) (IP - 10) \quad (1)$$

Donde:

**P<sub>200</sub>**= Porcentaje de suelo que pasa por el tamiz No. 200, expresado en número entero

**LL**= Límite Líquido

**IP**= Índice Plástico

**Tabla 3**

*Clasificación de suelos por el método AASHTO*

<b>CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL MÉTODO AASHTO</b>													
<b>CLASIFICACIÓN GENERAL</b>		<b>Materiales Granulares (35% o menos pasa el tamiz No. 200)</b>						<b>Materiales Limo-Arcillosos (Más del 35% pasa el tamiz No. 200)</b>					
<b>Grupos</b>		<b>A-1</b>		<b>A-3</b>	<b>A-2</b>			<b>A-4</b>	<b>A-5</b>	<b>A-6</b>	<b>A-7</b>		
<b>Subgrupos</b>		A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5 A-7-6	
Porcentaje que pasa por el tamiz	<b>No. 10</b>	50 máx.											
	<b>No. 40</b>	30 máx.	50 máx.	51 máx.									
	<b>No. 200</b>	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	
Características del material que pasa por el tamiz No. 40	<b>Límite Líquido</b>	-											
	<b>Índice de Plasticidad</b>	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	
<b>ÍNDICE DE GRUPO</b>		0		0	0			4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
<b>TIPO DE MATERIAL</b>		Gravas y Arenas		Arena Fina	Gravas y arenas limosas y arcillosas			Suelos limosos		Suelos arcillosos			
<b>TERRENO DE FUNDACIÓN</b>		<b>Excelente</b>			<b>Excelente a bueno</b>				<b>Regular a malo</b>				

\*El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5, es igual o menor a LL-30

El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6, es mayor que LL-30

*Fuente: Tomado de (Montejo Fonseca, 2002, p. 46)*



### 2.3.2. Clasificación de los suelos SUCS.

“Esta clasificación fue planteada por el doctor Arturo Casagrande en la Universidad de Harvard en 1942, originalmente llamado Sistema de Clasificación de Aeropuertos, debido a que se destinó en la construcción de pistas de aterrizaje y demás obras militares” (Juárez y Rico, 2005).

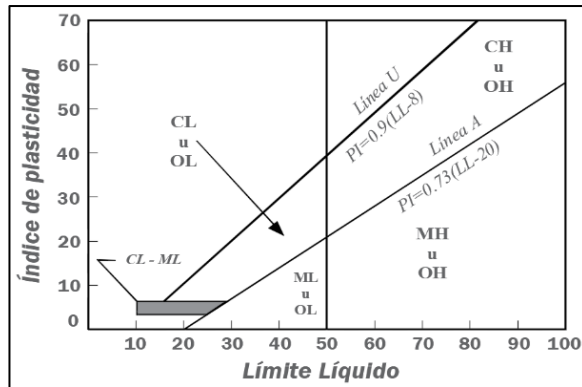
Este sistema subdivide a los suelos en tres importantes grupos: suelos gruesos, suelos finos y suelos orgánicos, teniendo como punto de referencia al porcentaje que pasa o es retenido en el tamiz No. 200 en el caso de los dos primeros grupos de suelos, es decir si más del 50% del material es retenido por el tamiz No. 200 es considerado como suelo grueso; y, si más del 50% del suelo pasa por dicho tamiz es considerado suelo fino. Los suelos se designan por símbolos de grupo. El símbolo de cada grupo consta de un prefijo y un sufijo. Los prefijos son las iniciales de los nombres ingleses de los seis principales tipos de suelos; Gravas (G), Arenas (S), Limos (M), Arcillas (C), Suelos Orgánicos de fino y turba (O), mientras que los sufijos indican subdivisiones en dichos grupos. El Sistema Unificado de Clasificación se presenta en las **tablas 4, 5, 6.** (Das, 2021) (Zambrano y Zavala, 2019).

La Carta de Plasticidad fue desarrollada por Casagrande en 1948, dicha Carta relaciona el Índice de Plasticidad y el Límite Líquido. La característica importante de esta carta es la Línea A empírica dada por la ecuación  $PI = 0.73(LL - 20)$ . La Línea A separa las arcillas inorgánicas de los limos inorgánicos. Las gráficas de los índices de plasticidad contra límites líquidos para las arcillas inorgánicas se encuentran arriba de la Línea A y aquellas para limos inorgánicos se hayan debajo de la Línea A. Los limos orgánicos se grafican en la misma región (debajo de la Línea A y con el LL variando entre 30 y 50) que los limos inorgánicos de compresibilidad media. Las arcillas orgánicas se grafican en la misma región que los limos inorgánicos de alta compresibilidad (debajo de la Línea A y LL mayor que 50). La información proporcionada en la carta de plasticidad es de gran valor y es la base para la clasificación de los suelos de grano fino en el Sistema de Clasificación de Suelos. La Línea U se ubica por encima de la Línea A. Esta línea es aproximadamente el límite superior de la relación del índice de plasticidad

respecto al límite líquido para cualquier suelo encontrado hasta la actualidad. La ecuación para la Línea U se da como  $PI=0.9(LL-8)$ .

**Figura 3**

*Carta de plasticidad*



*Nota. La figura 3 relaciona el Índice de Plasticidad y el Límite Líquido. Clasificación de Suelos de grano fino. Tomado de (Das, 2021)*

**Tabla 4**

*Sistema Unificado de Clasificación; símbolos de grupo para suelos limosos y arcillosos*

Símbolo de grupo	Criterios
CL	Inorgánico; $LL < 50$ ; $PI > 7$ ; se grafica sobre o arriba de la línea A (zona CL en figura 3)
ML	Inorgánico; $LL < 50$ ; $PI < 4$ ; se grafica debajo de la línea A (zona ML en figura 3)
OL	Orgánico; $(LL\text{-seco en horno}) / (LL\text{-sin secar}) < 0,75$ ; $LL < 50$ (zona OL en figura 3)
CH	Inorgánico; $LL \geq 50$ ; $PI$ se grafica sobre o arriba de la línea A (zona CH en figura 3)
MH	Inorgánico; $LL \geq 50$ ; $PI$ se grafica debajo de la línea A (zona MH en figura 3)
OH	Orgánico; $(LL\text{-seco en horno}) / (LL\text{-sin secar}) < 0,75$ ; $LL \geq 50$ (zona OH en figura 3)
CL-ML	Inorgánico; se grafica en la zona sombreada en la figura 3
Pt	Turba, lodos y otros suelos altamente orgánicos

*Nota. Símbolos de grupo para suelos limosos y arcillosos de alta y baja plasticidad. Tomado de (Das, 2021).*

**Tabla 5***Sistema Unificado de Clasificación; símbolos de grupo para suelos tipo grava*

<b>Símbolo de grupo</b>	<b>Criterios</b>
GW	Menos del 5% pasa la malla No. 200; $C_u=D_{60}/D_{10}$ mayor que o igual que 4; $C_z=(D_{30})^2/(D_{10} \times D_{60})$ entre 1 y 3
GP	Menos de 5% pasa la malla No. 200; no cumple ambos criterios para GW
GM	Mas de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A o el índice de plasticidad menor que 4
GC	Mas de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A o el índice de plasticidad mayor que 7
GC-GM	Mas de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL-ML.
GW-GM	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GW y GM
GW-GC	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GW y GC
GP-GM	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GP y GM
GP-GC	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GP y GC

*Nota. Símbolos de grupo para suelos tipo grava bien y mal graduada (Das, 2021).***Tabla 6***Sistema Unificado de Clasificación; símbolos de grupo para suelos arenosos*

<b>Símbolo de grupo</b>	<b>Criterios</b>
SW	Menos del 5% pasa la malla No. 200; $C_u=D_{60}/D_{10}$ mayor que o igual que 6; $C_z=(D_{30})^2/(D_{10} \times D_{60})$ entre 1 y 3
SP	Menos de 5% pasa la malla No. 200; no cumple ambos criterios para SW
SM	Mas de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (figura 3) o el índice de plasticidad menor que 4
SC	Mas de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican arriba de la línea A (figura 3) o el índice de plasticidad mayor que 7
SC-SM	Mas de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL-ML, figura 3.
SW-SM	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SM
SW-SC	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SC
SP-SM	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SP y SM
SP-SC	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SP y SC

*Nota. Símbolos de grupo para suelos arenosos. Tomado de (Das, 2021).*

**Tabla 7***Suelo de Cimentación*

Clase de suelo	Suelos gruesos limpios (GW, GP, SW, SP)	Suelos gruesos con finos (GM, GC, SM, SC)	Suelos finos (MH, ML, CH, CL, OL)
Permeabilidad	Permeables. El ensayo de permeabilidad en campo es representativa.	Semi a impermeables. La permeabilidad de campo es mas adecuadas para contenido de finos menor al 25%.	S. finos fisurados son impermeables. coef./permeabilidad en prueba de consolidación
Compresibilidad y expansibilidad	Densos asentamiento: elásticos , esfuerzos reducidos. En depósitos heterogéneos irregularidades importantes en la compresibilidad.	La compresibilidad varía considerablemente según la compacidad del depósito. Las arenas finas limosas pueden presentar asentamientos bruscos en caso de saturarse bajo carga.	Es indispensable efectuar pruebas de consolidación en el laboratorio. Los suelos limosos no saturados pueden presentar expansión al aumentar su contenido de agua.
Resistencia al corte	Es variado dependiendo de la compacidad de los depósitos y su homogeneidad. Se relaciona, salvo en el caso de arenas sueltas saturadas, con número de golpes en prueba de penetración estándar.	Estuadialarla efectuando pruebas triaxiales con especímenes inalterados. Se han de tomar en consideración las posibles variaciones del contenido del agua y la heterogeneidad del manto al definir las condiciones de las pruebas.	Estuadialarla en laboratorio efectuando pruebas triaxiales con especímenes inalterados. Pueden ser útil en ciertos casos efectuar una prueba de veleta.
Tubificación	Salvo materiales de los grupos SW y SP, presentan buena resistencia a la tubificación. Es muy importante en este aspecto la heterogeneidad de los depósitos.	Las arenas limosas tienen una resistencia a la tubificación media a baja, otros materiales tienen una resistencia a la tubificación de alta a media. Es importante la heterogeneidad de los depósitos.	Los limos presentan baja resistencia a la tubificación y a las arcillas de media a alta. Es importante la heterogeneidad de los depósitos.
Licuación	Las arenas sueltas finas y saturadas son susceptibles a la licuación. Otros materiales son poco sensibles a la licuación.	Las arenas finas, imosas, uniformes y en estado suelto son muy sensibles.	Susceptibilidad prácticamente nula.

*Nota. Tomado de (Crespo Villalaz, 2004, pp. 90-91)*

## 2.4. CARACTERÍSTICAS DE LA SUBRASANTE

Desde el punto de vista de Tunque (2021), la subrasante sirve como soporte a las capas de subbase, base y carpeta de rodadura. Es importante que sea de calidad para lograr un buen comportamiento y alcanzar la vida útil de diseño.

**Tabla 8**

*Categorización de la subrasante en función del CBR (%)*

<b>Categoría de Subrasante</b>	<b>CBR (%)</b>
Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
Subrasante Pobre	De CBR $\geq$ 3% a CBR < 6%
Subrasante Regular	De CBR $\geq$ 6% a CBR < 10%
Subrasante Buena	De CBR $\geq$ 10% a CBR < 20%
Subrasante Muy Buena	De CBR $\geq$ 20 % a CBR < 30%
Subrasante Excelente	CBR $\geq$ 30%

*Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú. (MTC, 2013).*

## 2.5. PROPIEDADES DE LOS SUELOS ESTABILIZADOS

Lo expuesto por (Parra-Gómez, 2018), la estabilización de suelos es un proceso que, en términos generales, busca modificar las características de éstos que mejoren la resistencia, estabilidad y durabilidad a largo plazo. Los suelos que se pretenden tratar o estabilizar deben poseer ciertas propiedades físicas previamente establecidas para lograr un buen resultado al momento de obtener una mejora en sus propiedades, siendo estas:

**Tabla 9***Propiedades de suelos estabilizados*

<b>Propiedad</b>	<b>Definición</b>
<b>Resistencia</b>	Su aumento logra mayor cohesión entre partículas del suelo, con la adición de cementantes o la compactación de tipo mecánica, vibratoria, o por carga o estabilización química (cal), para evitar asentamientos
<b>Compresibilidad</b>	Se debe controlarla, genera daños en el suelo que hacen que no sea apto para el uso; es decir que las fuerzas entre partículas son débiles lo que provoca desplazamientos o expansiones, se mejora cementando los granos con material rígido para rellenar poros.
<b>Permeabilidad</b>	Capacidad de permitir el paso de un fluido a través de ellos, sin alterar las propiedades existentes. El agua circundante debe tener un buen medio filtrante que evite problemas de bombeo y dañar el comportamiento del suelo.
<b>Retracción y expansión</b>	Se producen por los cambios de humedad en el suelo, por lo que es importante adicionar un mineral arcilloso que pueda mantener la humedad.
<b>Durabilidad</b>	Se refiere a la resistencia a procesos de erosión o absorción de cargas por tráfico. En vías, para evitar problemas de durabilidad, se deben construir las diferentes capas con sus respectivos espesores para evitar que se afecten tanto los materiales naturales como los estabilizados.

*Nota: Tomado de (Fontalvo et al., 2006)*

## 2.6. GENERALIDADES DEL PAVIMENTO CONVENCIONAL

### 2.6.1. Definición de pavimento.

Hidalgo (2007), menciona que el pavimento es una estructura de cimentación formada por una o más capas, sobre la que actúan cargas repetidas provenientes de los vehículos en la superficie y que debe tener la capacidad de transmitir durante su vida útil las tensiones provocadas por las cargas hacia la subrasante.

### 2.6.2. Estructura de un pavimento.

Las capas por las cuales están constituidos los pavimentos flexibles son:

- a) **Subrasante.** Cardenas (2019) la define como el nivel de superficie terminada en la que se asienta directamente la estructura del pavimento.
- b) **Subbase.** Según Quezada (2017) es la capa de la estructura de pavimento distinta fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la subbase.
- c) **Base.** Miranda (2010) indica que es la capa situada debajo de la carpeta y sobre la capa de subbase. Su función es eminentemente ser resistente, absorbiendo la mayor parte de los esfuerzos verticales y su rigidez o su resistencia a la deformación bajo las sollicitaciones repetidas del tránsito suele corresponder a la intensidad del tránsito pesado. Así, para tránsito medio y ligero se emplean las tradicionales bases granulares, pero para tránsito pesado se emplean ya materiales granulares tratados con un cementante.

**d) Capa de rodadura.** Montoya y Quispe (2020) describen que la carpeta es la que debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito de textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito. Están dotadas de resistencia a la tracción que complementan la capacidad del pavimento, de impermeabilidad para impedir hasta donde sea posible el paso de agua al interior del pavimento y son flexibles permitiendo grandes deformaciones.

### **2.6.3. Características de un pavimento.**

Según lo expuesto por Montejo (2002) Los pavimentos deben cumplir las características mencionadas a continuación:

- ✓ Poseer resistencia adecuada a las cargas transmitidas por los vehículos.
- ✓ Ser resistente a los diversos agentes de la intemperie.
- ✓ Poseer una textura y conformación adecuada de la capa de rodadura, apta para dar seguridad a la circulación de los vehículos con la velocidad que se diseña la vía.
- ✓ Presentar regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal, aptas para la circulación cómoda de los usuarios.
- ✓ Poseer durabilidad.
- ✓ Presentar condiciones idóneas con relación al drenaje.
- ✓ Ser económico.

### **2.6.4. Clasificación de pavimentos.**

Los pavimentos son estructuras multicapas que generalmente se clasifican de acuerdo con el tipo de capa de rodadura que este posea, se pueden clasificar en:

#### ***2.6.4.1. Pavimentos flexibles.***

Estos pavimentos están compuestos por una carpeta bituminosa apoyada normalmente sobre dos capas no rígidas, siendo estas la base y subbase que descansan en la subrasante (terreno natural). (Monsalve et al., 2012).



#### 2.6.4.2. Pavimentos Rígidos.

Constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyado directamente sobre una subrasante o sobre una capa de material seleccionado, que se denomina subbase del pavimento rígido. (Ospina, 2018)

#### 2.6.4.3. Pavimentos Semi-rígidos.

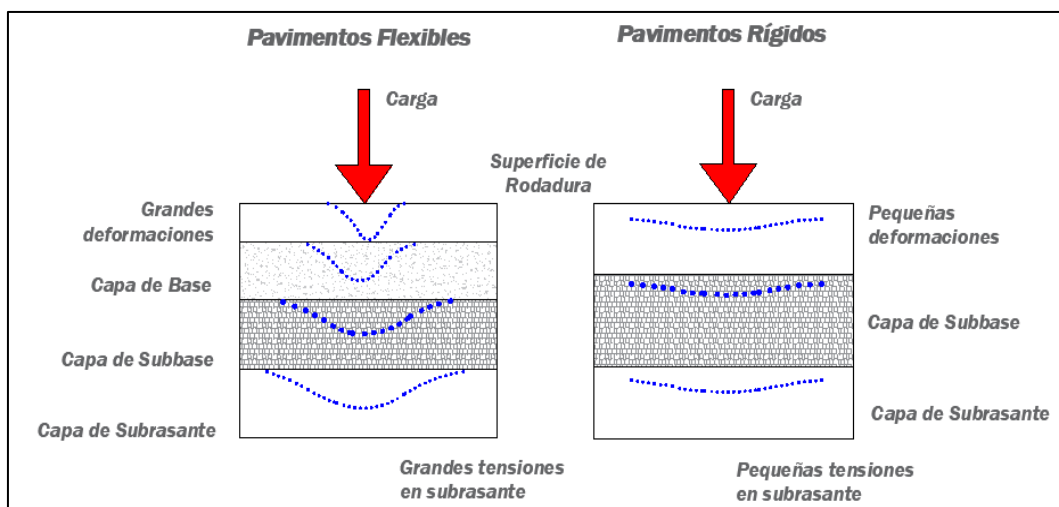
Considerados compuestos, en el que combina a los pavimentos antes descritos, normalmente la capa rígida se ubica por debajo y la capa flexible por encima. La diferencia con un pavimento flexible radica en que este tipo de pavimento posee una capa de base estabilizada con cemento o asfalto. (Pizarro y Chamaco, 2021)

#### 2.6.4.4. Pavimentos Articulados.

Pavimento compuesto por una capa de rodadura de adoquines de concreto; capa de base y de subbase cuando la anterior exista y opcionalmente una capa de mejoramiento de la subrasante. Es fundamental que tenga restricción lateral de confinamiento adecuado. (Sánchez, 2003)

**Figura 4**

*Comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos*



*Nota. Representación de la distribución de cargas en una estructura de pavimento flexible y rígido. Tomado de (Coronado, 2002).*

## **2.7. GEOSINTÉTICOS**

**Geosintético** es un producto en el que por lo menos, uno de sus componentes es a base de polímeros sintético o natural, y se presenta en forma de filtro, manto, lámina o estructura tridimensional, usada en contacto con el suelo o con otros materiales dentro del campo de la geotecnia o de la ingeniería civil. (Tapia et al., 2009)

Los geosintéticos son productos obtenidos de fibras poliméricas termoplásticas usadas en el campo de la ingeniería Civil, fueron ideados como filtros, mantos, láminas o estructuras tridimensionales que estén en contacto directo con el suelos o materiales mejorados dentro de las diversas aplicaciones de la Ingeniería Civil y Geotecnia. Con el objetivo de prolongar la vida útil al pavimento, se dio lugar al uso de Geosintéticos conocidos generalmente en la actualidad como Geomallas o Geotextiles, con el fin de garantizar, impermeabilidad, resistencia, durabilidad, estabilización. (Beltrán, 2013)

### **2.7.1. Tipos de geosintéticos.**

Los tipos de geosintéticos más comunes utilizados en el campo de la ingeniería son: (i) Geotextiles: Tejidos y No Tejidos; (ii) Geomallas: uniaxiales, biaxiales, triaxiales; (iii) Geomembranas; (iv) Georedes; (v) Geocompuestos; (vi) Geomantos; (vii) Geoceldas.

Las geomallas uniaxiales son estructuras unidimensionales fabricadas en polietileno de alta densidad, poseen alta resistencia a la tensión y son completamente inertes a las condiciones químicas y biológicas del suelo, agua y son utilizadas en taludes, muros de contención. Las geomallas biaxiales controlan deformaciones a largo plazo y son utilizadas para vías pavimentadas y no pavimentadas. Las geomallas triaxiales poseen aberturas triangulares, son un producto avanzado diseñado específicamente para superficies traficadas, sus propiedades multidireccionales aprovechan la geometría triangular, unas de las formas más estables y ampliamente utilizadas de la construcción para proporcionar un mayor nivel de refuerzo usadas en plataformas, superficies tratadas.

**Tabla 10***Funciones principales de algunos geosintéticos*

<b>Función</b>	<b>Geo textil</b>	<b>Geo membrana</b>	<b>Geo red</b>	<b>Geo malla</b>	<b>Geo Compuesto</b>
<b>Separación</b>	✓				✓
<b>Filtración</b>	✓				✓
<b>Drenaje</b>	✓		✓		✓
<b>Impermeabilización</b>	✓	✓			✓
<b>Refuerzo</b>	✓			✓	✓

*Nota.* Tomado de (Orrego, 2014)

El avance de los geosintéticos, los cuales tienen influencia en el siglo XXI, según Bermúdez y Álvarez (2020) establecen el auge de geomallas o geotextiles compuestos de diversos materiales y diferentes campos de aplicación, a pesar de que el primer uso radicó como sistema de refuerzo en las estructuras de pavimentos, con el fin de disminuir los valores que acarrea el mantenimiento de las vías en pavimento flexible, ya que estos elementos de construcción mitigan los posibles agrietamientos y fisuras prematuras, dado que soportan mayores aplicaciones de carga y reducen el impacto de los esfuerzos de deformación en el suelo de fundación.

Cabe resaltar que el avance de los geo-sintéticos, no solo se centra como sistema de refuerzo pues en la mayoría de los casos, y dependiendo el tipo de material de fabricación de estos, pueden cumplir simultáneamente varias funciones. Así las cosas, pueden adoptar funciones de impermeabilización, protección, drenaje, separación o filtro. Los geo-sintéticos, siempre contarán con una función específica para la cual son fabricados, estos no dejan de ser una alternativa útil, para incluir en todas las obras.

### **2.7.2. Ventajas de los geosintéticos.**

Las ventajas que se obtienen al comparar el uso de geosintéticos en la estructura de pavimentos flexibles, en este caso de geomallas biaxiales, con una pavimentación tradicional son las siguientes:

(i) Reducción de espesores; (ii) Incrementa vida útil; (iii) Disminuye costos de mantenimiento; (iv) Incremento de capacidad de soporte; (v) Cobertura de vacíos; (vi) Nivelación de subrasantes débiles; (vii) Control de asentamientos diferenciales.

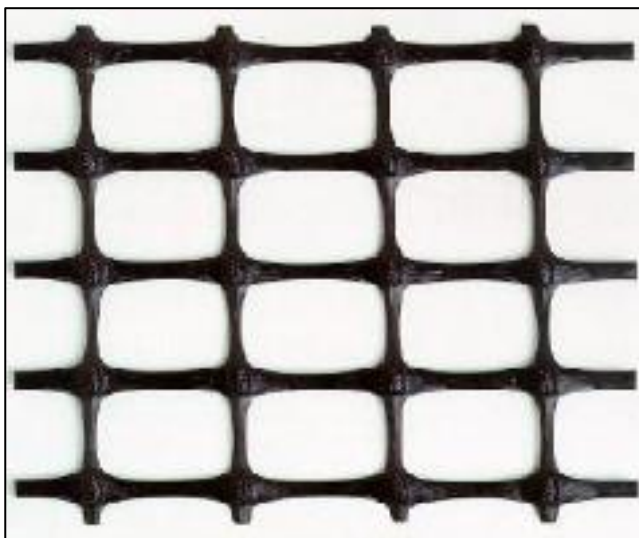
## 2.8. GEOMALLA BIAxIAL COEXTRUIDA

Son estructuras bidimensionales de polipropileno, químicamente inertes, producidas mediante un proceso de extrusión, garantizando alta resistencia frente a posibles daños de instalación y exposición ambiental. Están diseñadas especialmente para estabilización de suelos y aplicaciones de refuerzo.

Sus principales componentes y características de fabricación permiten cumplir con las siguientes funciones: confinamiento, estabilización y refuerzo. Además, limita el desplazamiento, tiene la capacidad de absorber y distribuir esfuerzos, beneficios en cobertura de vacíos, disminuye costos de mantenimiento, trabaja como suelo-geomalla permitiendo que la estructura sea más estable, ayuda a la nivelación de subrasantes débiles, así como el control de asentamientos convirtiéndose en una innovadora solución usada a nivel mundial y nacional.

**Figura 5**

*Geomalla biaxial*



*Nota. Tomado de Orrego (2014).*

### **2.8.1. Ventajas y beneficios.**

- ✓ Aumenta la vida útil de la estructura inicial al utilizarla en los granulares.
- ✓ Genera menor impacto ambiental en la explotación de pétreos al remplazar los materiales granulares.
- ✓ Disminuye espesores de granulares al emplearla como refuerzo.

### **2.8.2. Campos de aplicación.**

- ✓ Estabilización de suelos blandos.
- ✓ Refuerzo de materiales granulares en carreteras y terraplenes.
- ✓ Refuerzo secundario en muros de contención.
- ✓ Refuerzo de terraplenes en carreteras y pistas aéreas.

## **2.9. GENERALIDADES DEL PAVIMENTO REFORZADO CON GEOMALLA BIAxIAL**

Las Geomallas Biaxiales son empleadas como una alternativa de solución para el mejoramiento de suelos de soporte y capas granulares. Las mencionadas Geomallas contribuyen al confinamiento lateral en el suelo, aumentando la resistencia a la tensión de estos.

### **2.9.1. Mecanismos de refuerzo generados por las Geomallas.**

#### ***2.9.1.1. Confinamiento lateral de la base o subbase.***

El confinamiento lateral de los materiales granulares (base o subbase) se logra a través de la fricción y trabazón de la Geomalla con el agregado. Esto se presenta debido a que los módulos de los materiales granulares dependen del estado de los esfuerzos, al incrementar el confinamiento lateral, incrementa el módulo de la capa granular sobre la Geomalla.

**Figura 6**

*Confinamiento lateral generado por la Geomalla en un material granular*



*Nota. Tomado de Diseño de infraestructuras con geosintéticos, Cap. 6 Refuerzo con Geomallas Biaxiales. Décima Edición.*

#### **2.9.1.2. Mejoramiento de la capacidad de soporte.**

El mejoramiento de la capacidad portante se alcanza desplazando la superficie de falla de la subrasante blanda hacia la capa granular de mayor resistencia. Este mecanismo toma mayor validez en carreteras sin pavimentar o cuando el estado de esfuerzos sobre la subrasante es alto.

**Figura 7**

*Mejoramiento de la capacidad portante al utilizar una Geomalla de refuerzo*



*Nota. Tomado de Diseño de infraestructuras con geosintéticos, Cap. 6 Refuerzo con Geomallas Biaxiales. Décima Edición.*

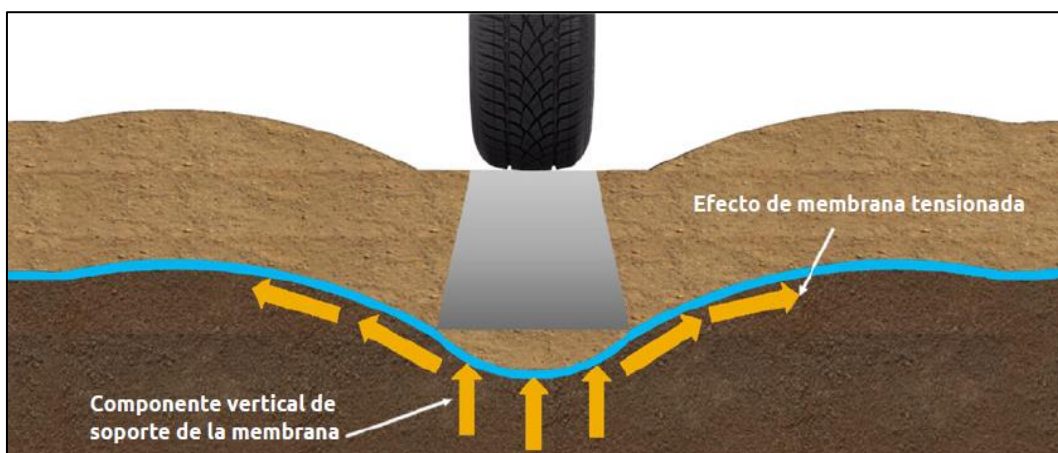
### 2.9.1.3. Efecto de la membrana tensionada.

El efecto de la membrana tensionada se origina con la propiedad por la cual un material flexible elongado, al adoptar una forma curva por el efecto de la carga, el esfuerzo normal sobre la cara cóncava es mayor que el esfuerzo sobre la cara convexa; es decir, bajo la aplicación carga, el esfuerzo vertical transmitido por la Geomalla hacia la subrasante, es menor que el esfuerzo vertical transmitido hacia la Geomalla. No obstante, dicho mecanismo solo ocurre a niveles de deformación demasiados altos como los que suceden en carreteras sin pavimentar después de un número de repeticiones de carga elevado.

Son ejecuciones de estructura acerada y el desarrollo de membranas arquitectónicas que maximizan el uso del espacio y se adaptan según las condiciones climáticas del lugar. Las tenso estructuras permiten un ahorro energético en el consumo de luz eléctrica, aprovechando la luz natural y la temperatura interior. La capacidad y facilidad a la hora de cubrir grandes espacios le da una característica adicional que contrasta inmediatamente con otros sistemas tradicionales. Esto permite desarrollar coberturas tensionadas de gran tamaño hasta cubiertas pequeñas y marquesinas cuya función no va más allá de proteger del sol y la lluvia.

#### Figura 8

##### *Membrana tensionada*



Nota. Tomado de *Diseño de infraestructuras con geosintéticos*, Cap. 4. *Estabilización de Subrasantes*. Décima Edición.

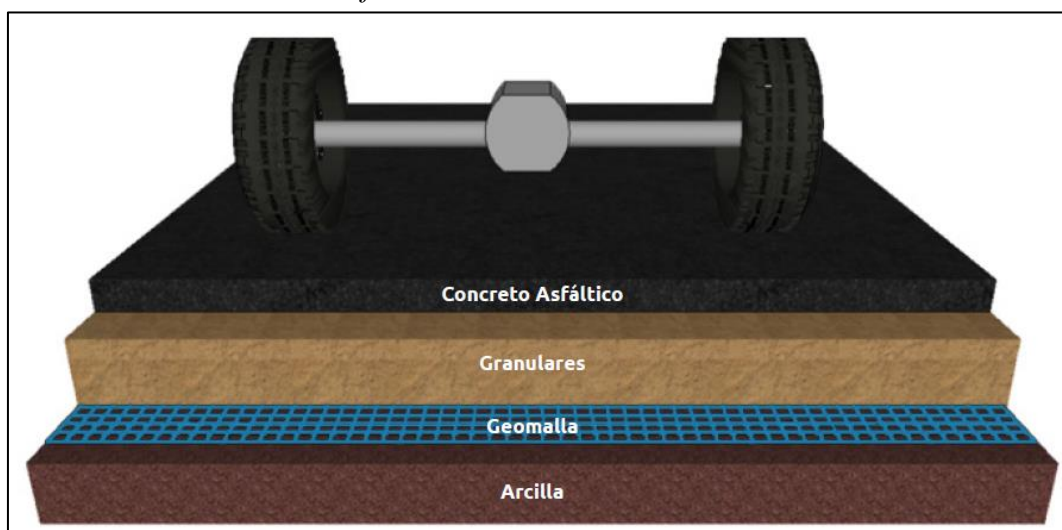
#### 2.9.1.4. Estructura de Pavimento con refuerzo de Geomallas.

Con frecuencia, las estructuras de pavimento flexible fallan de forma prematura ya que el material de la capa de la base se desplaza lateralmente por lo tanto se alejan las cargas de tránsito dando como resultado una rotura de la superficie del pavimento. La geomalla es un material probado para incrementar la vida útil del pavimento flexible y además contribuye en la reducción de la capa de base, aumenta la capacidad de soporte lo cual se traduce en un menor coste tanto a nivel de instalación como de transporte. Puesto que la mayoría de los materiales empleados en la construcción de pavimentos son esfuerzos dependientes, la restricción al desplazamiento lateral, provocan que la geomalla quede permanentemente a compresión y como resultado un aumento de módulo mecánico en la capa de base, con una mayor capacidad de soporte y distribución de esfuerzo.

Con la aplicación de la Geomalla se consigue aumentar el rendimiento de la subrasante, formando de esta manera una estructura de pavimento flexible más resistente, actuando como una plataforma constructiva, mejorando la compactación, reduciendo la oscilación y punzonamiento maximizando la capacidad de carga de la subrasante. (Becerra y López, 2022).

**Figura 9**

*Estructura de Pavimento reforzado con Geomalla*



*Nota. Tomado de Diseño de infraestructuras con geosintéticos, Cap. 6 Refuerzo con Geomallas Biaxiales. Décima Edición.*



## 2.10. ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO SEGÚN NORMATIVA DEL MTOP

### 2.10.1. Bases.

La construcción de capas de base está constituida por agregados producto de trituración o cribados, estabilizados con material fino proveniente de trituración, suelos finos seleccionados o la mezcla de ambos. (MTOP, 2002)

**Tabla 11**

*Especificaciones para bases acorde a la Granulometría*

TAMIZ	BASES									
	CLASE 1				CLASE 2	CLASE 3	CLASE 4			
	Tipo A		Tipo B				Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
2"	---	100	---	100	---	100	---	100	---	100
1 ½"	70	100	70	100	70	100	---	---	---	---
1"	55	85	60	90	55	85	70	100	60	90
¾"	50	80	45	75	47	75	60	90	---	---
⅜"	35	60	30	60	35	65	40	75	---	---
N° 4	25	50	20	50	25	55	30	60	20	50
N° 10	20	40	10	25	15	45	15	45	---	---
N° 40	10	25	2	12	5	25	10	30	---	---
N° 200	2	12	---	---	0	10	0	15	0	15

*Nota. Tomado de Especificaciones generales para construcción de caminos y puentes, (MTOP, 2012). Volumen 3.*

PARÁMETRO	ESPECIFICACIÓN
✓ CBR (%)	≥ 80% Mín.
✓ Abrasión de Agregados	< 40
✓ Límite Líquido	< 25
✓ Índice de Plasticidad	< 6
✓ Resistencia a sulfatos	< 12

## 2.10.2. Bases de Hormigón Asfáltico.

La base estabilizada está compuesta por la combinación de piedra o grava trituradas, combinadas con material de relleno, mezclados con materiales o productos estabilizadores, preparada y construida aplicando técnicas de estabilización para mejorar sus condiciones de estabilidad y resistencia (Coronado, 2002).

Generalmente el tipo de material bituminoso que se empleará para este trabajo serán asfaltos diluidos o emulsiones asfálticas. Los agregados serán obtenidos mediante trituración o cribado de piedras naturalmente o de gravas; además de estar limpios, sólidos y resistentes, libre de materiales orgánicos, arcillas u otras materias extrañas. Cuando la mezcla se realice con asfalto diluido los agregados deberán estar completamente secos.

El porcentaje de desgaste por abrasión de los agregados será menos del 40% según la Norma INEN 860.

La porción de agregados que pasa el tamiz INEN 0.425 mm (No 40), deberá tener un índice de plasticidad menor a 4, según lo establecido en las normas INEN 691 y 692.

La calidad del material asfáltico y los agregados deberán cumplir con los requisitos indicados en el numeral 404-4.02. La mezcla asfáltica debe satisfacer los requisitos recogidos en la tabla 12 a 60°C. (MTO, 2002).

**Tabla 12**

*Parámetros de diseño para bases estabilizadas con asfalto diluido*

<b>ESTABILIDAD MARSHALL</b>	<b>FLUJO (1/100")</b>
750 Lbs. Min.	5-18

*Nota. Tomado de Especificaciones generales para construcción de caminos y puentes, (MTO, 2002). Volumen 3.*

### 2.10.3. Subbases.

Se denomina subbase a la capa granular situada entre la subrasante y la base granular en los pavimentos flexibles, compuesta por agregados que se obtienen por proceso de trituración o de cribado. (MTO, 2002)

Las subbases de agregados se clasifican como se indica a continuación en la **Tabla 13**, acorde con los materiales a usarse:

**Tabla 13**

*Especificación de Subbases acorde a la Granulometría*

TAMIZ	SUBBASES						
	CLASE 1		CLASE 2		CLASE 3		
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	
3"	76.2 mm	---	---	---	---	---	100
2"	50.4 mm	---	---	---	100	---	---
1 ½"	38.1 mm	---	100	70	100	---	---
N° 4	4.75 mm	30	70	30	70	30	70
N° 40	0.425 mm	10	35	15	40	---	---
N° 200	0.075 mm	0	15	0	20	0	20

*Nota. Tomado de Especificaciones generales para construcción de caminos y puentes, (MTO, 2002). Volumen 3.*

PARÁMETRO	ESPECIFICACIÓN
✓ <b>CBR (%)</b>	≥ 30% Mín.
✓ <b>Abrasión de Agregados</b>	< 50
✓ <b>Límite Líquido</b>	< 25
✓ <b>Índice de Plasticidad</b>	< 6

### 2.10.4. Mejoramiento de la Subrasante.

Si el proyecto lo requiere, la colocación de una capa constituida de suelo seleccionado, estabilización con cal o material pétreo, membranas sintéticas o mezcla de materiales previamente calificados sobre una subrasante, esta se obtendrá de la excavación para la plataforma del camino, de excavación de préstamo importado, o cualquier otra excavación debidamente autorizada y aprobada por el Fiscalizador.

El suelo puede ser granular, material rocoso o una combinación de los dos, libre de escombros y de material orgánico; todas las partículas deben pasar por un tamiz de cuatro pulgadas (100 mm) con abertura cuadrada y no más del 20% pasará el tamiz N°200 (0.075 mm) en base al ensayo AASHTO-T11 (MTO, 2012). Acorde a las especificaciones del MTO (2012) la parte del material que pase el tamiz N°40 (0.425 mm) debe tener un **índice de plasticidad** menor de 9 y un límite líquido hasta el 35% siempre que el valor del **CBR sea mayor al 20%**.

## **2.11. ASFALTO DILUIDO**

Los Asfaltos diluidos son producto de la adición de algún destilado del petróleo al cemento asfáltico, resultando menos viscoso y por ello aplicable en zonas de baja temperatura. El solvente se pierde por evaporación quedando el cemento asfáltico sobre la superficie luego de su aplicación. Se dividen en tres tipos:

- ✓ **Curado Rápido (RC).**- Producto de la adición de un diluyente ligero de alta volatilidad (generalmente gasolina o nafta) en el cemento asfáltico. Se usa principalmente como capa ligante y tratamiento superficial.
- ✓ **Curado Medio (MC).**- Producto de la adición de un diluyente medio de volatilidad intermedia (generalmente kerosene) al cemento asfáltico.
- ✓ **Curado Lento (SC).**- Producto de la adición de aceites de baja volatilidad (generalmente diésel u otros gases aceitosos) en el cemento asfáltico.

Las especificaciones para SC, MC y RC se dan en ASTM D2026, ASTM D2027 y ASTM D2028, respectivamente, se muestran en la tabla 14. En la tabla 15 se muestran los ensayos de calidad que se realizan al cemento asfáltico, asfalto líquido y asfalto emulsionado (Minaya y Ordoñez, 2001)

**Tabla 14**

*Especificaciones de calidad para Cutbacks de Curado Medio y Rápido*

Características	Métodos de prueba	Especificación AASHTO M82 y ASTM D2027		Especificación AASHTO M81 y ASTM D2028					
		MC-30		RC-70		RC-250			
		AASHTO	ASTM	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Fluidez	*Viscosidad Cinemática a 60°C St	T201	D2170	30	60	70	140	250	500
Volatilidad	Punto de inflamación TAG, Copa abierta, °C	T79	D3143	38				27	
Destilación	% Volumen Total Destilado hasta 380°C, % Vol.	T78	D402						
	* a 190°C					10			
	* a 225°C				25	50		35	
	* a 260°C			40	70	70		60	
	* a 316°C			75	93	85		80	
	*Residuo de destilación a 360°C, % Vol. Por diferencia			50		55		65	
Pruebas sobre el residuo de la destilación	Penetración a 25°C, 100gr., 5s. 0.1 mm	T49	D5	120	250	80	120	80	120
	Ductilidad a 25°C, 5 cm/min., cm	T51	D113	100		100		100	
	Solubilidad en Tricloroetileno, % masa	T44	D2042	99		99		99	
Adherencia	Revestimiento-desprendimiento, mezcla agregado-Bitumen, %		D3625	95		95		95	
Ensayo de la mancha con solvente Heptano-Xileno 20% Contaminantes		T102		NEGATIVO		NEGATIVO		NEGATIVO	
	Contenido de agua, % volumen	T55	D95	0.2		0.2		0.2	

**Requerimiento General Asfaltos Líquidos: El asfalto debe presentar un aspecto homogéneo y sin grumos antes de ser usado y no debe formar espuma cuando se calienta a la temperatura de aplicación.**

*Nota. Tomado de (Petroperú en el Congreso de Asfalto, 2000)*

**Tabla 15***Ensayos de Prueba de Calidad*

<i>Ensayo de Prueba de Calidad</i>		
<b>NORMA</b>	<b>AASHTO</b>	<b>ASTM</b>
<b>CEMENTO ASFÁLTICO</b>		
Penetración	T49	D5
Viscosidad	T201	D1170
Punto de Inflamación	T48	D92
Prueba de Película Fina	T179	D1754
Ductilidad	T51	D113
Solubilidad	T44	D4
Gravedad Específica	T43	D70
Punto de Ablandamiento	T53	D36
<b>ASFALTO LÍQUIDO Y DE CURADO RÁPIDO Y MEDIO</b>		
Viscosidad	T201	D2170
Punto de Inflamación	T79	D1310
Destilación	T78	D402
Prueba sobre Residuo		
Agua en Asfalto	T55	D95
Gravedad Específica	T43	D70
<b>ASFALTO LÍQUIDO DE CURADO LENTO</b>		
Viscosidad	T201	D2170
Punto de Inflamación	T48	D92
Destilación	T78	D402
Prueba de Flotación	T50	D139
Residuo de Asfalto de 100 de Penetración	T56	D243
Ductilidad	T51	D113
Solubilidad	T44	D4
Agua de Asfalto	T55	D95
Gravedad Específica	T43	D70

Todos los agregados son porosos, y algunos son más que otros. La porosidad se determina sumergiendo los agregados en un baño y determinando la cantidad de líquido que éste absorbe.

La capacidad de un agregado para absorber agua (o asfalto) es un factor importante que debe ser cuantificado en el diseño de mezclas asfálticas. Si un agregado es altamente absorbente, entonces continuará absorbiendo asfalto después del mezclado inicial, disminuyendo la cantidad de asfalto para ligar las demás partículas de agregado. Por ello, un agregado más poroso requiere cantidades mayores de asfalto que las que requiere un agregado con menos porosidad.

Los agregados altamente porosos y absorbentes normalmente no son usados, a menos que posean características que los hagan deseables. Algunos ejemplos de dichos materiales son la escoria de alto horno y ciertos agregados sintéticos. Estos materiales son altamente porosos, pero también son livianos en peso y poseen alta resistencia al desgaste.

El concepto de adherencia en el diseño de mezclas asfálticas está relacionado a la afinidad del agregado por el asfalto, es la tendencia del agregado a aceptar y retener una capa de asfalto. Las calizas y las dolomitas tienen alta afinidad con el asfalto sin embargo también son hidrofóbicas (repelen el agua) porque resisten los esfuerzos del agua por separar el asfalto de sus superficies.

El agregado usado en construcción de carreteras se obtiene del abastecimiento de rocas naturales locales. Las rocas naturales son clasificadas geológicamente en tres grupos dependiendo de su origen: ígneas, sedimentarias y metamórficas. Otro tipo de agregados usados en mezclas asfálticas en caliente son los agregados livianos, producto de arcillas calentadas a temperaturas muy altas, y escorias de altos hornos. Estos dos agregados proporcionan buena resistencia al patinaje cuando se usan en mezclas asfálticas en caliente.

En la siguiente tabla se resumen propiedades deseables de rocas para agregados utilizados en Mezclas Asfálticas en Caliente (Medina Ramírez, 2003).

**Tabla 16***Propiedades de agregados utilizados en Mezclas asfálticas en Caliente*

<b>Tipo de Roca</b>	<b>Dureza/Tenacidad</b>	<b>Resistencia al desprendimiento</b>	<b>Textura superficial</b>	<b>Forma fracturada</b>
<b>Ígnea:</b>				
Granito	Regular	Regular	Regular	Regular
Sienita	Bueno	Regular	Regular	Regular
Diorita	Bueno	Regular	Regular	Bueno
Basalto	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Diabasa	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Gabro	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
<b>Sedimentaria:</b>				
Caliza, dolomía	Pobre	Bueno	Bueno	Regular
Arenisca	Regular	Bueno	Bueno	Bueno
Chert	Bueno	Regular	Pobre	Bueno
Lutita	Pobre	Pobre	Regular	Regular
<b>Metamórfica:</b>				
Gneis	Regular	Regular	Bueno	Bueno
Esquisto	Regular	Regular	Bueno	Regular
Pizarra	Bueno	Regular	Regular	Regular
Cuarcita	Bueno	Regular	Bueno	Bueno
Mármol	Pobre	Bueno	Regular	Regular
Serpentina**	Bueno	Regular	Regular	Regular

\*Agregados hidrofílicos tienden a separar más fácilmente las películas de asfalto

\*\*Es un mineral que se forma por alteración de las rocas ultrabásicas

*Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction. National for Asphalt Technology 1996*

## **2.12. ESPECIFICACIONES PARA ASFALTOS DILUIDOS O REBAJADOS SEGÚN MTOP**

MTOP (2012), es un cemento asfáltico, líquido a temperatura ambiente, el cual se obtiene durante el proceso de refinación del petróleo o calentando y diluyendo un cemento asfáltico, por medio de la adición de un agente volátil del mismo petróleo: nafta, gasolina, kerosén, aceites combustibles, aceites diésel o combustibles para propulsión a chorro.



Según el tiempo de curado del agente diluyente, existen 3 tipos generales de asfaltos líquidos: De Curado Rápido (RC), aquellos que contienen nafta o gasolina; De Curado Medio (MC) contienen diluyentes tales como el kerosén o combustibles para propulsión a chorro y De Curado Lento (SC) si contienen aceite diésel u otros aceites combustibles.

Los asfaltos diluidos cumplirán los requisitos de las normas ASTM D 2026, ASTM D 2027 y ASTM D 2028, para asfalto diluidos de curado lento, medio y rápido, respectivamente

**Tabla 17**

*Requisitos de los Asfalto Diluidos de Curado Lento (SC)*

Norma	Descripción	SC-70		SC-250		SC-800		SC-3000	
		mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx
ASTM D2170	Viscosidad cinemática, 60°C, mm <sup>2</sup> /s	70	140	250	500	800	1600	3000	6000
ASTM D92	Punto de chispa (Cleveland),°C.	66		79		93		107	
ASTM D402	Ensayo de destilación:								
	Destilado total a 360°C, % en volumen	10	30	4	20	2	12		5
ASTM D402	Solubilidad en tricloroetileno, %	99.0		99.0		99.0		99.0	
ASTM D2170	Viscosidad cinemática en residuo destilación, 60°C, mm <sup>2</sup> /s	400	7000	800	10000	2000	16000	4000	35000
ASTM D243	Residuo de asfalto:								
	Residuo de penetración 100, %	50		60		70		80	
ASTM D113	Ductilidad del residuo de penetración 100, 25°C, cm	100		100		100		100	
ASTM D95	Agua, %		0.5		0.5		0.5		0.5

*Fuente. Tomado de Especificaciones Generales para Construcción de Caminos y Puentes. (MTO, 2012)-Volumen 3.*

**Tabla 18***Requisitos de los Asfaltos Diluidos de Curado Medio (MC)*

Norma	Descripción	MC-30		MC-70		MC-250		MC-800		RC-3000	
		mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx
ASTM D2170	Viscosidad cinemática, 60°C, mm <sup>2</sup> /s	30	60	70	140	250	500	800	1600	3000	6000
ASTM D3143	Punto de chispa (Copa Abierta),°C	38		38		66		66		27+	
ASTM D402	Ensayo de destilación: Destilado % en volumen del destilado total a 360°C:										
	a 225°C		25		20		10				
	a 260°C	40	70	20	60	15	55		35		
	a 316°C	75	93	65	90	60	87	45	80	25	
ASTM D402	Residuo por destilación a 360°C, % en volumen por diferencia	50		55		67		75		70	
	Ensayos en residuo por destilación:									80	
ASTM D2171	Viscosidad, 60°C, Pa.s <sup>A</sup>	30	120	30	120	30	120	30	120		
ASTM D113	Ductilidad, 25°C, cm	100		100		100		100		60	240
ASTM D2042	Solubilidad en tricloroetileno, %	99.0		99.0		99.0		99.0		100	
ASTM D95	Agua, %		0.2		0.2		0.2		0.2	99.0	

<sup>A</sup>El MTOP, a su discreción, puede especificar una penetración, 100 g: 5 s a 25°C, de un valor de 80 a 120 para los grados RC-70, RC-250, RC-800 y RC-3000, en lugar de la viscosidad del residuo.

Sin embargo, en ningún caso se requerirán ambas pruebas

*Fuente. Tomado de Especificaciones Generales para Construcción de Caminos y Puentes. (MTOP, 2012)-Volumen 3.*

**Tabla 19***Requisitos de los Asfalto Diluidos de Curado Rápido (RC)*

Norma	Descripción	RC-70		RC-250		RC-800		RC-3000	
		mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx
ASTM D2170	Viscosidad cinemática, 60°C, mm <sup>2</sup> /s	70	140	250	500	800	1600	3000	6000
ASTM D3143	Punto de chispa (Cleveland),°C			27+		27+		27+	
ASTM D402	Ensayos de destilación:								
	Destilado total a 360°C, % en volumen								
	a 190°C	10							
	a 225°C	50		35		15			
	a 260°C	70		60		45		25	
	a 316°C	85		80		75		70	
ASTM D402	Residuo por destilación a 360°C, % en volumen por diferencia	55		65		75		80	
	Ensayos en residuo por destilación:								
ASTM D2171	Viscosidad, 60°C, Pa.s <sup>A</sup>	60	240	60	240	60	240	60	240
ASTM D113	Ductilidad, 25°C, cm	100		100		100		100	
ASTM D2042	Solubilidad en tricloroetileno, %	99.0		99.0		99.0		99.0	
ASTM D95	Agua, %		0.2		0.2		0.2		0.2

*Fuente. Tomado de Especificaciones Generales para Construcción de Caminos y Puentes. (MTO, 2012)-Volumen 3.*

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**

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

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

La investigación es de tipo: aplicada, Guzman (2018) refiere que este tipo de investigación se distingue por tener propósitos prácticos inmediatos bien definidos, es decir, se investiga para actuar, transformar, modificar o producir cambios en un determinado sector de la realidad.

Se caracteriza por ser de tipo aplicada, se debe a que está estrechamente relacionada con la utilización de los conocimientos adquiridos en el campo de la Ingeniería civil, específicamente en el área de diseños de pavimentos, en el que la investigación persigue el objetivo de analizar estructuralmente un pavimento flexible planteando la aplicación de geomalla biaxial y material granular estabilizado con asfalto para mejorar su comportamiento mecánico.

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

La investigación responde a un nivel descriptivo-explicativo, para la parte explicativa como lo expresa Cauas (2015) la explicación como nivel de conocimiento tiene como finalidad explicar la causa de un fenómeno e insertar el fenómeno en un contexto teórico. En el nivel explicativo se intenta dar cuenta de la realidad o de hacerla comprender a través de leyes o teorías científicas.

Respecto al nivel descriptivo, según (Guzman, 2018) se refiere a las características, cualidades externas e internas, propiedades y rasgos esenciales de los hechos y fenómenos de la realidad en un momento y tiempo concreto-determinado.

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

### **3.2.1. Método.**

El vigente trabajo utiliza el método hipotético-deductivo, como señala Abreu (2014) el método deductivo permite determinar las características de una realidad particular que se estudia por derivación o resultado de los atributos o enunciados contenidos en proposiciones o leyes científicas de carácter general formuladas con anterioridad. Mediante la deducción se derivan las consecuencias particulares o individuales de las inferencias o conclusiones generales aceptadas.

### **3.2.2. Enfoque.**

Este estudio se caracteriza por tener doble enfoque cualitativo y cuantitativo, en el caso cualitativo se utiliza la recolección de datos e información técnica, para el análisis de la influencia de la geomalla biaxial con el cual se podrá deducir los beneficios que tendría su aplicación en el diseño de pavimentos flexibles en comparación al diseño con métodos tradicionales, y con relación al material granular se podrá describir la clasificación de los materiales de canteras evaluados. Y el enfoque cuantitativo, se debe a que en la investigación la información y los resultados se expresan en magnitudes cuantificables, estará representado por los parámetros numéricos que resulten de los principales ensayos realizados en laboratorio de los materiales granulares y además de los diseños en función de los espesores de capas que estará compuesta la estructura del pavimento.

### **3.2.3. Diseño.**

Aceituno et al. (2020) refieren que es aquel en el cual el investigador manipula una variable para conocer qué efectos produce en otra variable como consecuencia del uso, aplicación, puesta en marcha, implementación de la variable independiente.

El diseño de la investigación consta de una parte experimental en la que se manipula una de las variables (independiente) que es controlada por el investigador para este estudio será el material granular estabilizado con asfalto por medio del análisis en laboratorio se generarán los datos requeridos que permitirá plantear el diseño y comprobar las hipótesis a las que está sujeta la indagación para mejorar el comportamiento mecánico; y además de estar compuesta de una parte teórica-investigativa basada en la información técnica recopilada de artículos y revistas científicas, así como también de tesis, libros, guías o metodologías de diseño referente a la aplicación de geomalla biaxial en pavimentos flexibles y el diseño de pavimentos flexibles convencionales.

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

#### **3.3.1. Población.**

La población expresa el conjunto de elementos de estudio. Desde el punto de vista de Mucha-Hospinal et al. (2021), mencionan que el investigador debe precisar esos elementos para realizar la investigación. Si la unidad de observación son sujetos, primero se debe ubicar el lugar, para caracterizar las unidades del estudio, lo que se denomina población accesible o población objeto de estudio.

Haciendo referencia a la cita anterior, se determina como población al sector de estudio definido en la Parroquia Manglaralto, para realizar los análisis del material granular de la comuna Sitio Nuevo y comuna Juan Montalvo, por medio de los ensayos de laboratorio en consecuencia determinar sus características físico-mecánicas para ser consideradas según sea el caso, como mejoramiento de subrasante, subbase y/o base en el diseño de pavimentos flexibles.

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

Mercado y Coronado (2021), mencionan que es un subconjunto extraído de la población a partir de algún procedimiento específico. Por tal definición se tomaron 3 muestras en sitio del material granular en las canteras antes especificadas por los autores de esta investigación para el respectivo análisis técnico.

### 3.3.3. Muestreo.

Tanto Hernández y Carpio (2019) como Mercado y Coronado (2021) comparten el criterio al referir lo siguiente, la definición del muestreo como herramienta de la investigación científica que tiene como principal propósito determinar la parte de la población que se debe estudiar además de marcar una representación gráfica de alguna población “X” estableciendo parámetro y características que se establecen en el proceso metodológico del investigador.

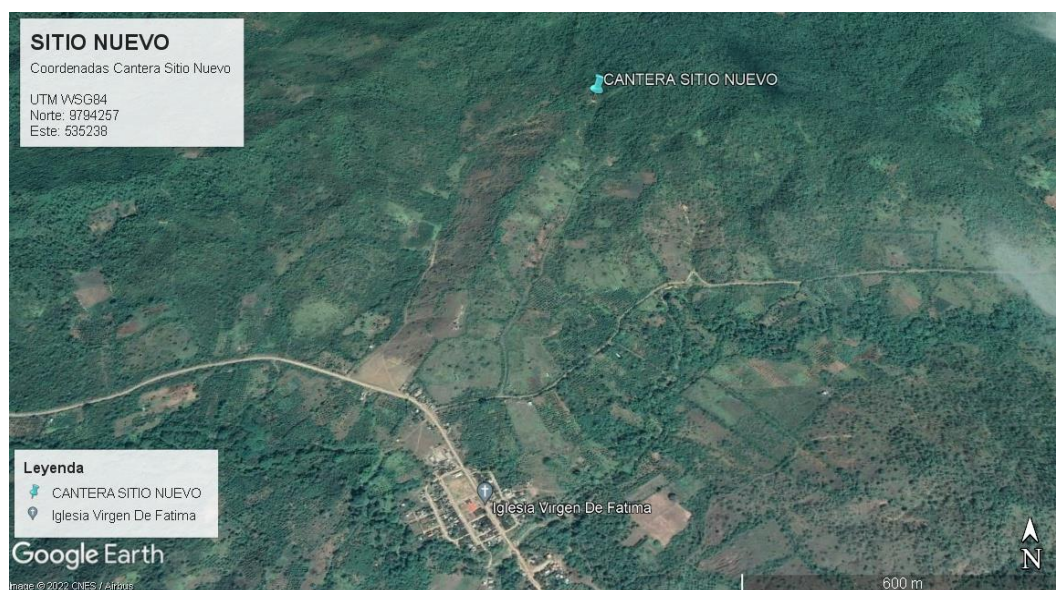
## 3.4. UBICACIÓN DEL SECTOR DE ESTUDIO

### 3.4.1. Cantera Sitio Nuevo.

La comuna Sitio nuevo, comunidad perteneciente a la cabecera parroquial Manglaralto, cantón y provincia de Santa Elena (Figura 13) con coordenadas UTM WSG84 (Norte: 9794257 y Este: 535238), donde se extrajo las muestras en el terreno natural del material granular para su posterior análisis mediante los ensayos clásicos de laboratorio.

### Figura 10

*Ubicación de Cantera Sitio Nuevo*



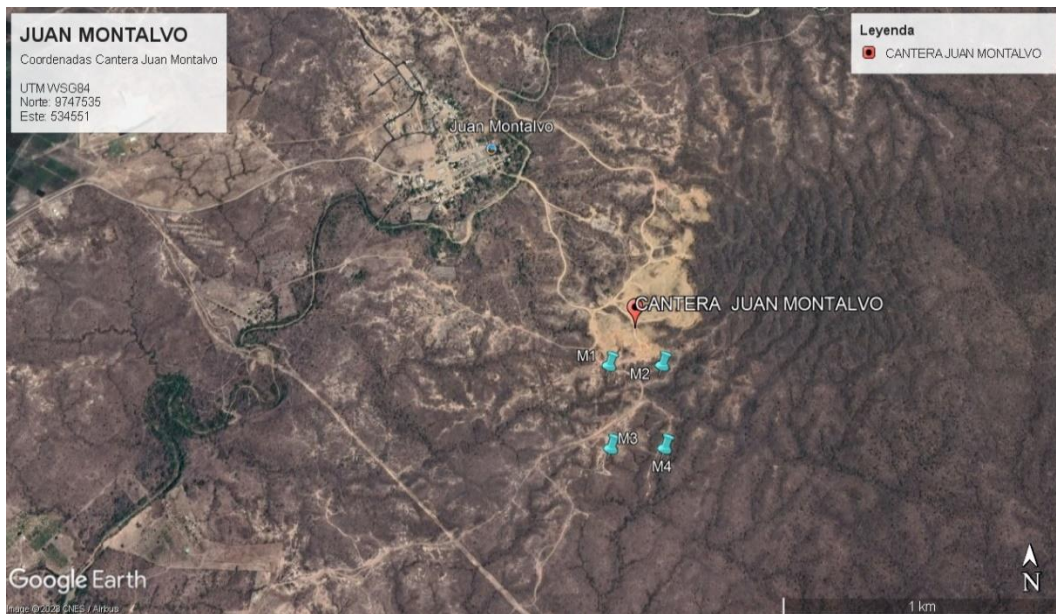
*Nota. Tomado de Google Earth Pro*

### 3.4.2. Cantera Juan Montalvo.

La comuna Juan Montalvo está situada a 2,5 Km de distancia de la vía Guayaquil - Salinas de la parroquia urbana de Santa Elena, Cantón y Provincia de Santa Elena con coordenadas UTM WSG84 (Norte: 9747535 y Este: 534551), sitio donde se extrajo muestras en el terreno natural del material granular a analizar mediante ensayos o pruebas de laboratorio para la determinación de sus propiedades físico-mecánicas.

**Figura 11**

*Ubicación de Cantera Juan Montalvo*



*Nota. Tomado de Google Earth Pro*



### 3.5. METODOLOGÍA DEL OE.1: DESARROLLO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CONVENCIONAL MEDIANTE ESPECIFICACIONES DE LA AASHTO-93

#### 3.5.1. Metodología de diseño aashto-93 aplicada en pavimentos flexibles.

El método AASHTO-93 para el diseño de pavimentos flexibles, se fundamenta primordialmente en identificar un número estructural (SN) para el pavimento, que soporte el nivel de carga solicitado. Para determinar el número estructural, el método se basa en una ecuación que relaciona los coeficientes  $a_{1,2,3}$ , con sus respectivos números estructurales. (Monsalve et al., 2012)

La ecuación general de la AASHTO-93, que gobierna el número estructural de diseño, se muestra a continuación:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_o + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(MR) - 8.07 \quad (2)$$

Siendo:

**SN** = Número estructural

**W<sub>18</sub>** = Número de cargas de Ejes simples equivalentes de 18 Kips (18000 lb)

**Z<sub>R</sub>** = Desviación estándar normal

**S<sub>o</sub>** = Desviación estándar de todas las variables

**ΔPSI** = Pérdida de serviciabilidad

**MR** = Módulo de resiliencia de la subrasante

De la ecuación 2 se determina el valor del número estructural (SN) para posteriormente evaluar un conjunto de capas en el que sus espesores ( $D_i$ ) se igualen o superen el número estructural calculado (SN) partiendo del módulo resiliente de la subrasante, por medio de la ecuación 5 que se presenta más adelante. La ecuación

5 es función del coeficiente estructural ( $a_i$ ), que se describe como la relación empírica entre el número estructural (SN) y el espesor de la capa ( $D_i$ ).

### 3.5.2. Variables de Diseño de Pavimentos Flexibles.

#### a) En función del tiempo.

- ✓ **Período de diseño:** Hace énfasis al tiempo total para el cual se diseña un pavimento en función de la proyección del tránsito y el tiempo que se considere adecuado.

**Tabla 20**

*Período de Diseño en función del tipo de carretera*

Tipo de carretera		Período de diseño
Autopista regional		20 – 40 años
Troncales	Suburbanas	15 – 30 años
	Rurales	
Colectoras	Suburbanas	10 – 20 años
	Rurales	

*Nota. Tomado de (Coronado, 2002 pág.60). Manual centroamericano para diseño de pavimentos.*

- ✓ **Vida útil del pavimento:** Es aquel tiempo que transcurre entre la construcción de este y el momento en el que alcanza el mínimo de serviciabilidad.

#### b) En función del nivel de tránsito.

Como exponen Becerra y López (2022), los pavimentos se diseñan en función del efecto del daño que ocasiona el paso constante de los vehículos y un número determinado de cargas aplicadas durante su período de servicio. Un tránsito mixto está compuesto de vehículos de diferentes pesos y números de ejes, por tanto, para efectos de cálculo los ejes se transforman en un número de ejes equivalentes.

**Tabla 21***Niveles de Tránsito de diseño (ejes equivalentes de 8.2 Ton)*

NIVEL	TRÁNSITO DE DISEÑO EN EJES EQUIVALENTES
1	Menor a 50.000
2	50.001 – 2'000.000
3	Mayor a 7'000.000

*Fuente: Guía para diseño de pavimentos (AASHTO-93)*

### 3.5.3. Confiabilidad.

Según el criterio de Sanmartín y Reinoso (2022), la confiabilidad (**R%**) se relaciona con el desempeño del pavimento, así como también el nivel de probabilidad que una estructura de pavimento diseñada posee, esta característica considera las posibles variantes de tráfico previstas que proporcionen un grado de confiabilidad y asegure la duración del pavimento en función del período con que estas fueron diseñadas.

**Tabla 22***Niveles de confiabilidad recomendados por AASHTO-93*

Tipo de Carretera	NIVELES DE CONFIABILIDAD (R%)	
	Zona Urbana	Zona Rural
Rutas interestatales y autopistas	85 – 99.9	80 – 99.9
Arterias principales	80 – 99	75 – 99
Colectoras	80 – 95	75 – 95
Locales	50 – 80	50 – 80

*Fuente: Guía de diseño para pavimentos (AASHTO-93)*

### 3.5.4. Desviación Estándar Normal.

La desviación estándar normal está relacionada con la confiabilidad (R%) del proyecto, como se muestra en la **tabla 23** los valores de desviación correspondientes a diferentes niveles de confiabilidad.

**Tabla 23***Desviación Estándar Normal (Zr)*

<b>Confiability (R%)</b>	<b>Desviación Estándar Normal (Zr)</b>
50	-0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

*Fuente: Guía de diseño para pavimentos (AASHTO-93).*

### **3.5.5. Error Estándar Combinado (So).**

Desviación estándar conjunta que conjuga la desviación estándar de la ley de predicción del tránsito en el periodo de diseño con la desviación estándar de la ley de la predicción del comportamiento del pavimento. Se refiere al grado de certidumbre de que un dado diseño puede llegar al fin de su período de análisis en buenas condiciones. Toma en cuenta la variabilidad esperada de la predicción del tránsito y de los otros factores que afectan el comportamiento del pavimento; como por ejemplo, construcción, medio ambiente.

**Tabla 24***Valores recomendados para la desviación estándar total (So)*

<b>Condición de diseño</b>	<b>Desviación Estándar (So)</b>
Variación de la predicción en el comportamiento del pavimento (sin error de tráfico)	<b>0.25</b>
Variación total en la predicción del comportamiento del pavimento y en la estimación del tráfico	<b>0.40 – 0.50</b> <b>0.45</b> valor recomendado
Considerando la varianza del tránsito futuro	<b>0.49</b>
Sin considerar la varianza del tránsito futuro	<b>0.44</b>

*Fuente: Guía de Diseño para Pavimentos (AASHTO-93).*

### 3.5.6. Pérdida de serviciabilidad.

Como plantea Martínez (2022), tal valor determina el nivel de serviciabilidad y seguridad para la circulación normal por la vía en un determinado tiempo.

$$\Delta PSI = P_o - P_t \quad (3)$$

En donde:

$\Delta PSI$  = Pérdida de serviciabilidad

$P_o$  = Serviciabilidad inicial

$P_t$  = Serviciabilidad final

**Tabla 25***Índice de Serviciabilidad*

<b>Índice de Serviciabilidad</b>	<b>Calificación</b>
0 – 1	Muy mala
1 – 2	Mala
2 – 3	Regular
3 – 4	Buena
4 – 5	Muy buena

*Fuente: Guía para el Diseño de Pavimento (AASHTO-93)*

La AASHTO (1993 – 1998) establece los siguientes valores:

**Po = 4.2** (4.2 representa la máxima calificación alcanzada en la AASHTO Road Test para pavimento flexible)

**Pt = 2.0 – 2.5** (2.0 se sugiere para caminos de tránsito bajo y 2.5 para caminos principales)

### 3.5.7. Módulo Resiliente.

El módulo resiliente o de resiliencia, es un parámetro fundamental para el análisis y diseño de pavimentos, como expone Munera (2019), es una medida de la capacidad de un material de absorber o almacenar energía sin la experimentación de una deformación permanente. Muchos diseñadores de pavimentos optan por la utilización de correlaciones o nomogramas para determinar el valor aproximado del módulo resiliente. Con los nomogramas se estima el módulo resiliente según los resultados de otros ensayos básicos de caracterización (AASHTO, 1993).

Ecuaciones que relacionan el CBR para el cálculo del módulo resiliente de la subrasante:

$$MR [PSI] = 1500 * (CBR) \quad (4)$$

Correlación de CBR de diseño para obtención del Módulo Resiliente  
(CBR<10%)

Cabe recalcar que las ecuaciones anteriores se usan solo si el CBR% es menor al 10%. Mientras tanto para los CBR% que se encuentran entre 10% - 20% se emplea la **ecuación 5** y para CBR mayores a 20% aplicamos la **ecuación 6**.

$$MR [PSI] = 3000 * (CBR)^{0.65} \quad (5)$$

Correlación para determinar Módulo Resiliente (CBR= 10-20%)

$$MR [PSI] = 4326 * \ln (CBR) + 241 \quad (6)$$

Correlación para obtener Módulo Resiliente (CBR>20%)

### 3.5.8. Número Estructural.

Según lo expuesto por Tolentino (2021), se define como un número abstracto que significa la resistencia estructural de pavimento requerida, además de representar la medida de cada capa.

$$SN = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot m_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot m_3 \cdot D_3 \quad (7)$$

Determinación del Número Estructural (SN) en función de coeficientes de capas

En donde:

**a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub>** = Coeficiente estructurales o de capa, de la superficie de rodadura, base y subbase respectivamente.

**m<sub>2</sub>, m<sub>3</sub>** = Coeficientes de drenaje para base y subbase

**D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>** = Espesores de capa en pulgadas para la superficie de rodadura, base y subbase

### 3.5.9. Coeficientes de drenaje (m<sub>i</sub>).

Según el punto de vista de González (2018), estos factores de drenaje aplican para cada capa que forma parte del pavimento que va a diseñar. Estas se seleccionan de acuerdo con las características del material, calidad de drenaje y porcentaje de tiempo en que una estructura de pavimento está expuesta a niveles de humedad próxima a la saturación. Se calcula como la relación entre el número de días promedio que llueve en la zona del proyecto y los 365 días de año.

**Tabla 26**

*Tiempos de drenaje para capas granulares*

<b>Calidad del drenaje</b>	<b>50% de Saturación</b>	<b>85% de Saturación</b>
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	De 10 a 15 horas
Muy pobre	El agua no drena	Mayor de 15 horas

*Nota: Tomado de Guía para Diseño de Pavimentos, (AASHTO 93)*

**Tabla 27***Coefficientes de drenaje para pavimentos flexibles*

Calidad del drenaje	P= % del tiempo en el que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	1%	1% - 5%	5% - 25%	> 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

*Nota: Tomado de Guía para Diseño de Pavimentos, (AASHTO 93)*

### 3.5.10. Coeficientes estructurales ( $a_i$ ).

Es una medida de la capacidad relativa de los materiales para funcionar como un componente estructural de la acera, también se define como la relación empírica entre el número estructural (SN) y el espesor de la capa ( $D_i$ ), tiene la capacidad del material para funcionar como un componente estructural del pavimento.

El método asigna a cada capa del pavimento un coeficiente, los cuales son requeridos para el diseño estructural normal de los pavimentos flexibles. Estos coeficientes permiten convertir los espesores reales a números estructurales (SN), siendo cada coeficiente una medida de la capacidad relativa de cada material para funcionar como parte de la estructura del pavimento.

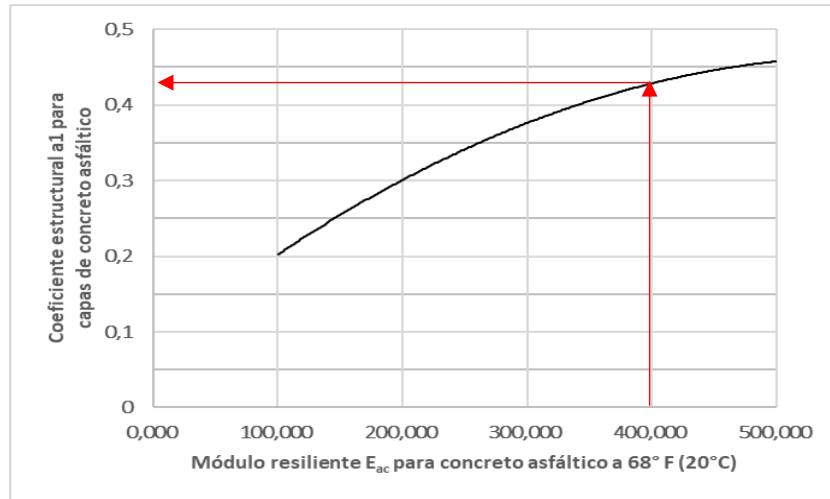
Corredor (2010), menciona que es una medida de la habilidad relativa de una unidad de espesor de un material/mezcla específico, para servir como un componente estructural de un pavimento. Los coeficientes estructurales ( $a_i$ ) son empleados en el Método AASHTO-93 para las diferentes capas de la estructura del pavimento ya sea en función del módulo elástico, Cbr % o estabilidades, se los puede determinar a través de los nomogramas de la guía de diseño los cuales son los siguientes:



a) Gráfica de coeficientes estructurales para la carpeta asfáltica.

Figura 12

Nomograma de Coeficientes estructurales (a1)

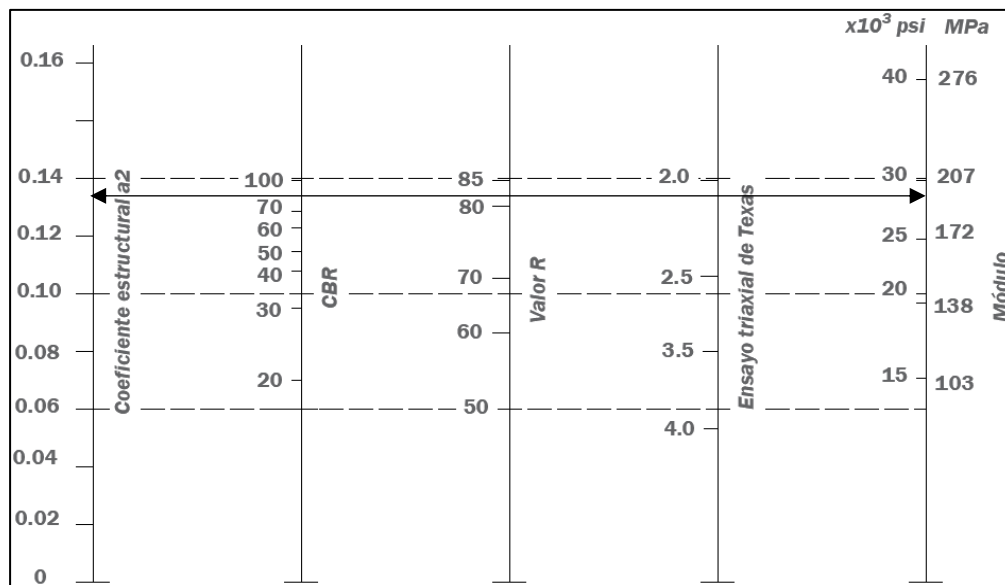


Nota. La **figura 12** presenta los valores de coeficientes estructurales para mezcla de concreto asfáltico empleadas como capas de rodadura, a partir del Módulo Elástico.

b) Gráfica de coeficientes estructurales para bases y subbases granulares.

Figura 13

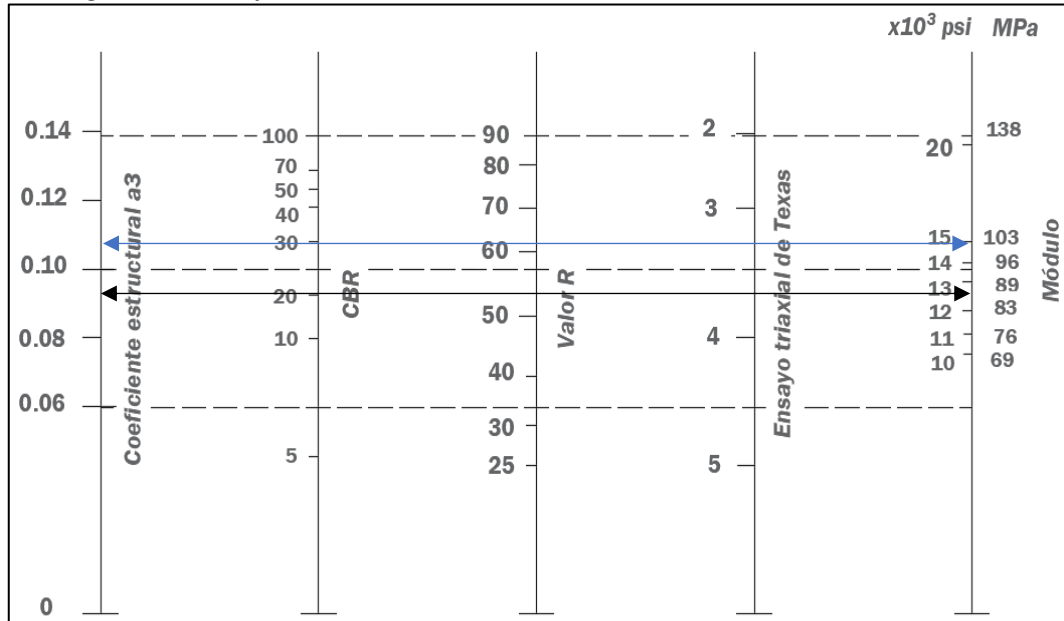
Nomograma de coeficientes estructurales (a2)



Nota. La **figura 13** permite determinar el valor del coeficiente estructural de la capa de base granular no-tratada, por medio de varios parámetros de resistencia.

**Figura 14**

*Nomograma de coeficientes estructurales ( $a_3$ )*

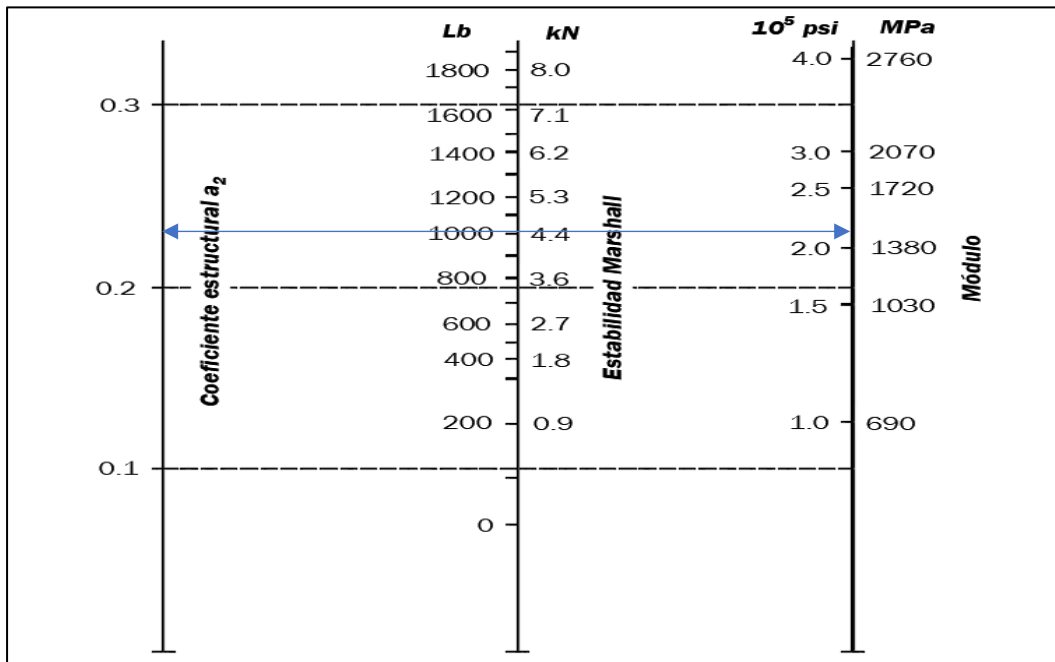


Nota. La **figura 14** permite determinar el valor del coeficiente estructural de la capa de subbase granular no-tratada y mejoramiento de subrasante, mediante varios parámetros resistentes.

c) **Gráfica para coeficientes estructurales de bases estabilizadas con cemento y asfalto.**

**Figura 15**

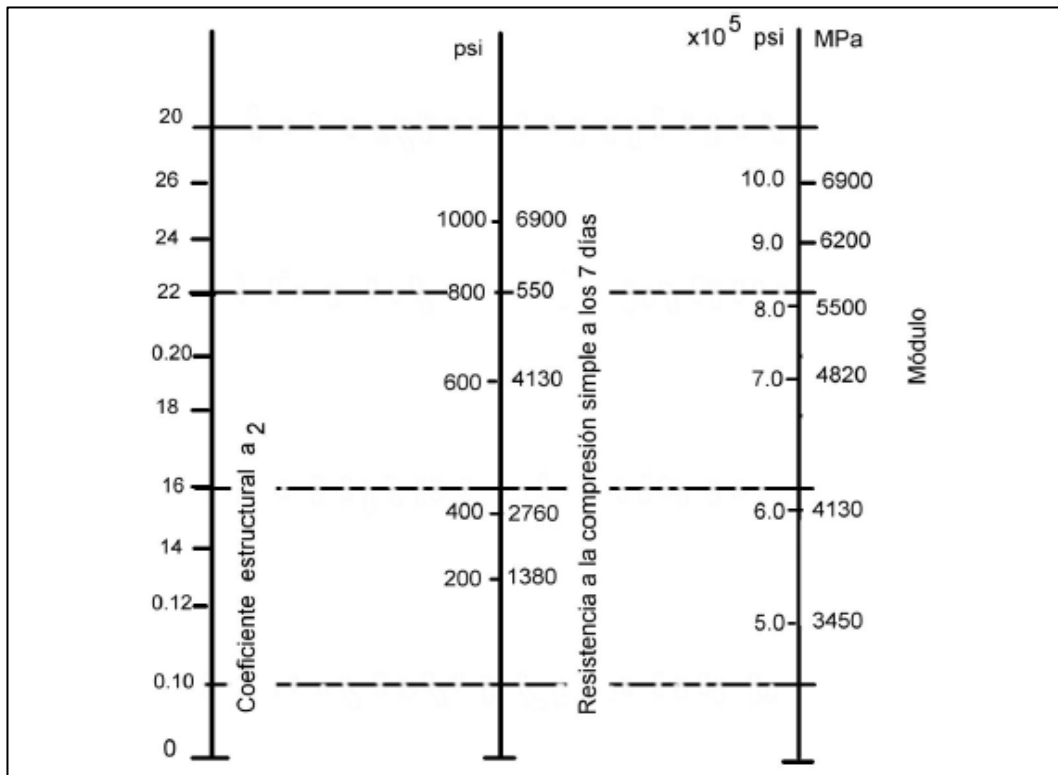
*Variación de  $a_2$  en bases tratadas con asfalto en función de la Estabilidad Marshall.*



Nota. Tomado de Guía AASHTO-93 para Diseño de Pavimentos.

**Figura 16**

*Variación del coeficiente estructural de la capa de base tratada con cemento.*



*Nota. Tomado de Guía AASHTO-93 para Diseño de Pavimentos.*

**Tabla 28**

*Valores típicos de los módulos de capas en pavimentos asfálticos*

Material	Rango (MPa)	Valor Típico (MPa)	Valor Típico (Psi)
Carpeta Asfáltica Convencional	1000-4000	3000	435000
Base estabilizada con asfalto	700-3500	1500	220000
Base estabilizada con cemento	2000-7000	4000	580000
Base Granular	140-280	210	30000
Subbase Granular	70-140	100	15000
Subrasante	20-100	50	7000

*Fuente: Tomado de Invias (2008).*

### 3.5.11. Criterio de espesores mínimos.

Citando a Coronado (2002), argumenta que en la práctica no deben colocarse capas con espesores menores que los mínimos requeridos, debido a que las capas con espesores mayores que el mínimo son más estables. Aquellos mínimos dependen de la practica local la misma que se condiciona su uso, además que la finalidad de esta definición se basa en que las capas granulares sin tratar, deben estar perfectamente protegidas de presiones verticales excesivas, que produzcan deformaciones permanentes a nivel de subrasante.

Los materiales usados en cada una de las capas de la estructura de un pavimento flexible, de acuerdo a sus características ingenieriles, tienen un coeficiente estructural. Este coeficiente representa la capacidad estructural del material para resistir las cargas solicitadas. Estos coeficientes están basados en correlaciones obtenidas a partir de la prueba AASHTO de 1958-60 y ensayos posteriores que se han extendido a otros materiales y otras condiciones para generalizar la aplicación del método.

**Tabla 29**

*Espesores mínimos sugeridos*

Número de Esal's	Carpeta asfáltica	Base Granular
Menos de 50.000	3.0 cm	10 cm
50.000 – 150.000	5.0 cm	10 cm
150.000 – 500.000	6.5 cm	10 cm
500.000 – 2'000.000	7.5 cm	15 cm
2'000.000 – 7'000.000	9.0 cm	15 cm
Mas de 7'000.000	10.0 cm	15 cm

*Fuente: Guía para Diseño de Pavimentos (AASHTO 93).*

La metodología del presente estudio sigue la línea de diseño que establece la AASHTO-93, en la que define los parámetros que se requieren para el desarrollo correcto del dimensionamiento de la estructura de pavimento flexible tradicional en función de las condiciones climáticas del sector de estudio y normativas reguladas por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOB).

a) **Condición de Tráfico de Diseño.-** Respecto al análisis estructural del pavimento flexible convencional se partió del tráfico de diseño preestablecido según el nivel de tránsito, para efectos del análisis se considera un nivel de tráfico alto en función de la **tabla 21**.

Por otra parte, se define la confiabilidad (**R%**) con los valores que se muestran en la **tabla 22**, seguidamente adoptamos un valor de Desviación Estándar Normal (**Zr**) de la **tabla 23** en función de la confiabilidad.

Por medio de la **tabla 24** considerando las sugerencias que se detallan con anterioridad, se emplea el respectivo parámetro a utilizar de Desviación Estándar (**So**). Luego para determinar la pérdida de serviciabilidad **ΔPSI**, por criterio recomendado por la guía AASHTO-93, tomamos los datos para  $P_o = 4.2$  y  $P_t = 2.5$ .

b) **Obtención del Módulo Resiliente.-** Este parámetro se define a raíz de las condiciones que presentan los suelos de subrasante en la provincia de Santa Elena específicamente la Parroquia Manglaralto, siendo el Módulo Resiliente calculado por la correlación del CBR de diseño para el análisis del pavimento. Para subrasantes de baja calidad con CBR (%) menores a 10%, con la **ecuación 4** obtenemos este parámetro de diseño requerido.

Es calculado por el ensayo T274 de la AASHTO, que viene a ser un método muy difícil de realizar en muchos lugares porque no se cuenta con los equipos que efectúen este ensayo, por lo tanto, existen relaciones que pueden calcular dicho módulo aproximadamente tomando como parámetro principal el CBR; dato que se puede calcular por medio de ensayos de la AASHTO, ASTM, etc.

c) **Condiciones de Drenaje.-** Con la utilización de la **tabla 26 y 27** hallamos los coeficientes de drenaje **m<sub>2</sub>** y **m<sub>3</sub>** para las capas de base y subbase respectivamente, que componen la estructura del pavimento que se diseñará.

### 3.6. METODOLOGÍA DEL OE.2: DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO REFORZADO CON GEOMALLA BIAxIAL PARA OPTIMIZAR Y REDUCIR ESPESORES

#### 3.6.1. Metodología de diseño aplicada en Pavimentos Reforzados con Geomalla.

La incorporación de la Geomalla Biaxial como refuerzo a una estructura de pavimento permite proveer a un pavimento de mayor capacidad de soporte y tener mejor distribución uniforme de cargas. La metodología de diseño de este tipo de pavimentos con refuerzo se basa en el Método AASHTO-93, el mismo que ha sido adaptado con el uso de materiales geosintéticos (Geomalla Biaxial).

#### 3.6.2. Propiedades físico- mecánicas de la Geomalla Biaxial para diseño de pavimento.

**Tabla 30**

*Propiedades mecánicas de la Geomalla Biaxial*

PROPIEDADES MECÁNICAS	NORMA	UNIDAD	P-BX 2020		P-BX 3030	
			SL <sup>1</sup>	ST <sup>1</sup>	SL <sup>1</sup>	ST <sup>1</sup>
<b>Rigidez radial<sup>5</sup></b>	ASTM D6637	kN/m	380		550	
<b>Resistencia última a la tensión</b>	ASTM D6637	kN/m	20	20	30	30
<b>Eficiencia de los nodos<sup>2</sup></b>	ASTM D7737/D6637	%	95		95	
<b>Rigidez flexural</b>	ASTM D7748	mg – cm	700.000		2.000.000	
<b>Rigidez torsional (J)<sup>3</sup></b>	GRI GG9	cm – kg/deg	3.3		5.5	

*Fuente. Tomado de PAVCO-WAVIN (2021).*

**Tabla 31***Propiedades físicas de la Geomalla Biaxial*

PROPIEDADES FÍSICAS	NORMA	UNIDAD	P-BX 2020		P-BX 3030	
			SL <sup>1</sup>	ST <sup>1</sup>	SL <sup>1</sup>	ST <sup>1</sup>
Tamaño de abertura	Medido	Mm	40	40	40	40
Espesor de las costillas	Medido	Mm	1.3	0.7	2.4	1.0
Ancho de la costilla	Medido	Mm	2.3	3.1	2.4	3.7
Resistencia a la degradación UV <sup>4</sup>	ASTM D4355/D6637	%	90		90	
Resistencia a los daños químicos	EPA 9090 A	%	100		100	

*Fuente. Tomado de PAVCO-WAVIN (2021)***Tabla 32***Especificaciones de la Geomalla Biaxial*

PRESENTACIÓN DEL ROLLO	NORMA	UNIDAD	P-BX 2020	P-BX 3030
Ancho del rollo	Medido	M	3.90	3.90
Largo del rollo	Medido	M	51.3	51.3
Área del rollo	Medido	m <sup>2</sup>	200	200

*Fuente. Tomado de PAVCO-WAVIN (2021).*

### **3.6.3. Método AASHTO para Diseño de Pavimentos Flexibles reforzados con Geomallas Biaxiales Coextruidas.**

La sección contiene la metodología de diseño paso a paso para la estimación del número estructural requerido y el diseño de la estructura usando las ecuaciones del método AASHTO para pavimentos flexibles, y la introducción del Layer Coefficient Ratio -LCR- (Relación del coeficiente de capa), de la geomalla, el cual cuantifica la contribución estructural de la Geomalla a la estructura del pavimento. (PAVCO, 2021)

El aporte estructural de una Geomalla en una estructura de pavimento flexible puede cuantificarse con el incremento al esfuerzo del coeficiente de la capa de base de la vía. Este tipo de geomalla se compone de nudos rígidos en los cuales el material granular es confinado por trabazón de agregados, su abertura permite alta adherencia entre las diferentes capas granulares de la estructura del pavimento. adicionalmente, aumenta la resistencia a la tensión de las capas de base, tanto en vías no pavimentadas como en estructuras de pavimentos flexibles siendo ideales para el refuerzo de suelos. La ecuación del número estructural requerido se convierte en:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 LCR D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \quad (8)$$

Determinación del Número Estructural (SN) que expresa la capacidad estructural requerida por el pavimento para condiciones dadas de calidad de suelo, condiciones de tráfico, variación de serviciabilidad durante la vida útil del pavimento y condiciones ambientales convirtiéndose en una combinación de espesores de capa, combinando coeficientes que representan la capacidad estructural relativa de cada capa y el aporte de la Geomalla. Donde LCR es un valor superior a 1. Este valor es determinado basándose en resultados de laboratorio y en pruebas de campo en sistemas de pavimentos flexibles con y sin aplicación de geomallas.

El SN<sub>r</sub> (número estructural de la sección reforzada) y SN<sub>u</sub> (número estructural de la sección no reforzada) fueron evaluados bajo condiciones de pavimentos iguales, por ejemplo, igual profundidad de la base, igual valor de CBR en la subrasante, igual profundidad de ahuellamiento (Rut), pero utilizando distintos períodos de diseño.

$$LCR = \frac{SN_r - SN_u}{a_2 D_2} + 1 \quad (9)$$

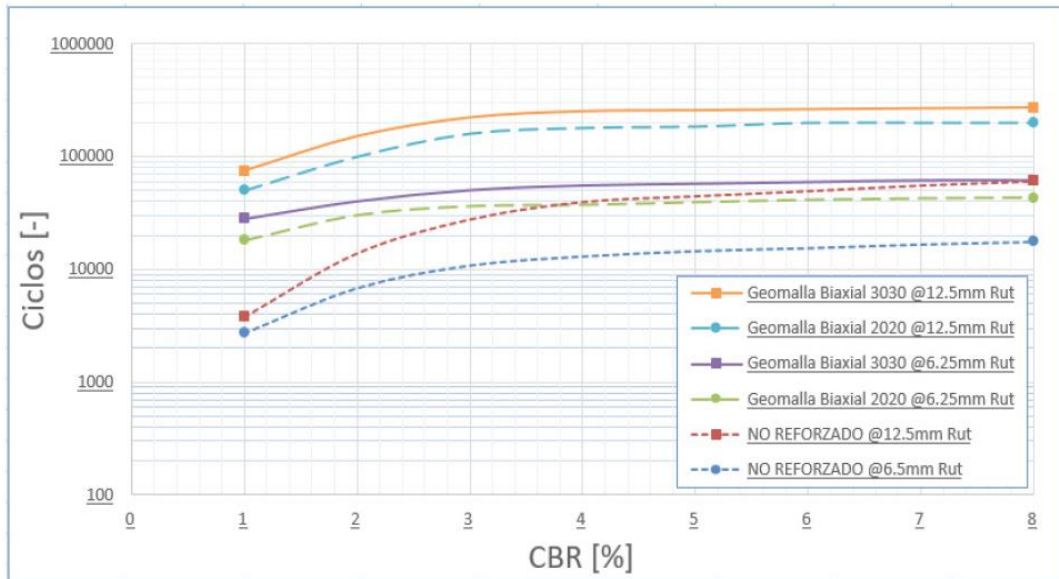
Determinación del LCR



Basados en la **ecuación 9** se puede calcular el valor de LCR el cual se obtuvo en los ensayos realizados a la sección típica de la vía . En la **figura 17** se presenta el LCR basado en los ensayos empíricos para la estructura sin refuerzo y reforzada con Geomallas de 20 KN/m y 30 KN/m de resistencia a la tensión.

**Figura 17**

*CBR Vs Número de ciclos en secciones no reforzadas y reforzadas con Geomallas*

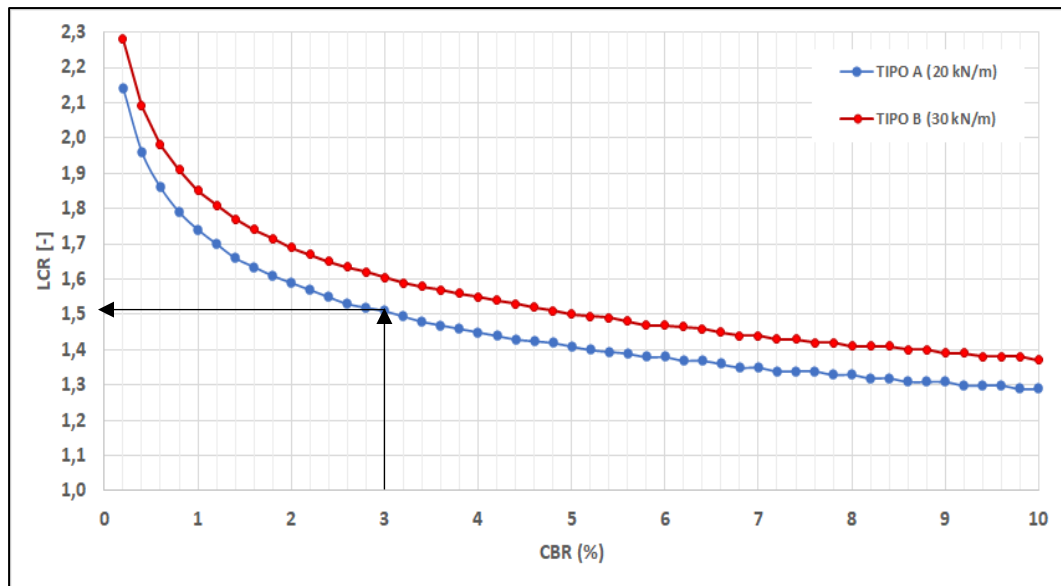


*Fuente. Tomado de Manual de Diseño con Geosintéticos. Geosistemas PAVCO (2021). Décima edición.*

El valor de LCR oscila entre 1.3 a 1.7 dependiendo básicamente del CBR de la subrasante y los Esal's para una profundidad de ahuellamiento de la carpeta asfáltica (Rut) de 12,5 mm. Como se indica en la **figura 18** la contribución estructural de la geomalla de refuerzo es casi constante cuando el valor de CBR entre 1% y 3% el aporte estructural de la geomalla es significativamente más alta.

**Figura 18**

*LCR Vs. CBR de la Subrasante*



*Fuente. Tomado de Manual de Diseño con Geosintéticos. Geosistemas (PAVCO, 2021). Décima edición.*

La reducción en espesor de la base puede ser evaluada con el uso de una geomalla mediante la ecuación 10, asumiendo que no existe una capa de subbase.

$$D_2 = \frac{SN_r - a_1 D_1 m_1}{LCR a_2 m_2} \quad (10)$$

Reducción de espesor de Capa de Base con uso de Geomalla

Se puede reducir el espesor de la capa de asfalto mediante la ecuación,

$$D_1 = \frac{SN_r - LCR a_2 D_2 m_2}{a_1} \quad (11)$$

Reducción de espesor de Capa de Asfalto con uso de Geomalla

### **3.7. METODOLOGÍA DEL OE.3: DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES CON MATERIALES GRANULARES ESTABILIZADOS CON ASFALTO**

#### **3.7.1. Ensayos de laboratorio de los materiales granulares de las canteras Sitio Nuevo y Juan Montalvo.**

Para conocer mejor las características físicas, geológicas y la capacidad de resistencia del suelo de las canteras: Sitio Nuevo y Juan Montalvo, ubicadas en la Provincia de Santa Elena para el estudio se han realizado previamente los ensayos mostrados a continuación:

##### ***3.7.1.1. Cuarteo de muestras.***

Como primer punto se procedió a extraer el material de la cantera a estudiar, se procedió a llevar el material hasta el laboratorio de suelos de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Estatal Península de Santa Elena para de esta manera proceder con el respectivo estudio.

Para realizar este proceso se lleva a cabo el regado del material en una superficie plana y libre de residuos en el laboratorio de suelos, una vez que este se encuentre a temperatura ambiente y de haber transcurrido 96 horas máximas de secado se procede a mezclar, consiguiendo una muestra homogénea separamos en cuatro partes iguales, se realiza el respectivo pesaje y se guarda en fundas para poder utilizarlas para los diferentes ensayos a realizar tales como: Granulometría, Gravedad específica, Límites de Atterberg, Proctor Modificado, CBR, Abrasión de los Ángeles y los respectivos ensayos de asfalto tales como: Briquetas, Compactación Marshall y Baños María.

## Figura 19

### *Cuarteo de muestras*



#### **3.7.1.2. Contenido de humedad.**

**(Norma ASTM 2216 – 71)**

Hallar el contenido de humedad es importante para poder determinar de qué manera la humedad del suelo puede dañar la cimentación, ya que un suelo muy húmedo puede contener sales y sulfatos que ocasionen daños al suelo. Es una relación expresada como porcentaje del peso del agua en una masa de suelo, al peso de las partículas sólidas, es calculada por esta expresión:

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (12)$$

Donde:

w (%)= Contenido de humedad.

Ww= Peso de agua existente en la muestra de suelo.

Ws= Peso de las partículas sólidas.

**Equipos por utilizar:** (i) Balanza electrónica; (ii) Horno a temperatura  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ; (iii) Recipientes pequeños con sus respectivos nombres y pesos; (iv) Espátula; (v) Muestra a ensayar; (vi) Hojas de cálculos del ensayo.

**Procedimiento:**

- ✓ Se escoge una muestra del material de cantera.
- ✓ Se procede a pesar en la balanza electrónica con el recipiente de peso y nombre establecido.
- ✓ Se deja en el horno por 1 día para que de esta manera pierda humedad existente.
- ✓ Se retira del horno la muestra existente y se deja enfriar a temperatura ambiente.
- ✓ Se pesa el recipiente con la muestra.
- ✓ Se calculó el contenido de humedad con la fórmula establecida.

**3.7.1.3. Análisis Granulométrico.**

*(Norma AASHTO T-87-70, T-88-70; ASTM D 421 – 58, D 422 – 63)*

El ensayo granulométrico tiene como objetivo clasificar y separar las partículas de suelos por rangos de tamaños, y para esto se requiere utilizar tamices con diferentes dimensiones tales como: 3", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", N°4, fondo.

**Equipos por utilizar:** (i) Máquina Tamizadora; (ii) Balanza electrónica; (iii) Horno a temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ; (iv) Tamices (según el método a utilizar); (v) Recipientes grandes y medianos con sus respectivos pesos y nombres; (vi) Hoja de cálculo del respectivo ensayo.

**Procedimiento:**

- ✓ Análisis con lavado (Vía Húmeda).
- ✓ La misma muestra que se usó para contenido de humedad de suelos finos, se lleva a cabo el proceso de lavado con mucho cuidado en el tamiz N° 200.
- ✓ Lo que queda retenido en la malla N° 200 se coloca en un recipiente y se deja secar al horno por 24 horas.

- ✓ Una vez secado el material lavado se realiza el respectivo tamizado con los siguientes tamices. N° 4, N°10, N°40, N°200.
- ✓ El material que quedó retenido por cada tamiz se pesa y se apunta el peso en las hojas de cálculo el peso retenido por cada malla.

**Figura 20**

*Granulometría Método lavado (Vía Húmeda)*



**Análisis por cribado:**

- ✓ Se realiza una homogeneidad de la muestra y se cuartea el material del suelo extendido.
- ✓ Se escoge la muestra más representativa que contenga material grueso y fino un peso aproximado de 10000 Kg.
- ✓ Se colocan los tamices por orden según aberturas: 3", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", N°4, fondo.
- ✓ Se vierte el material y se procede a tamizar.
- ✓ Se pesa en la balanza electrónica el material retenido por cada tamiz utilizado.
- ✓ Luego el material que pasa el tamiz N°4 se escoge 300 gr para lavar y luego se deja en el horno 24 horas y así obtener granulometría del material fino.
- ✓ Una vez secado el material lavado se procede al tamizado respectivo mediante la utilización de tamices: N° 4, N°10, N°40, N°200.
- ✓ El material retenido por cada tamiz utilizado se pesa y se apunta el peso retenido por cada malla utilizada.

**Figura 21**

*Granulometría (Vía seca) – Muestras tamizadas*



**3.7.1.4. Ensayos de Límites de Atterberg e Índice de Plasticidad.**

**(Norma ASTM DM 23-66; AASHTO T-89-68; ASTM D424-59; AASHTO T-90-56)**

Los Límites de Atterberg se utilizan para caracterizar el comportamiento de los finos, que muchas veces varía a lo largo del tiempo. Por tanto, dependiendo del contenido de agua, la naturaleza del suelo se clasifica en límite líquido, límite plástico.

**Límite Líquido (LL):** el contenido de agua, en porcentaje requerido para cerrar para cerrar una distancia de 12,7 mm a lo largo de una ranura, a los 25 golpes se define como límite líquido.

**Límite Plástico (LP):** se define como el contenido de agua, en porcentaje, con el cual el suelo, al ser desarrollado en rollitos de 3.2 mm de diámetro.

**Índice Plástico (IP):** es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

**Equipos que utilizar:** (i) Horno a temperatura  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ; (ii) Balanza electrónica; (iii) Copa de Casagrande; (iv) Acanalador de bronce; (v) Espátula; (vi) Botella que contenga agua; (vii) Tara pequeña; (viii) Recipientes pequeños con nombres y peso correspondiente; (ix) Muestra tamizada por malla N°40 (250gr); (x) Hojas de apuntes.

## **Procedimiento**

### **Límite líquido (LL).**

- ✓ Se tamiza la cantidad de 250gr y que previamente pasó por tamiz N° 40 de cada muestra a ensayar.
- ✓ En una tara pequeña se coloca una porción de material tamizado y se coloca agua hasta lograr una pasta homogénea.
- ✓ Con una espátula flexible, se coloca la pasta homogénea en la copa Casagrande y se enraza hasta que moldee una superficie ovalada en la copa Casagrande.
- ✓ Se procede a trazar un canal sobre el centro de la copa Casagrande con el acanalador, hasta formar dos pequeños taludes y se retiran los excesos de muestras con la espátula flexible.
- ✓ Se rota la manivela de la copa Casagrande hasta que logremos unir 2 partes que trazamos con el acanalador y así se determina la cantidad de golpes que necesitara para unir 2 mitades.
- ✓ Luego que se haya unido estas dos partes se procede a retirar con la espátula flexible la Proción unida y se coloca en un recipiente pequeño numerado, se anota su peso total.
- ✓ Se lleva el recipiente pequeño al horno a secar por 24 horas.
- ✓ Después de las 24 horas se registra el peso total seco.
- ✓ De la manera antes mencionada se repite la misma operación para tres ensayos adicionales con la misma masa del material, agregándole agua suficiente para tener un estado de mayor fluidez, con el fin de obtener los números de golpes requeridos (10,20,30,40) para cerrar las dos mitades de la ranura del suelo.



## Procedimiento

### Límite Plástico (LP).

- ✓ Con una masa homogénea y moldeable de la muestra se realiza rollitos de 3 mm de diámetro.
- ✓ El moldeo o amasado de la muestra se la debe realizar hasta que en el rodillo muestre unas pequeñas grietas o fisuras, esto significará el límite plástico del material.
- ✓ En un recipiente pequeño enumerado se colocarán pequeñas porciones de la muestra, ya agrietada, y posteriormente se anota el peso total registrado en la balanza electrónica.
- ✓ Se coloca el recipiente con la muestra al horno por 24 horas.
- ✓ Después de las 24 horas transcurridas se registra el peso total seco.
- ✓ Los pasos antes mencionados se lo realizarán para 2 muestras más.

### Índice Plástico (IP).

El índice de plasticidad se calcula a través de la siguiente expresión:

$$IP=LL-LP$$

## Figura 22

*Ensayos de límites de Atterberg.*



### **3.7.1.5. Gravedad Específica.**

**(Norma ASTM D854-14)**

La gravedad específica de un agregado es útil para determinar la relación peso-volumen del agregado compactado y así calcular el contenido de vacíos en las mezclas asfálticas en caliente compactado. Por definición, la gravedad específica de un agregado es la relación del peso por unidad de volumen de un material respecto del mismo volumen de agua a aproximadamente 23 °C.

**Equipos por utilizar:** (i) Horno que pueda mantener una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ; (ii) Picnómetro; (iii) Probeta; (iv) Agua; (v) Glicerina; (vi) Cocineta; (vii) Tara; (viii) Agua destilada; (ix) Embudo; (x) Pipeta; (xi) Termómetro; (xii) Agregado fino.

#### **Procedimiento**

- ✓ Se procede a llenar el picnómetro hasta la marca de agua o línea que este tiene.
- ✓ Se mide la temperatura del agua en el picnómetro.
- ✓ Se pesa el picnómetro con el agua destilada.
- ✓ Luego se vacía en una probeta la mitad de agua destilada.
- ✓ Con la ayuda de un embudo se llena el picnómetro con el agregado fino, luego se llena con agua hasta la línea.
- ✓ Se pone a calentar la tara con la glicerina y luego se sumerge el picnómetro, pero no se asienta en la tara.
- ✓ Cuando éste entre en estado de ebullición se levanta el picnómetro y luego se sumerge debido a que se está liberando el aire.
- ✓ Se deja enfriar hasta los  $25^{\circ}\text{C}$  inicial, colocamos el material del picnómetro en una tara y pesamos.
- ✓ Dejamos en el horno por 24 horas.
- ✓ Pesamos el material seco.

### Figura 23

#### *Ensayo de Gravedad Específica*



#### **3.7.1.6. Abrasión mediante Máquina de los Ángeles.**

**(Norma ASTM C 535)**

El objetivo del ensayo es determinar el porcentaje de desgaste de los agregados gruesos de tamaños mayores a 37,5 mm (1 ½”), cuando se somete a una fuerza abrasiva y fricción ocasionados por unas esferas de acero dentro de la máquina de los Ángeles.

**Equipo por utilizar:** (i) Máquina de los Ángeles; (ii) Tamiz N° 12 para el cálculo del desgaste; (iii) 12 esferas de acero de 1 diámetro de 47 mm (1 27/32”) y un peso entre 390 gr y 445 gr; (iv) Balanza, con una precisión de 1.0 gr; (v) Horno, que pueda mantener una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

#### **Preparación de la muestra.**

- ✓ Se escoge la tabla N° 20 para agregados gruesos hasta de 1 ½”.
- ✓ Para este caso se escogió la granulometría de la muestra de agregado que corresponden al método 2.
- ✓ El material deberá ser lavado y secado en horno a una temperatura constante de 105-110°C, tamizadas según mallas que se indican y mezcladas en las cantidades del método al que corresponden, según la Tabla 33.

**Tabla 33***Especificaciones para ensayo de Abrasión*

<b>MÉTODO</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>DIÁMETRO</b>		<b>CANTIDAD DE MATERIAL A USAR (gr)</b>		
<b>Que pasa</b>	<b>Retenido</b>			
3"	2 ½"	2500±50		
2½"	2"	2500±50		
2"	1 ½"	5000±50	5000±50	
1 ½"	1"		5000±50	5000±25
1"	¾"			5000±25
<b>PESO TOTAL</b>		<b>10000±100</b>	<b>10000±75</b>	<b>10000±50</b>
N° de esferas		12	12	12
N° de revoluciones		1000	1000	1000
Tiempo de rotación (minutos)		30	30	30

*Fuente: Norma ASTM C 535*

- ✓ Pesar la muestra con precisión de 1 gr., para el caso de agregados gruesos hasta de 1 ½" y 5 gr. Para agregados gruesos de tamaños mayores a ¾".
- ✓ La muestra deberá secarse en el horno a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , durante 24 horas.

**Procedimiento**

- ✓ Se introduce la muestra junto con las esferas de acero en cilindro, se tapa y ajusta la abertura del cilindro (tambor rotativo), de la máquina de los Ángeles.
- ✓ Se acciona la máquina con las revoluciones de acuerdo según método durante 30 minutos.
- ✓ Terminado el tiempo de rotación, se seca al horno a una temperatura constante de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , durante 24 horas el material retenido en el tamiz N°12.
- ✓ Pasado las 24 horas se pesa el material.

**Figura 24**

*Lavado del material previo al ensayo de abrasión de los Ángeles y Colocación de material en el horno*



**Figura 25**

*Ajuste de la tapa de la Máquina de Abrasión*



**Figura 26**

*Retiro del material después del ensayo*



*Nota. Los resultados del ensayo de abrasión de los ángeles se encuentran en el Anexo 7 y 8.*

### **3.7.1.7. Ensayos de Compactación (Proctor Modificado).**

**(Norma ASTM D-698-91; D 1557-91; AASHTO T-180-93; T-99-94)**

El ensayo de compactación o Proctor se define como la determinación de la humedad óptima y su máxima densidad seca del material compactado, cuyo objetivo es aumentar la resistencia y disminución de la capacidad de deformación.

**Equipos para utilizar:** (i) Horno a temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ; (ii) Balanza electrónica; (iii) Molde cilíndrico (para Proctor Modificado); (iv) Martillo o pistón de 10 lb; (v) Probeta (para medir la cantidad de agua a utilizar); (vi) Martillo; (vii) Taras pequeñas; (viii) Recipiente metálico para mezclar; (ix) Enrasador, brocha, espátula; (x) Muestra tamizada por la malla N° 3/4 (5500 gr); (xi) Hojas de apuntes.

#### **Procedimiento**

- ✓ Se procedió a tamizar la muestra por malla 3/4", para lo cual es necesario preparar 5 fundas de 5500 gr.
- ✓ Se coloca sobre el recipiente metálico la muestra, se la esparce y se mezcla para obtener una muestra homogénea, luego la dividimos en 5 partes iguales, se tomó una pequeña cantidad en una tara pequeña para así obtener la humedad natural y se colocó en el horno por 24 horas.
- ✓ Se prepara el molde cilíndrico y se asegura de tal manera que no se afloje al momento de realizar la compactación con el martillo, luego se tomó una de las pequeñas porciones divididas y las colocó en el molde y se procedió la compactación con 56 golpes por cada capa.
- ✓ Para la segunda muestra se mezcló 100ml de agua, la tercera con 200ml de agua, la cuarta con 300ml de agua y la última muestra 400ml de agua.
- ✓ Una vez que culmine la compactación de las 5 capas, se retira el collarín superior y se enrasa con la ayuda de una regla metálica.
- ✓ Se toma el peso de la muestra más molde en la balanza electrónica.

- ✓ El material retirado del molde, y se prepara para la compactación con el agua añadido hasta que la curva Proctor descienda y finalizará en ensayo.
- ✓ Luego de 24 horas se saca la muestra del horno y se registra su peso seco.

### **Figura 27**

#### *Ensayo Proctor Modificado*



#### **3.7.1.8. Ensayo CBR.**

***(Norma ASTM D-1883-73; AASHTO T-193-63).***

El ensayo CBR ( California Bearing Ratio), es un parámetro del suelo que cuantifica su capacidad resistente como subrasante, subbase y base en el diseño de pavimentos, siendo un ensayo empírico que se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad.

Consiste en determinar el esfuerzo cortante del suelo bajo las condiciones de humedad y densidad controladas, como también evaluar la capacidad portante de terrenos compactados, de tal manera que se establezca una relación entre la resistencia a la penetración de un suelo y capacidad de soporte o carga unitaria. Además de compactar un terreno en unos moldes normalizados, sumergidos en agua y aplicar un punzonamiento sobre la superficie del terreno mediante un pistón normalizado. Los valores de CBR cercanos a 0% representan a suelos de pobre calidad, mientras que los suelos más cercanos a 100% son indicativos de la mejor calidad.

**Equipos por utilizar:** (i) Horno a temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ; (ii) Balanza electrónica; (iii) Molde cilíndrico (3 moldes CBR para las tres muestras a ensayar); (iv) Pesas como sobrecargas de 5 lb (2 pesas); (v) Martillo o pistón de 10 lb; (vi) Probeta (para medir la cantidad de agua a utilizar); (vii) Martillo; (viii) Disco espaciador de acero de altura de 2.5"; (ix) Traspapeños enumerados; (x) Muestra tamizada por la malla N° 3/4 (5500 gr); (xi) Piscina (para inmersión); (xii) Taras pequeñas; (xiii) Recipiente metálico para mezclar; (xiv) Arrasadora, brocha, espátula; (xv) Papel filtro; (xvi) Hojas de apuntes.

Toma de lecturas durante 4 días consecutivos.

- ✓ Trípode y dial deformímetro (para poder medir la expansión del material se utiliza un extensómetro, con aproximación de 0.001" montado sobre un trípode).

#### **Para la penetración:**

- ✓ Prensa hidráulica  $V=0,05$  plg/min (1.27 mm).
- ✓ Pistón cilíndrico de acero de 3".

#### **Procedimiento:**

- ✓ Como en el ensayo Proctor (modificado), primero se tamizará por la malla 3/4" y se preparan 3 fundas de material con 5500 gr para en ensayo.
- ✓ Una vez dibujada la curva Proctor con sus 5 puntos ensayados se obtiene la humedad óptima a utilizar en el ensayo CBR.
- ✓ Se prepara la muestra en el recipiente metálico y se le añade la cantidad de agua según la humedad óptima del Proctor modificado.
- ✓ Se mezcla bien hasta obtener el material en condición de humedad óptima conseguida con el Proctor modificado.
- ✓ Se toma en un recipiente pequeño una cantidad de material humedecido, para el contenido de humedad.
- ✓ Se preparan los moldes cilíndricos con el collarín, espaciador y papel filtro en la parte superior del espaciador.



- ✓ Se llena en el molde en cinco capas y compactamos según los números de golpes a emplearse para este ensayo (12,25,56) respectivamente.
- ✓ Una vez compactado se retira el collarín y se enraza con la regla metálica, voltea y se quita el disco espaciador y luego se registra su peso.
- ✓ Se coloca nuevamente el collarín, las pesas, para luego sumergirlas en la piscina.
- ✓ Luego se toma la lectura inicial con las que fue sumergida, y cada 24 horas se tomarán por 4 días consecutivos.

### **Figura 28**

*Ensayo CBR*



### **Figura 29**

*Toma de Lecturas CBR*



### **Procedimiento: resistencia a la penetración**

- ✓ Luego que pasaron los 4 días de inmersión del espécimen, se retira de la piscina y se quita el agua sobrante inclinando los cilindros y se espera que drene toda el agua acumulada en los moldes, para luego dejar 15 minutos al ambiente.
- ✓ Se pesa nuevamente (sin collarín) y se registra su peso saturado.

- ✓ Se colocan nuevamente las pesas sobre el espécimen para simular las sobrecargas del pavimento.
- ✓ Se coloca el molde con la muestra en la prensa hidráulica y se ajusta bien hasta que se asiente perfectamente antes de aplicarle la sobrecarga del pistón.
- ✓ Se ajusta el dial de carga y se encera el extensómetro digital que mide la deformación.
- ✓ Se inicia la penetración, y se toman las lecturas que estén entre: 4 a 0,05” y 3 a 0,1” y se anota en la hoja de apuntes.
- ✓ Luego tomadas las lecturas se suelta la carga aplicada y se retira el molde de la prensa hidráulica.
- ✓ Antes de terminar el ensayo, en un recipiente pequeño se escoge una pequeña muestra de la parte superior e inferior del molde, se anota su peso y se coloca al horno por 24 horas.
- ✓ Registramos el peso seco de las muestras extraídas (superior e inferior) y anotamos.

**Figura 30**

*Prensa Hidráulica, Rotura de Cilindros CBR-Toma de muestra de Ensayo CBR*



### **3.7.2. Diseño Marshall para estabilización del material granular.**

El Método Marshall consiste en la fabricación de briquetas cilíndricas de 101.6 mm (4") de diámetro y 63.5 mm (2.5") de altura, posteriormente se procede a medir los aspectos principales como la estabilidad y flujo en la prensa Marshall de las briquetas compactadas.

#### ***3.7.2.1. Ensayo de compactación por medio del martillo Marshall.***

Este ensayo abarca un procedimiento de compactación usando el martillo Marshall, para una cantidad de mezclas de material determinada, en este caso mezclas de asfalto diluido y material granular, para determinar después valores de estabilidad.

**Equipos y materiales:** (i) Balanza de precisión de 0.1 gr; (ii) Taras; (iii) Cuchara; (iv) Disco de papel filtro; (v) Tara para mezclar material y asfalto diluido; (vi) Cocineta; (vii) Espátula; (viii) Asfalto diluido; (ix) Material granular tamizado por malla  $\frac{3}{4}$ "; (x) Briquetas; (xi) Martillo mecánico Marshall.

#### **Preparación de la muestra.**

- ✓ Se deja en el horno el agregado por 24 horas, luego se pesan las cantidades de agregado una vez que esté al ambiente, en este caso 12 muestras, 3 por cada porcentaje de asfalto.

#### **Procedimiento del ensayo**

- ✓ Se procede a calentar el asfalto diluido a 60 °C, se pesa la cantidad de asfalto a usar por cada porcentaje y se mezcla con el agregado de cada muestra.
- ✓ Una vez que la mezcla tenga un color oscuro estará lista para su compactación y a continuación se pesa 300 gr para ensayo Rice.

- ✓ El restante se coloca en una tara y se vierte en el equipo.
- ✓ Se coloca el molde y el collar al plato base, el molde se apoyará sobre un cimiento rígido del pedestal de Marshall, poner un disco de papel filtro con las dimensiones del molde, luego colocar la muestra con asfalto diluido.
- ✓ Mezclar en el interior del molde, dándole 15 punzadas alrededor y 10 en el centro, con la espátula.
- ✓ Colocar y compactar las briquetas en el martillo Marshall con una caída libre de 475.2 mm, procurar dar de forma constante el número de golpes según el diseño. Para esta investigación el material a estabilizar se usará como mejoramiento, y serán sometidos a 75 golpes por cada cara.
- ✓ Después de la compactación, se retira el molde de la base del pedestal de Marshall.

**Figura 31**

*Ensayo de compactación por medio del martillo Marshall*



### **3.7.3. Ensayos de estabilidad y flujo.**

#### **3.7.3.1. Estabilidad seca.**

Una vez terminado el tiempo de curado, se calcula la estabilidad para cada grupo de briquetas, se ensayará un grupo de 3 briquetas por cada porcentaje de asfalto diluido en seco y después de siete días se ensayará las otras 3 briquetas sometidas a saturación a temperatura ambiente, para representar la presencia de humedad.

#### **3.7.3.2. Flujo.**

El movimiento de deformación es el valor de flujo, en unidades de 0.25 mm (1/100") que experimentan las briquetas ensayadas al momento de someterse cargas durante el ensayo de la estabilidad.

**Equipos y materiales:** (i) Prensa Marshall mecánica dotada de un anillo de carga de 27 KN (6000 lb) de capacidad; (ii) Mordaza metálica de rotura para ensayos con briquetas; (iii) Medidor de deformación de diámetro (Determinación del flujo) durante el ensayo de estabilidad; (iv) Briquetas de suelo-asfalto líquido de distinto porcentaje.

#### **Procedimiento de la prueba**

- ✓ Se encera y comprueba el funcionamiento del anillo de carga y medidor de deformación de flujo.
- ✓ Se limpia la superficie interior de la mordaza, lubrique las barras guías de tal forma que la mordaza superior se deslice libremente.
- ✓ Coloque la briqueta centrada en la mordaza inferior, luego coloque la mordaza superior y después ubique todo el conjunto ensamblado sobre la prensa.
- ✓ Se ubica sobre el medidor de flujo sobre el conjunto ensamblada de mordaza y se comprueba que su lectura inicial sea cero.

- ✓ Se verifica también que el medidor de carga instalado en la máquina de compresión también marque cero.
- ✓ Se aplica la carga sobre la briqueta a una velocidad constante de 50.8 mm (2") por minuto hasta que se produzca la falla o rotura, esto viene dado por la aplicación de la carga máxima y cuyo valor se lo registra como la estabilidad Marshall.
- ✓ Cabe recalcar que, durante la ejecución del ensayo de estabilidad, se debe mantener el medidor de deformación o de flujo en posición firme vertical a la barra guía. El valor de flujo o de deformación, expresado en centésimas de pulgadas, se tomará cuando la carga llegue a su máximo.

**Figura 32**

*Aplicación y medición de cargas: Estabilidad y Flujo*



### 3.8. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

**Tabla 34**

*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>Propiedades mecánicas del material geosintético (Geomalla Biaxial)</b>	Las geomallas biaxiales tienen como función primordial reforzar y estabilizar los pavimentos flexibles, ya que, su formación está mediante uniones que generan un mejor confinamiento, además, incrementa la capacidad de soporte. (Huamani, 2021)	Estructuras bidimensionales que interactúan con el suelo para complementar la resistencia a la tracción, generando así la resistencia efectiva del suelo de la geomalla para soportar la carga y distribuir uniformemente la carga. (Huamani, 2021)	Resistencia del geosintético	Resistencia última a la tensión	kN/m
			Rigidez	Radial	kN/m
				Flexural	mg-cm
			Torsional	cm-kg/deg	
			Eficiencia	Nodos	%
<b>Propiedades físico-mecánicas del material granular</b>	Los suelos en función de sus características físico-mecánicas pueden tener diferentes comportamientos debido a su naturaleza, bajo la acción del clima o influencia del agua en su estructura.	Parámetros de materiales granulares: Estabilidad volumétrica, resistencia, permeabilidad, compresibilidad y durabilidad. (Naranjo, 2011)	Clasificación	Análisis Granulométrico	%
			Comportamiento	Límites de Atterberg	%
			Resistencia	Proctor $\frac{\gamma_{\text{máx.}}}{W_{\text{opt}}}$	Kg/m <sup>3</sup>
				CBR	%
<b>Diseño Estructural de Pavimentos Flexibles</b>	Un pavimento flexible se compone de capas estructurales de materiales seleccionados, su estructura la constituye una carpeta de rodadura, base y subbase asentadas sobre una superficie terminada (subrasante). (Monsalve et al., 2012)	El diseño se basa en la aplicación de principios, se diseña para determinar espesores de subbase, base y carpeta de rodado, se debe seleccionar los materiales más adecuados que soporten las solicitaciones del tránsito. Su diseño se basa en la AASHTO-93. (Vasquéz, 2014)	Carpeta Asfáltica	Espesor D <sub>1</sub>	Plg o cm
			Base	Espesor D <sub>2</sub>	Plg o cm
			Subbase	Espesor D <sub>3</sub>	Plg o cm

# CAPÍTULO IV: DESARROLLO, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

## 4.1. RESULTADOS DE O.E.1: DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CONVENCIONAL POR EL MÉTODO AASHTO-93

En términos generales el dimensionamiento de una estructura de pavimento flexible debe seguir una metodología de diseño que garantice la protección de la subrasante a través de la provisión de capas de materiales seleccionados con la finalidad de alcanzar un nivel de servicio deseado, su funcionalidad y eficiencia desde el punto de vista estructural, de acuerdo con sus variables o parámetros. Para efectos del diseño de una estructura convencional se aplicará la metodología de diseño planteado por la AASHTO-93 y las especificaciones técnicas estipuladas en el Ministerio de Transportes y Obras Públicas (MTOB).

Los datos de entrada para la determinación del dimensionamiento de la estructura de pavimento flexible convencional se detallan en la **Tabla 35** a continuación:

**Tabla 35**

*Parámetros de Diseño de Pavimento Flexible Convencional*

PARÁMETROS DE DISEÑO	
<b>Confiabilidad</b>	85%
<b>Desviación Estándar Normal (Zr)</b>	-1.037
<b>Desviación Estándar (So)</b>	0.49
<b>Serviciabilidad Inicial (Po)</b>	4.2
<b>Serviciabilidad Final (Pt)</b>	2.5
<b>Pérdida de Servicios (ΔPSI)</b>	1.7
<b>Tránsito de Diseño (W<sub>18</sub>)</b>	2x10 <sup>6</sup>
<b>Módulo Resiliente (MR)</b>	4500 PSI



Una vez definidos los parámetros por el método del tanteo se busca el SN estructural requerido que satisfaga la **ecuación 2**; en función de las condiciones climáticas del sitio de estudio se procede a determinar los coeficientes de drenaje para las capas de base granular y subbase granular (**m<sub>i</sub>**).

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_o + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{1094} \right]}{0.4 + \frac{1}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(MR) - 8.07 \quad (2)$$

Para efectos del cálculo del SN requerido, nos ayudamos de un software que resuelve la ecuación AASHTO 93 de manera eficaz. Introducimos los datos de entrada y obtenemos el valor de **SN = 4.56**, como se muestra en la **figura 33**.

**Figura 33**

*Cálculo del Número Estructural Requerido (SNreq)*

*Nota. En la **figura 33** mediante el Software tenemos la resolución de la Ecuación AASHTO 93*

En base al resultado del SN requerido que se obtuvo del Software se procede a dimensionar las capas de las que estará compuesta la estructura, haciendo uso de la **ecuación 7**. Por recomendación del Método AASHTO 93 se establece el criterio de espesores mínimos para dimensionar la estructura como se detalla en la **tabla 29**.

$$SN = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot m_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot m_3 \cdot D_3 \quad (7)$$

**a) Condiciones de Drenaje.**

Considerando la ubicación geográfica de la Parroquia Manglaralto, con relación a las condiciones climáticas, podemos determinar el Porcentaje del tiempo en el que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximas a la saturación. La mencionada Parroquia presenta 87 días lluvioso al año, según fuentes del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

Haciendo uso de la **tabla 27** se selecciona la calidad del drenaje, caracterizándose como **REGULAR**.

**b) Coeficientes de Drenaje recomendados para Pavimentos Flexibles (mi).**

La mencionada Parroquia presenta 87 días lluviosos al año, según fuentes del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Por lo que corresponde un 23.84% respecto a niveles de humedad próximos a la saturación. Siendo la calidad de drenaje **REGULAR** y un 23.84%, tenemos que el nivel de humedad está entre el rango de 5% a 25%, valores que se muestran en la **tabla 27**, se procedió a realizar una interpolación para determinar el coeficiente de drenaje para las capas granulares ( $m_1, m_2$ ).

**Interpolación.**

5	1.00
23.84	<b>m1, m2</b>
25	0.80

$$m_1, m_2 = 1.00 + \frac{0.80 - 1.00}{25 - 5} (23.84 - 5) = 0.812$$

**c) Propiedades de las capas del pavimento flexible convencional**

El diseño de una estructura de pavimentos requiere de los siguientes parámetros con el fin de otorgarle al pavimento capacidad de resistir de las cargas impuestas por el tráfico de diseño propuesto, como se presenta en la **tabla 36**.

**Tabla 36**

*Propiedades de las capas de la estructura Pavimento Flexible Convencional*

CAPAS	CBR (%)	Coeficientes de capa		Módulo (Psi)	Módulo (Kg/cm <sup>2</sup> )
		a <sub>i</sub>	m <sub>i</sub>		
<b>Carpeta Asfáltica</b>	-----	0.425	1.00	400000	28122.783
<b>Base Granular</b>	80%	0.131	0.812	28000	1968.595
<b>Subbase Granular</b>	30%	0.107	0.812	15000	1054.604
<b>Mejoramiento de Subrasante</b>	20%	0.09	0.812	12500	878.837
<b>Subrasante</b>	3%	-----	-----	4500	316.381

*Nota. La **tabla 36** contiene los coeficientes estructurales, coeficientes de drenaje y módulos correspondientes a cada capa que integra la estructura del pavimento*

**d) Determinación de espesores de la estructura de pavimento en función del criterio de espesores mínimos**

Posteriormente se evalúan los datos de entrada en la ecuación AASHTO-93 para un tráfico de diseño de  $W_{18} = 2'000.000$  Esal's. Con el  $SN_{req} = 4.56$  calculado y considerando los espesores mínimos para la carpeta asfáltica  $D_1 = 3.5''$  y base granular  $D_2 = 6''$ , calculamos el espesor  $D_3$  para la subbase granular.

**Tabla 37***Diseño de Pavimento Flexible Convencional (Espesores Mínimos)*

<b>Diseño de pavimento flexible tradicional según criterio espesores mínimos</b>				
<b>CAPA</b>	<b>Número Estructural</b>		<b>Di</b>	
	<b>SN<sub>TOTAL</sub> = SN<sub>1</sub>+SN<sub>2</sub>+SN<sub>3</sub></b>		<b>in</b>	<b>cm</b>
<b>Carpeta Asfáltica</b>	SN <sub>1</sub> = a <sub>1</sub> *D <sub>1</sub>	1.49	3.5	9
<b>Base Granular</b>	SN <sub>2</sub> = a <sub>2</sub> *m <sub>2</sub> *D <sub>2</sub>	0.64	6	15
<b>Subbase Granular</b>	SN <sub>3</sub> = a <sub>3</sub> *m <sub>3</sub> *D <sub>3</sub>	2.44	28.1	70
	<b>SN<sub>TOTAL</sub></b>	<b>4.57</b>	<b>37.6</b>	<b>94</b>

*Nota. : El criterio de espesores mínimos recomienda 9 cm para carpeta asfáltica y 15 cm para base. El diseño cumple SN<sub>total</sub> > SN<sub>requerido</sub>, constructivamente 70 cm para capa de subbase no se recomienda colocar, se considera redimensionar a un espesor menor o igual a 40 cm o colocar un mejoramiento de subrasante.*

$$D_3 = \frac{SN_{req} - (SN_1 + SN_2)}{(a_3 * m_3)} = \frac{4.56 - ((3.5 * 0.425) + (6 * 0.131 * 0.812))}{(0.107 * 0.812)}$$

$$D_3 = 28.01'' \approx \text{Se opta por colocar } 28.1''$$

$$SN_{Total} > SN_{Req}$$

$$4.57 > 4.56 \quad \text{OK}$$

### 4.1.1. Resultados del redimensionamiento del pavimento flexible convencional.

Con respecto al diseño anterior propuesto mediante el criterio de espesores mínimos, el espesor de subbase es superior a lo recomendado (máx 40 cm), razón por la cual se procede a ajustar o redimensionar su espesor. Es necesario la inclusión de un espesor  $D_4$ , conocido como mejoramiento de subrasante el cual trabajará con los parámetros que se muestran en la tabla 36, de esta manera la estructura de pavimento convencional quedará dimensionada, como se presenta en la tabla 38.

**Tabla 38**

*Diseño de Pavimento Flexible Convencional (Optimización de espesores)*

<b>Rediseño de pavimento flexible convencional</b>				
<b>CAPA</b>	<b>Número Estructural</b>		<b>Di</b>	
	$SN_{TOTAL} = SN_1 + SN_2 + SN_3$		<b>in</b>	<b>cm</b>
<b>Carpeta Asfáltica</b>	$SN_1 = a_1 * D_1$	1.70	4	10
<b>Base Granular</b>	$SN_2 = a_2 * m_2 * D_2$	1.06	10	25
<b>Subbase Granular</b>	$SN_3 = a_3 * m_3 * D_3$	1.04	12	30
<b>Mejoramiento de Subrasante</b>	$SN_4 = a_4 * m_4 * D_4$	0.88	12	30
	<b><math>SN_{TOTAL}</math></b>	<b>4.68</b>	<b>38</b>	<b>95</b>

*Nota. El diseño de pavimento flexible convencional con los espesores mostrados en la tabla 38, cumple de tal manera que el  $SN_{total} > SN_{requerido}$ .*

$$D_4 = \frac{SN_{req} - (SN_1 + SN_2 + SN_3)}{(a_4 * m_4)}$$

$$D_4 = \frac{4.56 - ((4 * 0.425) + (10 * 0.131 * 0.812) + (12 * 0.107 * 0.812))}{(0.09 * 0.812)}$$

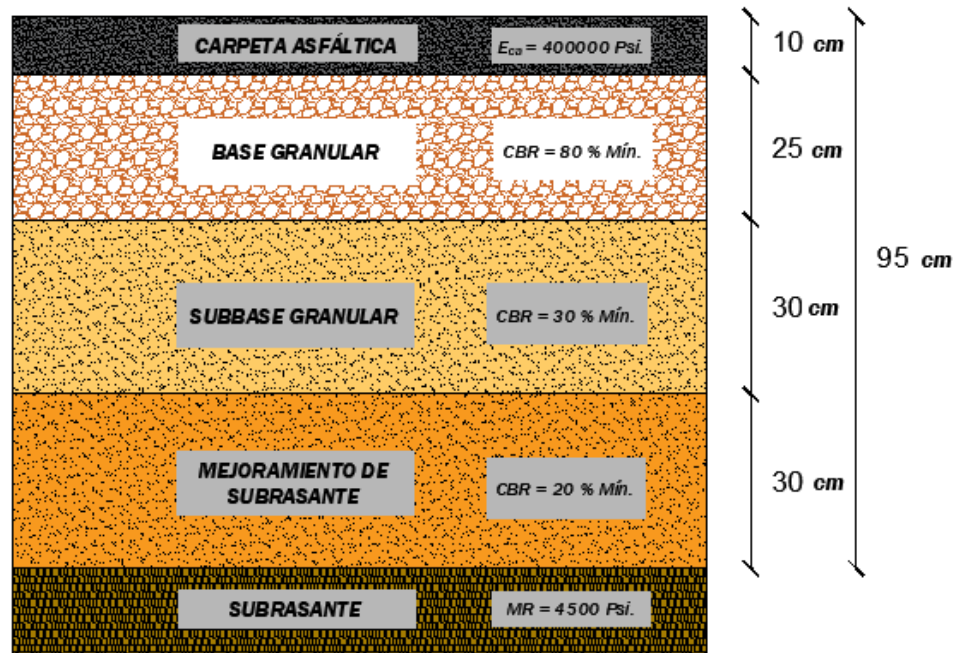
$$D_4 = 10.31" \approx \text{Se opta por } 12"$$

$$SN_{Total} > SN_{Req}$$

$$4.68 > 4.56 \quad \text{OK}$$

**Figura 34**

*Diseño de Estructura de Pavimento Flexible Convencional*



*Nota. Se presentan los espesores del pavimento flexible convencional.*

El espesor total del pavimento es de **95 cm** acorde a las condiciones y parámetros empleados en el dimensionamiento del pavimento flexible convencional.

## **4.2. RESULTADOS DE O.E.2: DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE INCORPORANDO GEOMALLA BIAxIAL**

### **4.2.1. Diseño de pavimento flexible incorporando Geomalla Biaxial – Método AASHTO.**

✓ Paso 1, se calcula el  $SN_{total}$  mediante la metodología AASHTO-93.

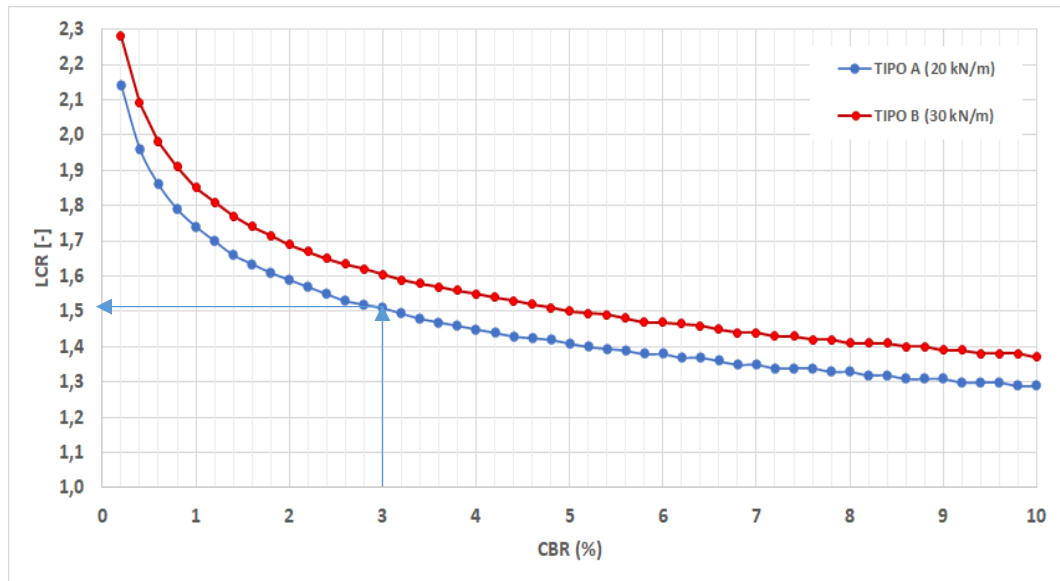
$$SN = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot m_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot m_3 \cdot D_3 + a_4 \cdot m_4 \cdot D_4$$

$$SN = (0.425 \cdot 4) + (0.131 \cdot 0.812 \cdot 10) + (0.107 \cdot 0.812 \cdot 12) + (0.09 \cdot 0.812 \cdot 12)$$

$$SN = 4.68$$

**Figura 35**

*Aporte de Geomallas mediante el LCR vs CBR*



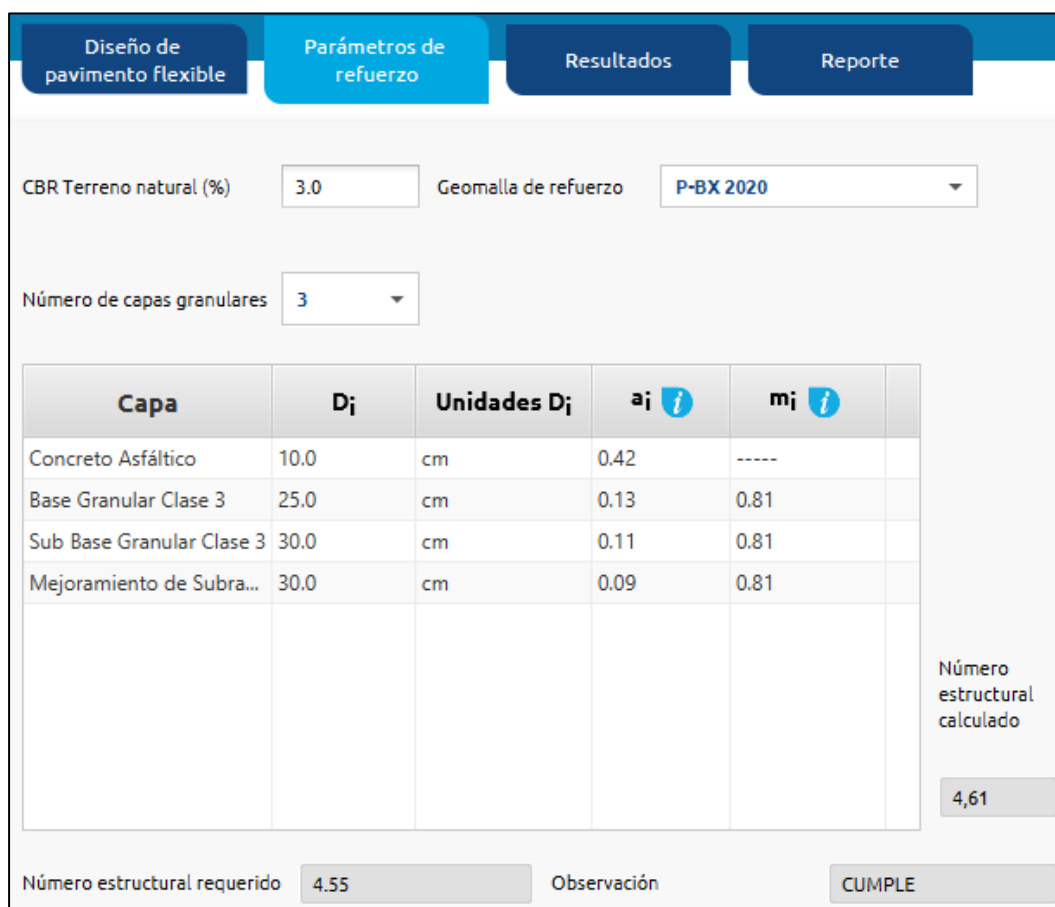
- ✓ Paso 2, se determina el aporte de la Geomalla Biaxial Tipo A P-BX 2020 de 20 kN/m para un CBR de 3%.

Según la **figura 35** del Manual de Diseño con Geosintéticos, se obtiene un LCR de 1.51.

- ✓ Paso 3, en función de la estructura del Pavimento Flexible Convencional se introducen los espesores en el software de diseño para calcular el SN requerido por la estructura con el refuerzo de la Geomalla Tipo A (20 kN/m).
- ✓ Se introducen los parámetros de refuerzo, el CBR del terreno natural, el Tipo de Geomalla a incluir en el diseño; y posteriormente el número de capas granulares que constituyen el pavimento flexible convencional que anteriormente fue diseñado.

**Figura 36**

*Interfaz del Software de Diseño - Refuerzo en Vías con Geomallas Biaxiales*



Design of flexible pavement parameters:

- CBR Terreno natural (%): 3.0
- Geomalla de refuerzo: P-BX 2020
- Número de capas granulares: 3

Capa	D <sub>i</sub>	Unidades D <sub>i</sub>	a <sub>i</sub>	m <sub>i</sub>
Concreto Asfáltico	10.0	cm	0.42	-----
Base Granular Clase 3	25.0	cm	0.13	0.81
Sub Base Granular Clase 3	30.0	cm	0.11	0.81
Mejoramiento de Subra...	30.0	cm	0.09	0.81

Número estructural calculado: 4,61

Número estructural requerido: 4.55

Observación: CUMPLE

*Nota. La **Figura 36** muestra los parámetros de entrada para el diseño del pavimento flexible reforzado con Geomalla Biaxial, Geosoft PAVCO V 4.0.*

- ✓ Con los datos suministrados en la aplicación, éste muestra un reporte en el que analizamos los resultados.
- ✓ El SN requerido por la estructura es igual a 4.27 según los parámetros que fueron calculados en el Software, mientras que el Número estructural reforzado es igual a 4,71 el cual se encuentra por encima del requerido por lo que se considera reducir el espesor de carpeta asfáltica y reajustarlo respecto al SN requerido.



**Figura 37***Parámetros calculados y resultados*

Número estructural SN	4.61
Layer Coefficient Ratio LCR	1.507
Número estructural requerido	4.267
Observación	CUMPLE
Espesor total estructura original [cm]	95 cm
Espesor total estructura reforzada [cm]	85 cm
Número estructural reforzado	4.705

Capa	Espesor inicial (cm)	Reducción (cm)	Espesor optimizado (cm)
Concreto Asfáltico	10	0	10
Base Granular Clase 3	25	0	25
Sub Base Granular Clase 3	30	10	20
Mejoramiento de Subrasante	30	0	30

- ✓ Al realizar el reajuste del espesor de la carpeta de rodadura se reduce el número estructural reforzado, obteniendo finalmente un SN de  $4.37 \geq 4.27$  como se indica en la **figura 38**.

**Figura 38***Parámetros calculados y resultados del reajuste de espesores*

Número estructural SN	4.275
Layer Coefficient Ratio LCR	1.507
Observación	CUMPLE
Espesor total estructura original [cm]	93 cm
Espesor total estructura reforzada [cm]	83 cm

Capa	Espesor inicial (cm)	Reducción (cm)	Espesor optimizado (cm)
Concreto Asfáltico	8	0	8
Base Granular	25	0	25
Sub Base Granular	30	10	20
Mejoramiento de Subrasante	30	0	30

- ✓ Considerando los parámetros de diseño del pavimento flexible tradicional y aplicando los respectivos criterios para el correcto desarrollo del dimensionamiento de las capas del pavimento reforzado con Geomalla Biaxial, tenemos la siguiente estructura que se detalla a continuación:

**Tabla 39**

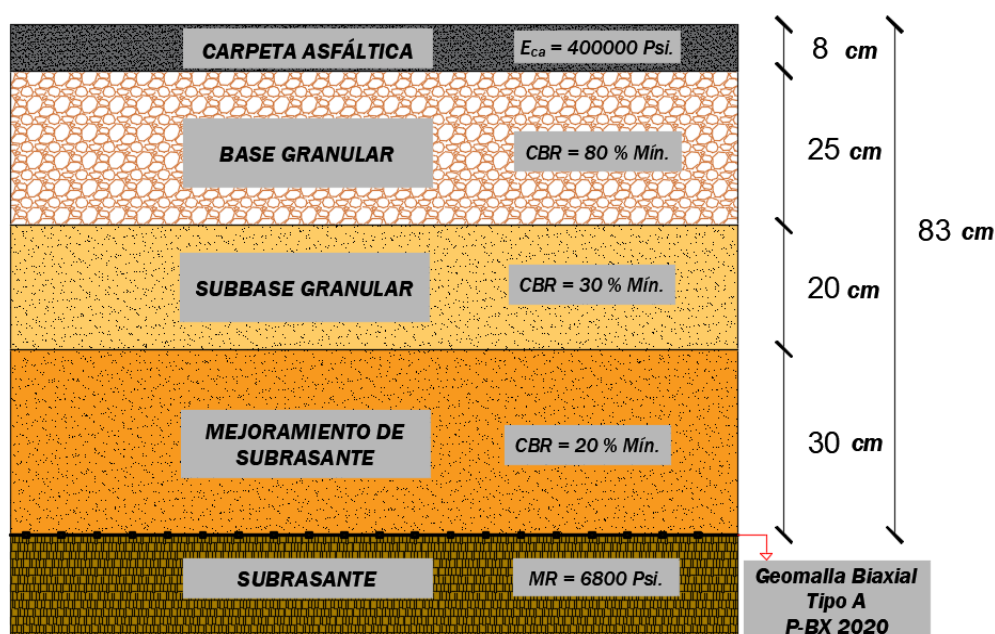
*Espesores del Pavimento Flexible Convencional y Pavimento con Geomalla Biaxial*

<b>Estructura de pavimento reforzado con Geomalla Biaxial</b>				
<b>CAPA</b>	<b>Espesores (cm)</b>		<b>Di</b>	
	<b>Inicial</b>	<b>Optimizado</b>	<b>in</b>	<b>cm</b>
<b>Carpeta Asfáltica</b>	10	8	3.2	8
<b>Base Granular</b>	25	25	10	25
<b>Subbase Granular</b>	30	20	8	20
<b>Mejoramiento de Subrasante</b>	30	30	12	30
	<b>95</b>	<b>83</b>	<b>33.2</b>	<b>83</b>

- ✓ El SN reforzado de la estructura es igual a **4.37**

**Figura 39**

*Estructura de Pavimento Flexible reforzado con Geomalla Biaxial*



Nota. La **figura 39** presenta el diseño de pavimento flexible reforzado con Geomalla Biaxial.



### **4.3. RESULTADOS DE O.E.3: DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON MATERIAL GRANULAR ESTABILIZADO CON ASFALTO MÉTODO AASHTO-93**

#### **4.3.1. Evaluación de Parámetros físico-mecánicos de materiales granulares.**

Por medio de las pruebas de laboratorio se determinó la clasificación y calificación de los materiales granulares de las canteras Sitio Nuevo y Juan Montalvo, obteniendo los resultados que se presentan en la **tabla 40**. Teniendo en consideración la normativa del MTOP se analizaron los parámetros requeridos según las especificaciones que se resumen en la **tabla 41** y consecuentemente se detalla en la **tabla 42**, la evaluación de los resultados para verificar si los materiales analizados cumplen con los requerimientos técnicos.

**Tabla 40**

*Resultados de propiedades mecánicas de materiales granulares de canteras*

CANTERA	MUESTRA	CLASIFICACIÓN DE SUELOS		w (%)	GRANULOMETRÍA (% QUE PASA)				Gs (%)	PROCTOR MODIFICADO	
		SIMBOLOGÍA	CLASIFICACIÓN		N°4	N°10	N°40	N°200		$\gamma_s$ (Kg/m3)	Wopt (%)
SITIO NUEVO	M-01		GP-GC A-2-4 (0)	4.38	49.48	45.62	38.47	11.36	2.61	1630	18.0
JUAN MONTALVO	M-01		GP-GM A-2-4 (0)	2.08	27.04	20.22	13.61	9.34	2.67	2165	5.83

**Tabla 41**

*Especificaciones técnicas según normativa del MTOP*

PARÁMETRO	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA MTOP		
	BASE GRANULAR	SUB-BASE GRANULAR	MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE
LÍMITE LÍQUIDO	< 25 %	< 25 %	< 35 %
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	< 6 %	< 6 %	< 9 %
COEFICIENTE DE DESGASTE	< 40 %	< 50 %	---
CBR	≥ 80 %	≥ 30 %	≥ 20 %

**Tabla 42***Evaluación de parámetros técnicos según normativa del MTOP*

CANTERA	PARÁMETROS EVALUADOS		ESPECIFICACIÓN MTOP		
			BASE	SUB-BASE	MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE
SITIO NUEVO	L.L (%)	38	X	X	X
	I.P (%)	6	X	X	✓
	% DESGASTE	90.07	X	X	X
	CBR (%)	22	X	X	✓
JUAN MONTALVO	L.L (%)	21	✓	✓	✓
	I.P (%)	4	✓	✓	✓
	% DESGASTE	37.13	✓	✓	✓
	CBR (%)	77.5	X	✓	✓

El material de Cantera Sitio Nuevo no presenta resultados favorables para su uso como material de base o subbase, por lo que se descarta su aplicación como material para los fines requeridos de esta investigación.

El granular procedente de la Cantera Juan Montalvo ofrece mejores parámetros físico-mecánicos que fueron analizados según lo establecido en la normativa de especificaciones del MTOP, que garantizan su uso como material apto para una estabilización que permiten considerarlo para la presente investigación.

### 4.3.2. Evaluación de Gráficas de Estabilización de material granular con Asfalto Diluido – Método Marshall.

Con los resultados obtenidos por medio del ensayo Marshall se realiza las gráficas correspondientes a los parámetros: Densidad Específica Bulk, Estabilidad y Flujo relacionados con el porcentaje de Asfalto Diluido.

En las ilustraciones se observará la unión de los puntos por medio de una curva que se ajusta a cada resultado obtenido en la realización de ensayos.

#### Propiedad Volumétrica

#### DENSIDAD BULK

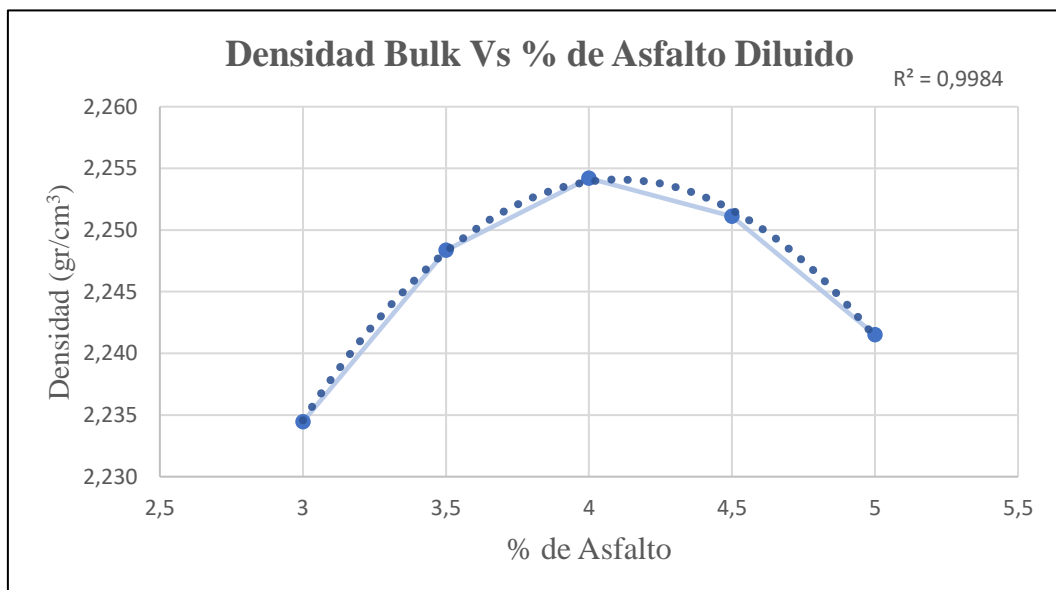
Tabla 43

*Densidad Específica Bulk*

% de Asfalto Diluido	Densidad Específica BULK
3	2,234
3,5	2,248
4	2,254
4,5	2,251
5	2,242

Figura 40

*Gráfica Densidad Bulk Vs Contenido de Asfalto Diluido*



## Propiedades de Mezcla Compactada

### ESTABILIDAD SECA

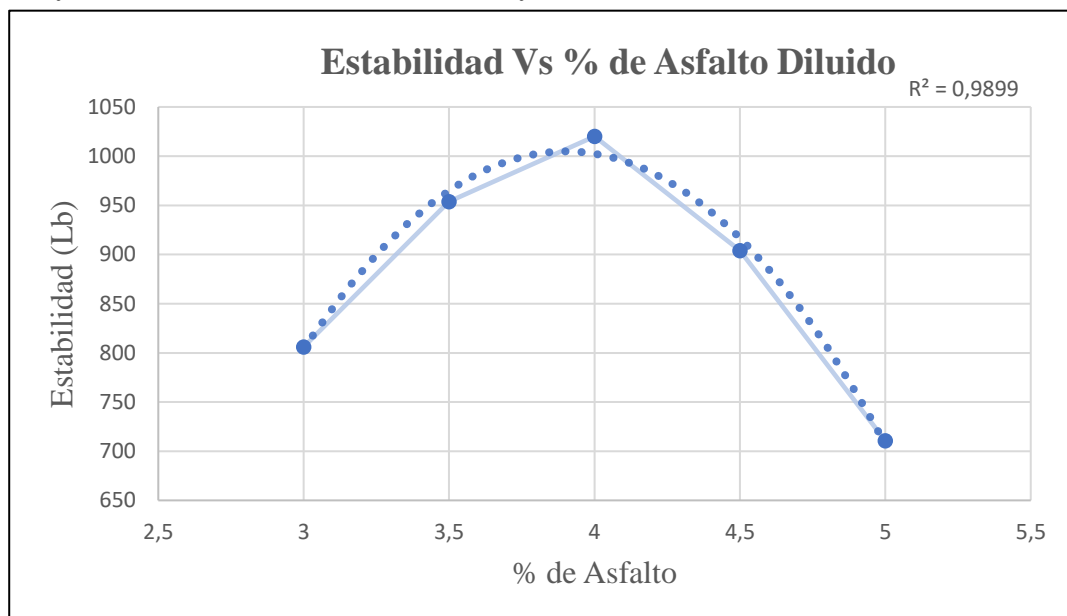
**Tabla 44**

*Estabilidad Seca (Estabilización Granular con asfalto Diluido)*

% de Asfalto Diluido	Estabilidad (Lib. Min)
3	806
3,5	954
4	1020
4,5	904
5	711

**Figura 41**

*Gráfica Estabilidad Vs Contenido de Asfalto Diluido*



## FLUJO

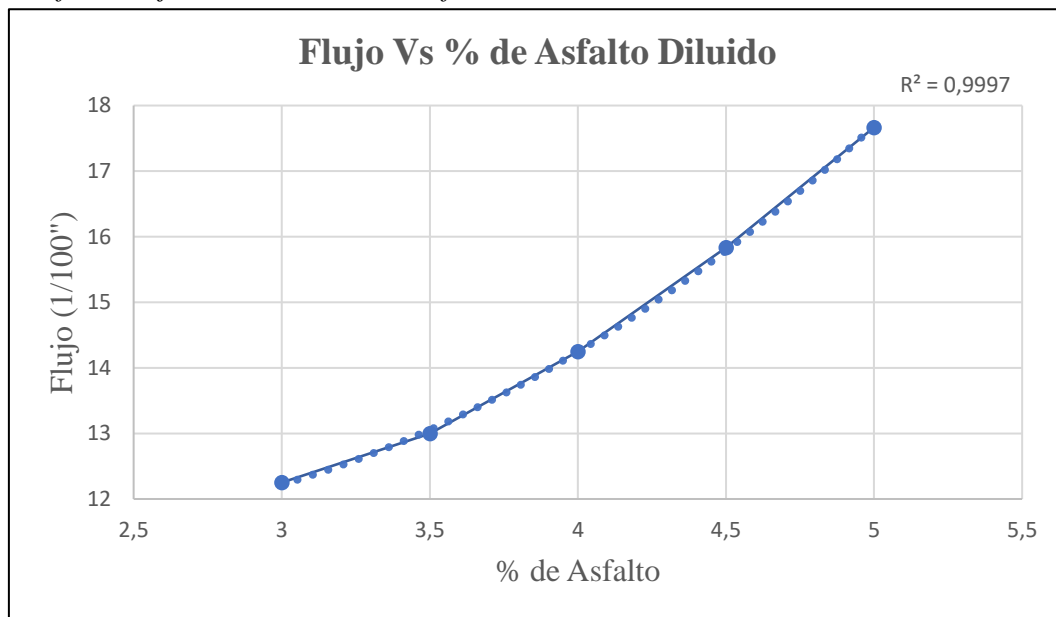
**Tabla 45**

*Flujo (Material Granular estabilizado con asfalto diluido)*

<b>% de Asfalto Diluido</b>	<b>Flujo (1/100")</b>
3	12
3,5	13
4	14
4,5	16
5	18

**Figura 42**

*Gráfica Flujo Vs Contenido de Asfalto Diluido*





**Tabla 46**

*Propiedades de la Estabilización del Material Granular con Asfalto Diluido - Método Marshall*

N° Briquetas	% Asfalto Diluido	Peso (gr)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Gravedad Específica de la mezcla BULK (Gmb)	Rice Gmm	Va	Estabilidad		Flujo
							Medida (Kg)	Medida (Lb)	
1	3 %	875,2	395	2,216			368,3	810	12
2		882,7	392	2,253			364,5	802	12,5
<b>Promedio</b>				<b>2,234</b>	<b>2,400</b>	<b>6,90</b>	<b>366</b>	<b>806</b>	<b>12</b>
1	3,5 %	884,9	394	2,246			432	950	13,5
2		888,6	395	2,251			177,5	391	12
3		887,6	394	2,227			435,2	957	13,5
<b>Promedio</b>				<b>2,248</b>	<b>2,381</b>	<b>5,57</b>	<b>434</b>	<b>954</b>	<b>13</b>
1	4 %	885,8	394	2,249			465,8	1025	14,5
2		883,7	391	2,259			461,5	1015	14
<b>Promedio</b>				<b>2,254</b>	<b>2,354</b>	<b>4,24</b>	<b>464</b>	<b>1020</b>	<b>14</b>
1	4,5 %	858,2	384	2,238			409,3	900	15
2		865,3	384	2,251			410,6	903	16
3		865,5	382	2,265			412,8	908	17
<b>Promedio</b>				<b>2,251</b>	<b>2,273</b>	<b>0,95</b>	<b>411</b>	<b>904</b>	<b>16</b>
1	5 %	865,9	394	2,197			320	704	17
2		888,3	391	2,272			315,5	694	17
3		862,2	382	2,255			326	717	18
<b>Promedio</b>				<b>2,242</b>	<b>2,174</b>	<b>-3,11</b>	<b>323</b>	<b>711</b>	<b>18</b>

### 4.3.3. Diseño de Pavimento implementando Material Granular estabilizado con asfalto.

Con base en los ensayos experimentales realizados con el material granular y el asfalto diluido se obtuvo el dato de Estabilidad Marshall como parámetro necesario de diseño, alcanzando una Estabilidad de 1020 Lb. Min, como se muestra en la **Tabla 44**, la misma que se emplea en el diseño de la estructura.

Para el cálculo del número estructural requerido del Pavimento se consideran los datos que se muestran en la **tabla 35** mismos que se usan en el diseño de Pavimento Flexible Convencional.

A continuación, se detalla en la **Tabla 47** los parámetros de diseño de las capas del pavimento para su diseño, la estructura se dimensionará de acuerdo con las variables que se usaron en el diseño del pavimento flexible convencional, la diferencia radica en la implementación de una base estabilizada con asfalto.

**Tabla 47**

*Propiedades de capas del Pavimento con Granular estabilizado con asfalto*

CAPAS	CBR (%)	Coeficientes de capa		Módulo (Psi)	Módulo (Kg/cm <sup>2</sup> )
		a <sub>i</sub>	m <sub>i</sub>		
<b>Carpeta Asfáltica</b>	-----	0.425	1.00	400000	28122.783
<b>Base Estabilizada con asfalto</b>	-----	0.235	1.00	215000	15115.996
<b>Subbase Granular</b>	30%	0.107	0.812	15000	1054.604
<b>Subrasante</b>	3%	-----	-----	4500	316.381

*Nota. El parámetro estructural para la base estabilizada con asfalto está dado por la Estabilidad Marshall, EM=1020 Lb.*

a) **Determinación de espesores del pavimento con material granular estabilizada con asfalto.**

- ✓ El número estructural SNreq se mantendrá en **4.56**.
- ✓ El coeficiente de drenaje para la base estabilizada con asfalto, mejora a **1.00** asumiendo que es impermeable debido a que mejoramos sus propiedades mecánicas por medio de la estabilización.
- ✓ El parámetro de la Estabilidad Marshall para la base estabilizada con asfalto utilizado para el diseño es de 1020 Lb, empleando la **figura 15** obtenemos el valor del coeficiente estructural y respectivo módulo los cuales se describen en la **Tabla 47**.
- ✓ Insertamos los datos en el software de diseño AASHTO-93 para obtener los espesores que propone para cada capa del pavimento. Los espesores sugeridos por el programa son los siguientes:

**Figura 43**

*Determinación de espesores de Pavimento Semirrígido*

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993) por Luis R. Vásquez

**Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)**  
 Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2006.

Tipo de pavimento:  Flexible  Rígido

Confiabilidad (R) y desviación estándar (So): 85 % Zr = -1.037, So = 0.49

Serviciabilidades inicial y final: PSI inicial = 4.2, PSI final = 2.5

Tránsito de diseño: W18 = 2000000

Capa	Módulo de elasticidad (psi)	Coeficiente de capa (ai)	Coeficiente de drenaje (mi)	SN necesario	Esesor D (plg.)	Esesor D* (plg.)	SN* dispuesto
1	400000	¿E/a?	0.425	1.00	¿m?	0.95	2.24
2	215000	¿E/a?	0.235	1.00	¿m?	2.91	6.96
3	15000	¿E/a?	0.107	0.812	¿m?	4.56	18.88
4	4500	MR					19.0

W18 real: 4.57 OK, 2.05E+006

Cálculo de W18 para un SN: SN = 4.56, W18 = 2.02E+006

Nota. La **figura 43**, se describe los espesores de capas propuestos por el programa Método AASHTO para el diseño de pavimento (1993).

**Carpeta asfáltica: 3" = 7.5 cm**

**Base estabilizada con asfalto: 7" = 17.5 cm**

**Subbase granular: 19" = 47.5 cm**

El número estructural que resulta con estos espesores propuestos es igual a  $SN_{Total} = 4,57$  mayor al requerido  $SN_{Req} = 4.56$ , que se ajusta para soportar un Tráfico de diseño  $W_{18} = 2.05 \times 10^6$  Esal's. mayor al Tráfico de diseño propuesto de  $W_{18} = 2.0 \times 10^6$  Esal's.

El espesor total del pavimento diseñado es igual a **72.5 cm.**

**b) Análisis por protección de capas.**

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

$$D_1 = \frac{0.95}{0.425}$$

$$D_1 = 2.24 \text{ pulg} \approx 3 \text{ pulg}$$

Se corrige el número estructural con el valor del espesor de la carpeta asfáltica adoptado.

$$SN_1^* = a_1 * D_1^*$$

$$SN_1^* = 0.425 * 3$$

$$SN_1^* = 1.28$$

$$SN_1^* \geq SN_1$$

$$1.28 \geq 0.95 \text{ OK}$$

Determinación del espesor de capa para la Base estabilizada con asfalto

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

$$D_2 = \frac{2.91 - 1.28}{0.235 * 1.00}$$

$$D_2 = \frac{1.85}{0.235}$$

$$D_2 = 6.93 \text{ pulg} \approx 7 \text{ pulg}$$

Se adopta un espesor de 10" con la finalidad de reducir el espesor de capa de subbase.

Se corrige el número estructural con el valor del espesor de la base estabilizada adoptado.

$$SN_2^* = a_2 * D_2^*$$

$$SN_2^* = 0.235 * 10$$

$$SN_2^* = 2.35$$

$$SN_1^* + SN_2^* \geq SN_2$$

$$1.28 + 2.35 \geq 2.91$$

$$3.63 \geq 2.91$$

Luego se determina el espesor de capa para la Sub-base granular:

$$D_3 = \frac{SN - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3 m_3}$$

$$D_3 = \frac{4.56 - (1.28 + 2.35)}{0.107 * 0.812}$$

$$D_3 = 10.70 \text{ pulg} \approx 11 \text{ pulg}$$

**Se adopta un espesor de 12"**

Siendo  $SN_3^*$  absorbido por la subbase:

$$SN_3^* = a_3 * D_3^* * m_3$$

$$SN_3^* = 0.107 * 12 * 0.812$$

$$SN_3^* = 1.04$$

Se verifica la suma de los valores parciales de los SN corregidos de cada capa, en la que debe cumplirse que:

$$SN_{(por\ capas)} \geq SN$$

$$SN_1^* + SN_2^* + SN_3^* \geq SN$$

$$1.28 + 2.35 + 1.04 \geq 4.56$$

$$4.67 \geq 4.56 \text{ OK}$$

**Tabla 48**

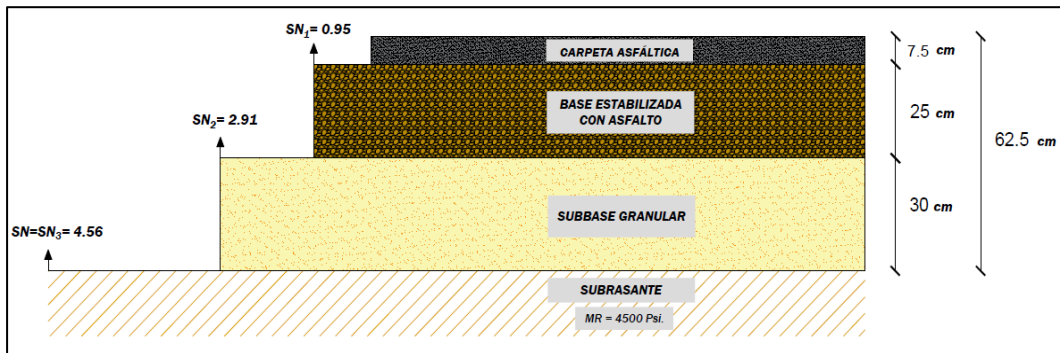
*Diseño de Pavimento con Material Granular Estabilizado con Asfalto*

<b>Diseño de Pavimento con Material Granular Estabilizado con Asfalto</b>				
<b>CAPA</b>	<b>Número Estructural</b>		<b>Di</b>	
	$SN_{TOTAL} = SN_1 + SN_2 + SN_3$		<b>in</b>	<b>cm</b>
<b>Carpeta Asfáltica</b>	$SN_1 = a_1 * D_1$	1.28	3	7.5
<b>Base Estabilizada con Asfalto</b>	$SN_2 = a_2 * m_2 * D_2$	2.35	10	25
<b>Subbase Granular</b>	$SN_3 = a_3 * m_3 * D_3$	1.04	12	30
$SN_{TOTAL}$		<b>4.67</b>	<b>25</b>	<b>62.5</b>

*Nota. El diseño de pavimento con los espesores mostrados en la tabla 48, cumple de tal manera que el  $SN_{total} > SN_{requerido}$ .*

**Figura 44**

*Estructura de Pavimento implementando Material Granular Estabilizado con*



*Nota. Se presentan los espesores del pavimento con material granular estabilizado con asfalto, mediante el método de protección de capas.*

#### **4.4. ANÁLISIS DE DEFLEXIONES ADMISIBLES Y DE LAS ESTRUCTURAS DISEÑADAS**

Cuando la carga de un neumático es aplicada en la parte superficial de una estructura de pavimento, ésta se flexiona verticalmente originando esfuerzos y deformaciones en cada una de las capas de este. La magnitud de esta deflexión es proporcional a la rigidez total del pavimento (espesor y módulos elásticos), la rigidez del suelo de desplante o apoyo. Cuanto mayor sea esta deflexión más susceptible es el pavimento de presentar fallas de tipo estructural.

Para el análisis de la deformación nos basamos en la Teoría de Foster y Alvin (1954), bajo un enfoque mecanicista.

##### **4.4.1. Deflexión vertical del pavimento flexible convencional.**

La estructura de pavimento convencional está constituida de 4” de carpeta asfáltica, 10” de base granular, 12” de subbase granular y 12” de mejoramiento de subrasante como se determinó en el Objetivo Específico 1.

Con los espesores calculados en el diseño de pavimento convencional se determina la deflexión vertical en el centro de la carga a nivel de subrasante y en función de los parámetros del eje de diseño que se muestran a continuación:

**Tabla 49**

*Datos para evaluación de deflexión vertical en pavimento convencional*

<b>Parámetros para análisis de deflexión vertical</b>		
CBR	3%	
P	8.2 ton	18000 lb
q	70 psi	
Z	95 cm	

$$a = \sqrt{\frac{P}{q * \pi}} \quad (13)$$

Siendo:

a = Radio del neumático.

P = Carga aplicada.

q = Presión de inflado o de contacto

- ✓ Cálculo del radio de contacto del neumático “a”

$$a = \sqrt{\frac{P}{q * \pi}} = \sqrt{\frac{9000 \text{ lb}}{(70 \text{ psi}) * \pi}} = 6.4 \text{ in} = 16.00 \text{ cm}$$

- ✓ Cálculo de z/a

$$z/a = 95 \text{ cm} / 16 \text{ cm} = 5.94$$

- ✓ Cálculo de r/a

$$r/a = 0 \text{ cm} / 16 \text{ cm} = 0.0$$

- ✓ Cálculo del módulo resiliente o módulo de subrasante (E).

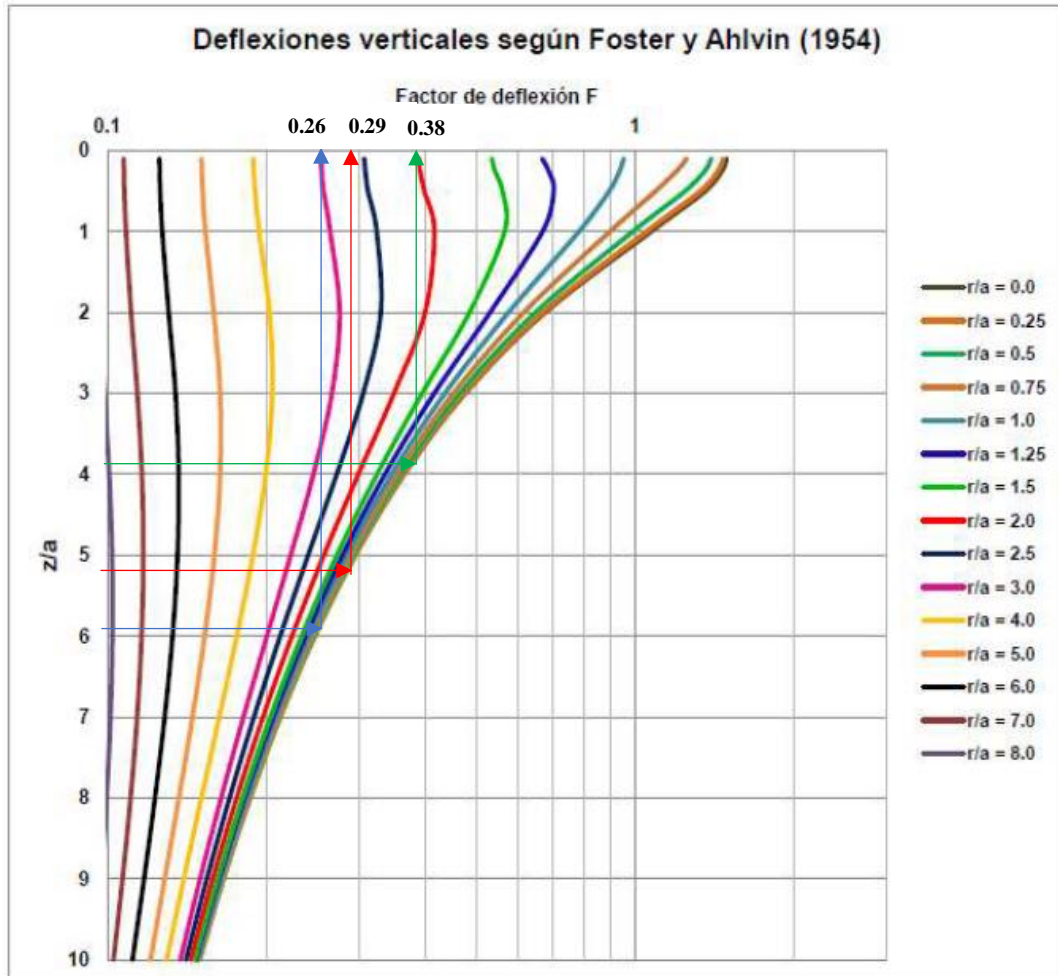
$$MR = 1500(CBR) = 1500(3) = 4500 \text{ psi}$$



Con los datos establecidos  $z/a$  y  $r/a$  se determina el Factor de deflexión a través del Ábaco propuesto en la teoría de Foster y Alvin en la **figura 45**.

**Figura 45**

*Factores de Deflexión según Foster y Alvin (1954)*



*Nota. Tomado de Teorías para calcular esfuerzos, deformaciones y deflexiones en pavimentos flexibles.*

Obteniendo un Factor de deflexión ( $F$ ) igual a 0.26, con el que posteriormente se calcula la deflexión vertical, con la ecuación que se presenta a continuación:

$$w = \frac{1.5 * q * a}{E} (F) \quad (14)$$

Siendo:

$q$  = Presión de inflado o de contacto (psi o Kg/cm<sup>2</sup>).

$a$  = Radio de contacto del neumático. (in o cm).

$E$  = Módulo de la subrasante (psi o Kg/cm<sup>2</sup>).

$F$  = Factor de deflexión vertical (adimensional).

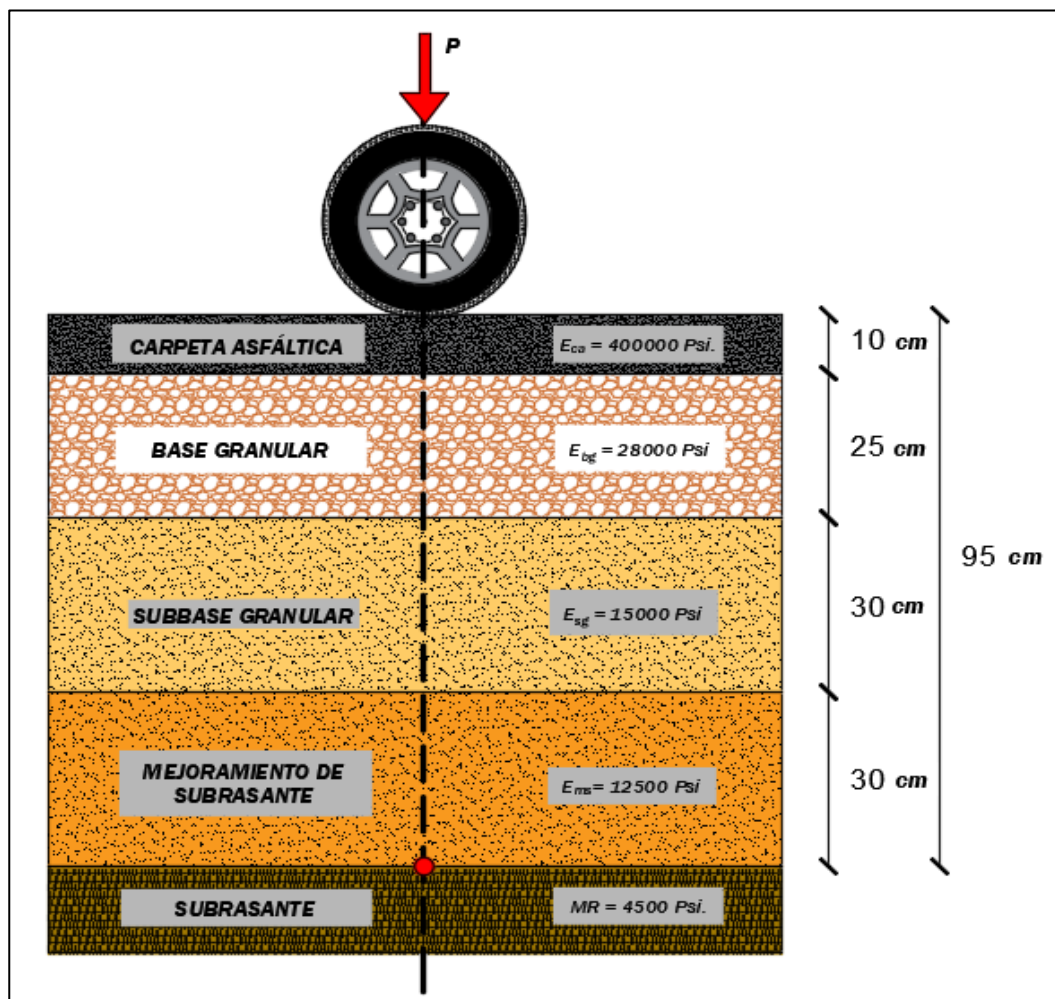
✓ Deflexión vertical de la estructura a nivel de subrasante.

$$w = \frac{1.5 * q * a}{E} (F) = \frac{1.5(70 \text{ psi})(6.4 \text{ in})}{4500 \text{ psi}} (0.26)$$

$$w = 0.0388 \text{ in} = 0.097 \text{ cm} = 0.97 \text{ mm}$$

**Figura 46**

*Deflexión vertical en Pavimento Flexible Convencional*



#### 4.4.2. Deflexión vertical del pavimento flexible reforzado con Geomalla Biaxial.

La estructura de pavimento reforzada con Geomalla Biaxial se conforma de 3.2” de carpeta asfáltica, 10” de base granular, 8” de subbase granular y 12” de mejoramiento de subrasante como se determinó en el Objetivo Específico 2.

A continuación, se detallan los parámetros con los que se determinará la deflexión vertical en el centro de la carga aplicada a nivel de subrasante.

**Tabla 50**

*Datos para evaluación de deflexión vertical en pavimento reforzado con Geomalla Biaxial*

Parámetros para análisis de deflexión vertical		
CBR	4.53%	
P	8.2 ton	18000 lb
q	70 psi	
z	83 cm	

- ✓ Cálculo del radio de contacto del neumático “a”

$$a = \sqrt{\frac{P}{q * \pi}} = \sqrt{\frac{9000 \text{ lb}}{(70 \text{ psi}) * \pi}} = 6.4 \text{ in} = 16.00 \text{ cm}$$

- ✓ Cálculo de z/a

$$z/a = 83 \text{ cm} / 16 \text{ cm} = 5.19$$

- ✓ Cálculo de r/a

$$r/a = 0 \text{ cm} / 16 \text{ cm} = 0.0$$

- ✓ Cálculo del módulo resiliente o módulo de subrasante (E).

$$MR = 1500(CBR) = 1500(4.53) = 6800 \text{ psi}$$

Con los datos establecidos  $z/a$  y  $r/a$  se determina el Factor de deflexión a través del Ábaco propuesto en la teoría de Foster y Alvin en la **figura 45**.

Obteniendo un Factor de deflexión (F) igual a 0.29, con el que posteriormente se calcula la deflexión vertical, con la ecuación que se presenta a continuación:

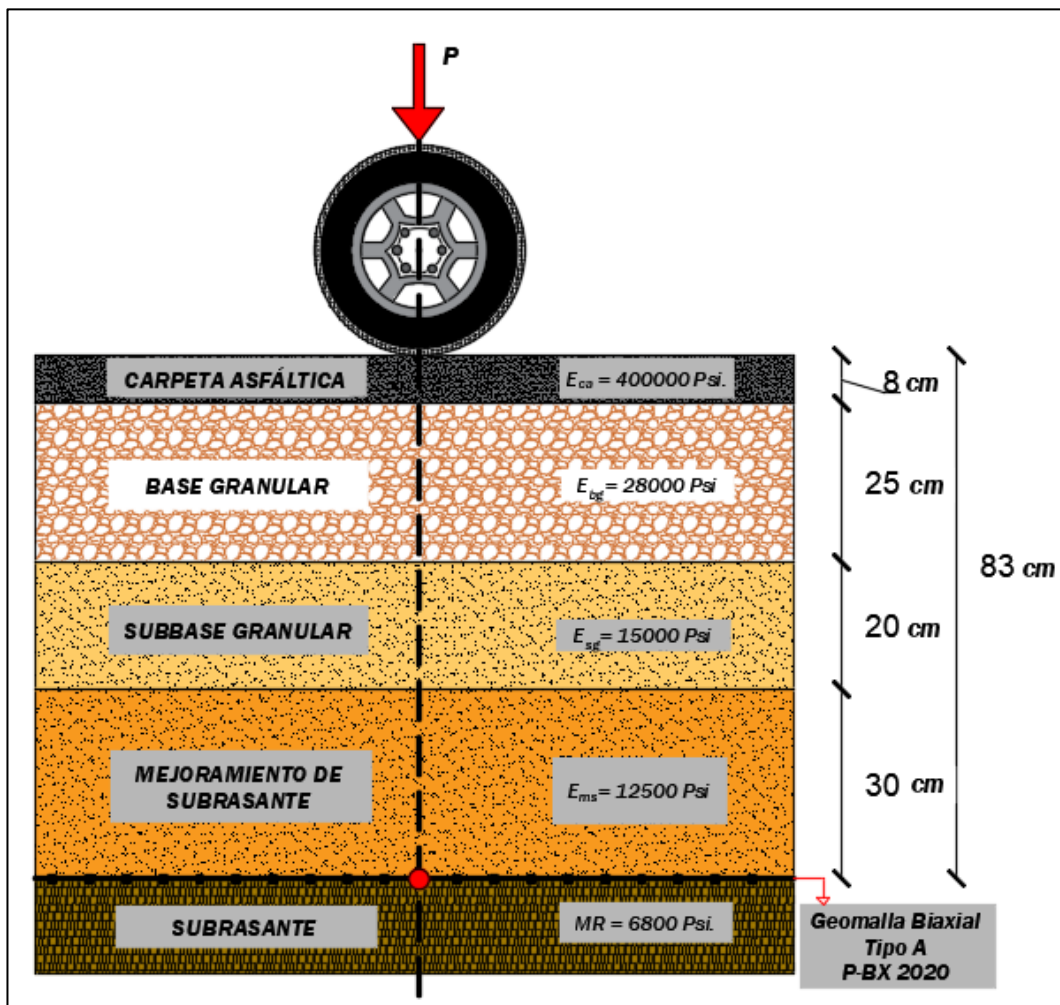
✓ Deflexión vertical de la estructura a nivel de subrasante.

$$w = \frac{1.5 * q * a}{E} (F) = \frac{1.5(70 \text{ psi})(6.4 \text{ in})}{6800 \text{ psi}} (0.29)$$

$$w = 0.0287 \text{ in} = 0.072 \text{ cm} = 0.72 \text{ mm}$$

**Figura 47**

*Deflexión vertical en Pavimento reforzado con Geomalla Biaxial*



#### 4.4.3. Deflexión vertical del pavimento flexible incorporando material granular estabilizado con asfalto.

La estructura de pavimento reforzada con Geomalla Biaxial se conforma de 3” de carpeta asfáltica, 10” de base estabilizada con asfalto y 12” de subbase granular como se estableció en el Objetivo Específico 3.

A continuación, se detallan los parámetros con los que se determinará la deflexión vertical en el centro de la carga aplicada a nivel de subrasante.

**Tabla 51**

*Datos para evaluación de deflexión vertical en pavimento incorporando material granular estabilizado con asfalto*

<b>Parámetros para análisis de deflexión vertical</b>		
CBR	3%	
P	8.2 ton	18000 lb
q	70 psi	
z	62.5 cm	

- ✓ Cálculo del radio de contacto del neumático “a”

$$a = \sqrt{\frac{P}{q * \pi}} = \sqrt{\frac{9000 \text{ lb}}{(70 \text{ psi}) * \pi}} = 6.4 \text{ in} = 16.00 \text{ cm}$$

- ✓ Cálculo de z/a

$$z/a = 62.5 \text{ cm} / 16 \text{ cm} = 3.91$$

- ✓ Cálculo de r/a

$$r/a = 0 \text{ cm} / 16 \text{ cm} = 0.0$$

- ✓ Cálculo del módulo resiliente o módulo de subrasante (E).

$$MR = 1500(CBR) = 1500(3) = 4500 \text{ psi}$$

Con los datos establecidos  $z/a$  y  $r/a$  se determina el Factor de deflexión a través del Ábaco propuesto en la teoría de Foster y Alvin en la **figura 45**.

Obteniendo un Factor de deflexión (F) igual a 0.38, con el que posteriormente se calcula la deflexión vertical, con la ecuación que se presenta a continuación:

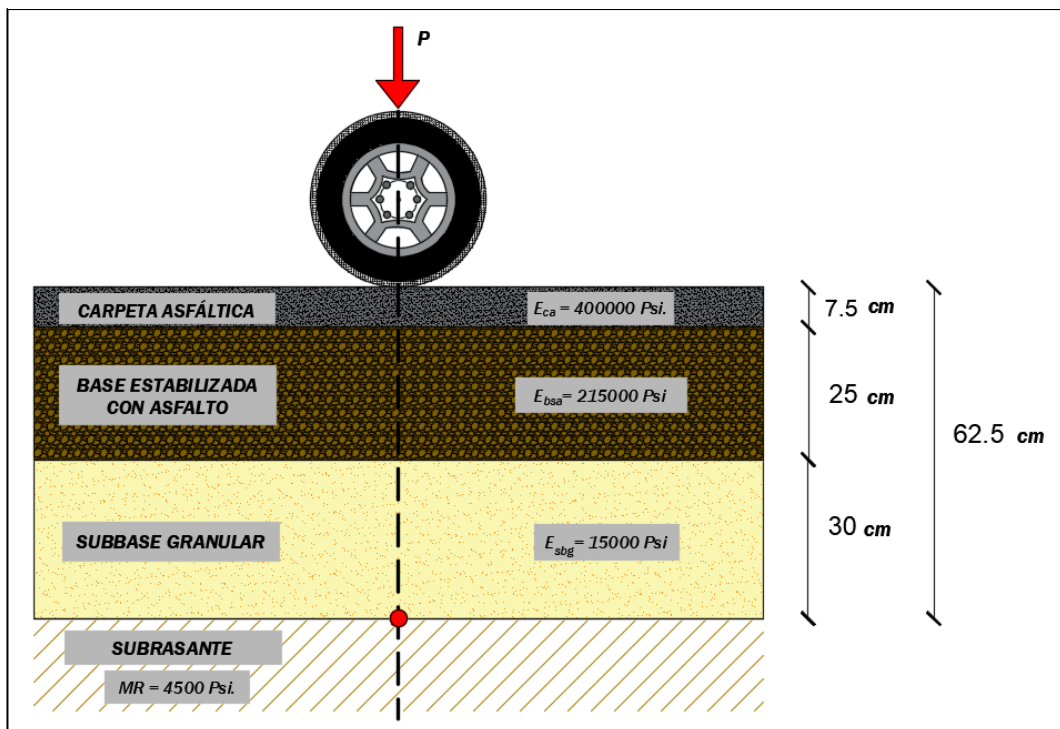
- ✓ Deflexión vertical de la estructura a nivel de subrasante.

$$w = \frac{1.5 * q * a}{E} (F) = \frac{1.5(70 \text{ psi})(6.4 \text{ in})}{4500 \text{ psi}} (0.38)$$

$$w = 0.0567 \text{ in} = 0.142 \text{ cm} = 1.42 \text{ mm}$$

**Figura 48**

*Deflexión vertical en Pavimento con Material Granular estabilizado con asfalto*



#### 4.4.4. Deflexión admisible del pavimento.

La deformación esperada en el pavimento  $D_0$  debe estar por debajo de una deflexión admisible  $D_{adm}$  asociada al ESAL dentro del período de diseño. La deflexión admisible la podemos determinar mediante el uso de la siguiente ecuación, de acuerdo lo establecido por el Instituto del Asfalto, está será:

$$D_{adm} = 25.64 N^{-0.2383} \quad (15)$$

Donde:

$D_{adm}$  = Deflexión admisible (mm)

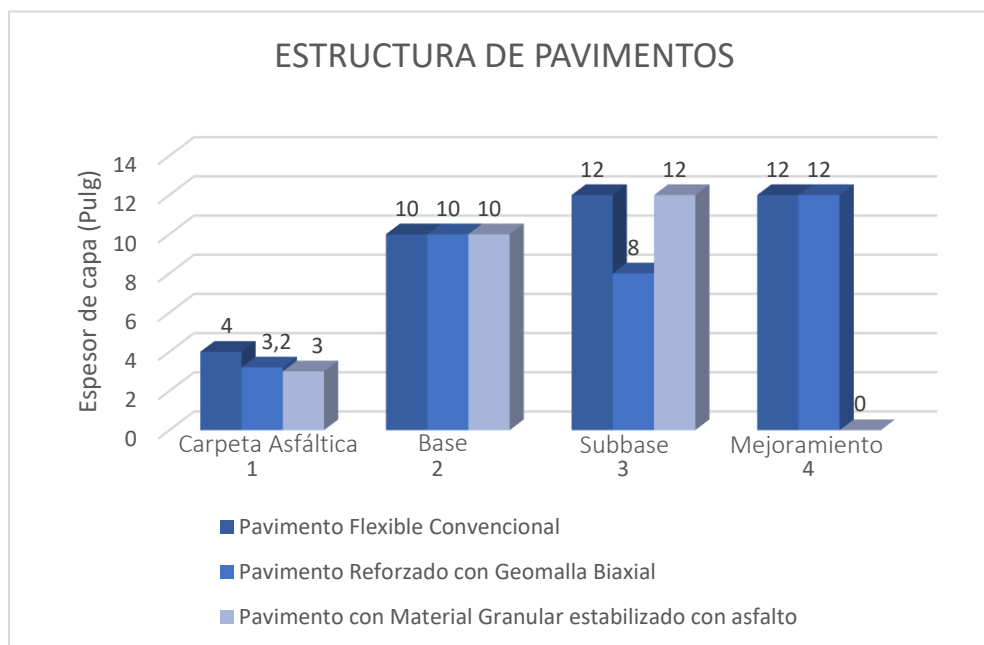
N = Número de repeticiones del eje estándar equivalente (millones)

$$D_{adm} = 25.64 N^{-0.2383} = 25.64(2000000)^{-0.2383} = 0.81 \text{ mm}$$

## 4.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

**Figura 49**

*Estructura de Pavimentos*



**Tabla 52**

*Cuadro de resumen de espesores totales, SN requerido, SN total y deflexiones de los diseños de pavimentos.*

Análisis Estructural de Diseños de Pavimentos					
Diseño	Espesor Total (cm)	SN requerido	SN Total	Deflexión Admisible (mm)	Deflexión Estructura (mm)
Pavimento Flexible Convencional	95	4.56	4.68	0.81	0.97
Pavimento reforzado con Geomalla Biaxial	83	4.27	4.37	0.81	0.72
Pavimento con Base Estabilizada con Asfalto	62.5	4.56	4.67	0.81	1.42



Como se observa en el gráfico de la **figura 49**, los espesores que resultaron de los diseños indican que, para el pavimento flexible convencional, se obtuvo una carpeta asfáltica de 4 pulg o lo que es igual a 10 cm, mientras que para la capa de base granular se obtuvo un espesor de 10 pulg equivalente a 25 cm, para la capa de subbase granular se tuvo un espesor de 12 pulg o 30 cm y una capa de mejoramiento de subrasante de 12 pulg equivalente a 30 cm. Para el caso del pavimento flexible reforzado con geomalla se determinó un espesor de carpeta de 3,2 pulg u 8 cm, base granular de 10 pulg o 25 cm, subbase granular de 8 pulg o 20 cm y un mejoramiento de subrasante de 12 pulg o 30 cm y mientras que para el pavimento con material granular estabilizado con asfalto, se pudo obtener para la carpeta asfáltica un espesor de 3 pulg o 7,5 cm, la capa de base estabilizada con asfalto un espesor de 10 pulg o 15 cm y finalmente la capa de subbase granular con un espesor de 12 pulg igual a 30 cm.

Desde el punto de vista estructural el pavimento flexible reforzado con geomalla biaxial y el pavimento con material granular estabilizado con asfalto, mejoran el comportamiento mecánico y otorgan a la estructura de mayor capacidad portante y además va existir una mejor distribución de esfuerzos impuestos por el tráfico vehicular, la implementación del granular estabilizado a la estructura permite disipar los esfuerzos y que estos lleguen a nivel de subrasante sin generar deformaciones permanentes que afecten el desempeño de la estructura.

La estructura de pavimento flexible convencional tiene un espesor total de 95 cm mientras que el pavimento reforzado con Geomalla Biaxial tiene un espesor total de 83 cm y el pavimento que se implementa el material granular estabilizado con asfalto tiene 62,5 cm de espesor total.

De acuerdo con O.E.1 se diseñó un pavimento flexible convencional, partiendo de varios parámetros de diseño preestablecidos, como el Trafico de Diseño de  $2 \times 10^6$  Esal's, CBR de diseño del 3%, CBR para mejoramiento de subrasante de 20%, CBR para subbase granular de 30%, CBR para base granular de 80% según normativas del MTOP.

Según el O.E.2 el diseño de pavimento flexible reforzado con Geomalla Biaxial se fundamenta en especificaciones técnicas del material geosintético y siguiendo la metodología de diseño cumpliendo con los requerimientos técnicos de la MTOP, se obtuvieron resultados favorables al momento de realizar un diseño de pavimento flexible añadiendo geomalla biaxial mejorando su capacidad de soporte, lo que se traduce en una reducción del espesor de carpeta asfáltica respecto al diseño tradicional de 10 cm a 8 cm y a su vez una reducción de la subbase granular de 30 cm a 20 cm, de esta manera se optimizó y se redujo espesores de capa.

Como parte del O.E.3 inicialmente se clasificó un material granular que cumpliera con las especificaciones requeridas y de esta forma continuar con los ensayos respectivos para la investigación. Se analizó que dicho material obtenido con propiedades calificadas de la cantera Juan Montalvo que clasificó como subbase clase 3 con un límite líquido del 21%, Límite Plástico de 4%, desgaste del 37,13% y un CBR de 77,5% según especificaciones MTOP, cumpliendo con parámetros físico-mecánicos que garantizan su función óptima para dicho proyecto investigativo.

Según las especificaciones técnicas de la MTOP, AASHTO-93 y de acuerdo con el análisis de los ensayos realizados en esta investigación, se obtuvieron resultados favorables al momento de realizar un diseño de pavimento flexible añadiendo geomalla biaxial y estabilizando con asfalto.

En el estudio de Jordan y Suárez (2017), se analizó el diseño estructural entre un pavimento flexible sin refuerzo o convencional y un pavimento con refuerzo (Geomalla Biaxial), mediante la metodología de diseño de la AASHTO-93 y la guía de diseño de pavimentos reforzados con Geomallas Biaxiales, del cual obtuvieron en el dimensionamiento de espesores los siguientes resultados que se muestran en la **Tabla 53**:

**Tabla 53**

*Resultados de la estructura del pavimento flexible sin refuerzo método AASHTO-93 y con refuerzo de Geomallas Biaxiales*

CAPA	ALTERNATIVAS	
	SIN REFUERZO	CON REFUERZO
	MÉTODO AASHTO-93	GEOMALLA BIAxIAL
Carpeta Asfáltica	4	4
Base Clase 3	11	6
Sub-base Clase 3	27	22
<b>Total (pulgadas)</b>	<b>42</b>	<b>32</b>

*Nota. La **tabla 53** detalla los espesores obtenidos en los diseños del pavimento flexible con y sin refuerzo. Tomado de Jordan y Suárez (2017).*

Si bien el autor trabaja con espesores propuestos mediante el criterio de espesores mínimos y bajo condiciones de diseño similares a los que se plantea en la presente investigación, la metodología empleada es aplicable, los resultados de los espesores varían sin embargo la investigación cumple y se relaciona con el objetivo de reducir y optimizar espesores.

En el trabajo propuesto por Gavilanes (2012), se evaluó el diseño de la estructura del pavimento tradicional y la estructura de pavimento reforzada con geomalla biaxial, en función del estudio estos se adaptan al clima de la zona, tráfico vehicular y las diferentes variables o parámetros que se emplean en el diseño. Obtuvo como resultado un espesor inicial para la carpeta asfáltica de 10 cm, base clase 3 de 20 cm, sub-base clase 3 de 20 cm y un mejoramiento de subrasante de 50 cm, mientras que para el reforzado con geomalla se optimizó la capa de mejoramiento a 20 cm, sin la alteración de los demás espesores. La metodología que se usa en el desarrollo se relaciona con el trabajo de esta investigación, debido que para el dimensionamiento de las capas que componen la estructura de pavimento sin refuerzo se considera la incorporación de una capa D<sub>4</sub> o mejoramiento de subrasante que ayuda a reducir el espesor de una subbase que constructivamente no es recomendable aplicar en campo. El método por protección de capas permite determinar los espesores de acuerdo con el SN que se requiere para proteger la capa de base, sub-base y subrasante. Los resultados que se proponen en la investigación se relacionan con los espesores expuestos en esta investigación, obteniendo espesores optimizados con la inclusión de la Geomalla Biaxial.

# **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **5.1. CONCLUSIONES**

Como se puede observar según la metodología AASHTO 93 en condiciones de tráfico mayor a  $1 \times 10^6$  Esal's y una subrasante muy pobre, se necesitaría un espesor total de pavimento de 95cms. sin embargo, a pesar de ello no garantiza un buen comportamiento por deflexión a nivel de subrasante (ahuellamiento) y el espesor de carpeta requerido de 10cms. tendría una duración a tracción (fisuras por fatiga de carpeta asfáltica) ya que se necesitaría aproximadamente 14cms. de espesor para el nivel de tráfico evaluado.

Con el uso de geomalla biaxial a nivel de subrasante, aumenta en un 50% la resistencia de la subrasante por ello, se necesita un menor espesor que el caso anterior (83cms.), mejorando además el comportamiento por deflexión a nivel de subrasante (ahuellamiento), reduciendo también el espesor de carpeta asfáltica lo cual, sin embargo, por tracción a la fisura por fatiga, se acortaría la vida útil de la capa asfáltica, ya que sigue necesitando aproximadamente 14cms. de espesor de carpeta para el nivel de tráfico de diseño.

Con el uso de un material de Sub-base de la zona del proyecto estabilizado con asfalto diluido, se logra la mayor reducción en espesor total de pavimento (62.5cms.), y un mejor comportamiento de la carpeta asfáltica a tracción, ya que la fisura por fatiga deberá recorrer el espesor del material estabilizado (25cms.) y de la carpeta 7.5cms. calculados para llegar a la superficie, sin embargo por ahuellamiento de la subrasante, es la que peor comportamiento estructural tendría para el nivel de tráfico y condiciones de subrasante evaluadas.

## 5.2. RECOMENDACIONES

Se pueden combinar soluciones para garantizar un comportamiento óptimo tanto al ahuellamiento como por fatiga, utilizando un material estabilizado con asfalto mezclado con Sub-bases provenientes de la zona del proyecto, y de ser el caso usar geomalla biaxial cuando la condición de la subrasante sea pobre a muy pobre de calidad y un nivel de tráfico alto.

Si la condición de subrasante es de calidad regular a buena, no se necesitaría el uso de geomalla biaxial, sin embargo, será necesario aumentar el espesor del pavimento con material de subbase de la zona estabilizado con asfalto con una capa adicional de mejoramiento de subrasante (20cms. mínimo) para condiciones de tráfico similar a la evaluada y garantizar de esa forma un comportamiento óptimo tanto al ahuellamiento como a fatiga.

Para condiciones de tráfico medio (entre 50000 a menos de 1000000 de Esal's) se puede considerar en el diseño el uso de material estabilizado con asfalto mezclado con Sub-bases de la zona del proyecto, sin geomalla biaxial, con subrasantes de calidad pobre a muy pobre similares a la evaluada en este proyecto.

Se debe realizar el control periódico de pesos de los vehículos de carga que circulan por nuestras carreteras, ya que el exceso de carga, en la mayoría de los casos disminuye la vida útil de las estructuras de pavimento flexible que se diseñan en nuestro medio.

Para el buen comportamiento de las mezclas de materiales de Sub-base con asfaltos diluidos, se debe calificar primeramente con ensayos (Límites, Granulometría, CBR y Abrasión) al material granular a estabilizar y garantizar que el mismo no contenga antes de la mezcla exceso de humedad (mayor al 2%), además que el asfalto se coloque en la cantidad que necesite el diseño y a una temperatura no menor a 60°C para que alcance viscosidad de mezcla y la operación se ejecute de acuerdo a lo ensayado en el laboratorio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, J. (2014). El método de la investigación Research Method. *Daena: International Journal of Good Conscience*, 9(3), 195-204.
- Aceituno, C., Silva, R., y Cruz, R. (2020). Mitos y realidades de la investigación científica.
- Al-Barqawi, M., Aqel, R., Wayne, M., Titi, H., y Elhajjar, R. (2021). Polymer Geogrids: A Review of Material, Design and Structure Relationships. *Materials*, 14(16), 4745. doi:<https://doi.org/10.3390/ma14164745>
- Alegria, W. (2019). *Estudio de compatibilidad de las propiedades mecánicas del suelo y el diseño de la profundidad de cimentación del mercado municipal de Aguaytia-distrito y provincia de Padre Abad-Ucayali, 2019*. (Escuela Profesional de Ingeniería Civil), Universidad Alas Peruanas, Pucallpa, Perú.
- Atala, C. (2011). *Estudio experimental sobre correlaciones en suelos granulares finos (arenas) compactados, usando equipos de penetración*. (Ingeniería Civil), Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
- Becerra, C., y López, J. (2022). *DISEÑO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO CON GEOMALLA BIAXIAL PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE CARGA DEL SUELO, TRAMO: SHAMBOYACU-SANTA ROSA-LOS ÁNGELES-PROGRESO-PICOTA-SAN MARTÍN*. (Escuela Profesional de Ingeniería Civil), Universidad Científica del Perú, Perú.
- Beltrán, C. (2013). *Ventajas de la utilización de geosintéticos para el refuerzo de pavimento en la carrera 7 estación transmilenio Museo Nacional*.
- Bermúdez, W., y Alvarez, L. (2020). *Análisis comparativo del uso de geomallas biaxiales como elemento de refuerzo en pavimentos flexibles*.
- Berrospi, J. (2017). *Utilización de la Geomalla Biaxial de Polipropileno en el Pavimento Flexible de la Av. las Torres en el Distrito de Lurigancho Chosica, Lima, 2017*. (Ingeniería Civil), Universidad César Vallejo, Lima, Perú.
- Caballero, O., y Yauri, K. (2021). *Diseño de pavimento flexible con el uso de geomallas en la carretera del centro poblado de Lactash, Independencia, Huaraz-2021*. (Ingeniería Civil), Universidad César Vallejo, Huaraz, Perú.

- Cardenas, J. (2019). *Calculo del espesor de mejoramiento de subrasante en la carretera Mazamari–Pangoa, Región Junin*. (Escuela Profesional de Ingeniería Civil), Universidad Peruana los Andes, Huancayo, Perú.
- Cauas, D. (2015). Definición de las variables, enfoque y tipo de investigación. *Bogotá: biblioteca electrónica de la universidad Nacional de Colombia* 2, 1-11.
- Coronado, J. (2002). Manual centroamericano para diseño de pavimentos. In: SIECA.
- Corredor, G. (2010). Diseño de Pavimentos I. In (Vol. Módulo III, pp. 90).
- Das, B. M. (2021). *Principles of geotechnical engineering*: Cengage learning.
- Duque, G., y Escobar, C. J. N. d. c. S. I. U. N. d. C. S. M. (2002). Mecánica de los suelos.
- Fontalvo, O., Medrano, B., y Nadad, F. (2006). *Estabilización con cal del suelo de la ciudad de Cartagena para ser utilizado como base*. (Ingeniería Civil), Universidad Técnica de Bolívar, Cartagena de Indias, Colombia.
- Gavilanes, N. (2012). *Diseño de la estructura del pavimento con reforzamiento de geosintéticos aplicado a un tramo de la carretera Zumbahua-La Maná*. (Escuela de Ingeniería Civil), Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.
- González, W. (2018). *Análisis de sensibilidad en el diseño de un pavimento flexible a partir del coeficiente de drenaje*. (Ingeniería de Pavimentos), Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C., Colombia.
- Guamán, I. (2016). *Estudio del comportamiento de un suelo arcilloso estabilizado por dos métodos químicos (cal y cloruro de sodio)*. (Ingeniería Civil), Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- Guzman, M. (2018). *Influencia de los Geosintéticos en el Dimensionamiento de los Espesores de las Capas del Pavimento Flexible*. (Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil), Universidad Peruana de los Andes, Huancayo, Perú.
- Hernández, C., y Carpio, N. (2019). Introducción a los tipos de muestreo. *Alerta, Revista científica del Instituto Nacional de Salud* 2(1 (enero-junio)), 75-79.

- Hidalgo, F. (2007). *DEFINICIÓN MODERNA DE LOS PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS*. (Ingeniería Civil), Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador.
- Horn, R., y Rostek, J. (2000). Subsoil compaction processes-state of knowledge. *Advances in Geoecology*(32), 44-54.
- Huamani, F. (2021). *Instalación de la geomalla biaxial para mejorar las propiedades de la sub rasante de la Av. Amazonas–Pachacutec, Ventanilla*. (Escuela Profesional de Ingeniería Civil), Universidad César Vallejo, Lima, Perú.
- Invias. (2008). *Guía Metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras* (Vol. 2). Bogotá, Colombia.
- Jordan, C., y Suárez, J. (2017). *Diseño de pavimentos flexibles con el uso de Geosintéticos como refuerzo aplicado en las vías de acceso a la ciudadela la Milina del Cantón Salinas*. (Ingeniería Civil), Universidad Estatal Península de Santa Elena, La Libertad, Santa Elena, Ecuador.
- Juárez, E., y Rico, A. (2005). *Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. México: Editorial Limusa SA.
- López, G. (2020). *Ensayos de compactación en carreteras: Proctor Normal y Modificado*. (Ingeniería Civil), Universitat Politècnica de València,
- Martínez, E. (2022). *Diseño de la estructura del pavimento flexible de la vía Pacto-El Paraíso, perteneciente a la parroquia rural Pacto, distrito metropolitano de Quito*. (Ingeniería Civil), Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- Medina Ramírez, V. H. (2003). Aplicaciones de las Emulsiones Asfálticas y los Asfaltos Diluidos en mezclas Asfálticas en frío utilizando agregados del Río Aguaytia-Ucayali.
- Mercado, J. A., y Coronado, J. M. (2021). El muestreo y su relación con el diseño metodológico de la investigación. In U. P. d. Durango (Ed.), *MANUAL DE TEMAS NODALES DE LA INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA. UN ABORDAJE DIDÁCTICO*. (Primera edición: Febrero de 2021 ed., pp. 81). México.
- Minaya, S., y Ordoñez, A. (2001). *TIPOS DE ASFALTOS Y USOS-MANUAL DE LABORATORIO ENSAYOS PARA PAVIMENTOS* (Vol. 1). Lima, Perú.



- Miranda, E. (2019). *Diseño de una base granular reforzada con geomalla biaxial; para optimizar la calidad en la construcción de pavimentos flexibles, tramo Tayabamba-Ongón. Provincia de Pataz. La Libertad.* (Transporte y conservación Vial), Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.
- Miranda, R. (2010). *Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos.* (Construcción Civil), Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Monsalve, L., Giraldo, L., y Maya, J. (2012). *Diseño de pavimento flexible y rígido.* ([Ingeniería Civil]), Universidad del Quindío, Armenia, Quindío, Colombia.
- Montejo, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para carreteras Tomo I* (Vol. Tomo I). Colombia: Ediciones y Publicaciones Universidad Católica de Colombia.
- Montoya, R., y Quispe, J. (2020). *Aplicación de la metodología MEPDG-AASHTO 2008; en el eje de integración vial norte-Yura.* (Ingeniería Civil), Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.
- MTOP. (2002). Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes. Retrieved from [https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR\\_Chimborazo\\_Cumanda\\_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf](https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR_Chimborazo_Cumanda_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf)
- Mucha-Hospinal, L. F., Chamorro-Mejía, R., Oseda-Lazo, M. E., y Alania-Contreras, R. D. (2021). Evaluación de procedimientos empleados para determinar la población y muestra en trabajos de investigación de posgrado. *Desafíos*, 12(1), e253-e253. doi:<https://doi.org/10.37711/desafios.2021.12.1.253>
- Munera, J. (2019). Estimación del módulo resiliente para materiales granulares de Costa Rica. *Infraestructura Vial*, 21(37), 12-20. doi:<http://dx.doi.org/10.15517/iv.v21i37.42614>
- Naranjo, V. (2011). *Las características del suelo de subrasante de los caminos vecinales de la comunidad de Echaleche Pilahuín y su incidencia en el comportamiento de la capa de rodadura.* (Maestría en Ingeniería Civil), Universidad Técnica de Ambato, Ambato-Ecuador.
- Orejon, E. (2018). *Propuesta del mejoramiento de la subrasante de pavimentos flexibles usando las geomallas biaxiales en suelos de bajo valor de Soporte California–distrito de Ahuac.* (Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil), Universidad Continental, Huancayo, Perú.

- Orozco, J., y Díaz, A. (2018). ¿Cómo redactar los antecedentes de una investigación cualitativa? *Revista Electrónica de Conocimientos, Saberes y Prácticas*, 1, 66-82. doi:10.30698/recsp.v1i2.13
- Orrego, D. (2014). Análisis técnico-económico del uso de geomallas como refuerzo de bases granulares en pavimentos flexibles. *Ingeniería Civil (Lic.)*. doi:<http://hdl.handle.net/20.500.12404/5419>
- Ospina, J. (2018). *Diseño estructural de pavimento rígido de las vías urbanas en el municipio del Espinal-Departamento del Tolima*. (Ingeniería Civil), Universidad Cooperativa de Colombia, Ibagué, Colombia.
- Palma, I. J. C., Quintana Roo, México: sn. (2012). Estabilización y refuerzo en vías con geomallas biaxiales. 14.
- Palomino, K. E. (2016). *Capacidad portante (CBR) de un suelo arcilloso, con la incorporación del estabilizador MAXXSEAL 100*. (Ingeniería Civil), Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. Retrieved from <https://hdl.handle.net/11537/10489>
- Paris, M., y Pastrana, M. (1999). *RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES DENTRO DE LA RECUPERACION DE LA MALLA VIAL DE SANTAFE DE BOGOTA*. Paper presented at the MEMORIAS DEL XII SIMPOSIO COLOMBIANO SOBRE INGENIERIA DE PAVIMENTOS.
- Parra-Gómez, M. G. (2018). *Estabilización de un suelo con cal y ceniza volante*. (Ingeniería Civil), Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C, Colombia.
- PAVCO-WAVIN. (2021). FICHA TÉCNICA GEOMALLA BIAXIAL. Retrieved from [https://pavcowavingeosinteticos.com/wp-content/uploads/2022/08/Geomalla-Biaxial-Coextruida\\_FT2020-030622.pdf](https://pavcowavingeosinteticos.com/wp-content/uploads/2022/08/Geomalla-Biaxial-Coextruida_FT2020-030622.pdf)
- PAVCO, G. (2021). DISEÑO DE INFRAESTRUCTURAS CON GEOSINTÉTICOS. Retrieved from [www.geosoftpavco.com/libro/DisenoDeInfraestructuraConGeosinteticos-DecimaEdicion.pdf](http://www.geosoftpavco.com/libro/DisenoDeInfraestructuraConGeosinteticos-DecimaEdicion.pdf)
- Pizarro, R., y Chamaco, L. (2021). *EVALUACIÓN DEL COSTO Y TIEMPO DE EJECUCIÓN ENTRE LOS PAVIMENTOS: RÍGIDOS, FLEXIBLES Y SEMIRÍGIDOS EN EL DISTRITO DE EL PORVENIR PELEJO*,

- PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN*. (Ingeniería Civil), Universidad Científica del Perú, Tarapoto, Perú.
- Quezada, W. (2017). *Diseño del camino vecinal libertad km 25 vía a Macas del cantón Pastaza en la provincia de Pastaza*. (Ingeniería Civil), Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- Quiroz, W. (2017). *Comparación entre la estabilización de suelos con emulsión asfáltica, y la estabilización de suelos con asfalto y diésel para determinar cuál estabilización proporciona mayor densidad aparente y relación de soporte CBR*. (Ingeniería Civil), Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. Retrieved from <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/25753>
- Rondón, H., y Reyes, F. (2007). Metodologías de diseño de pavimentos flexibles: Tendencias, alcances y limitaciones. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 17(2), 41-65. doi:10.18359/rcin.1074
- Rondón, H., y Reyes, F. (2009). Deformación permanente de materiales granulares en pavimentos flexibles: estado del conocimiento. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(14), 71-94.
- Rosero, F. (2013). *Bases estabilizadas con emulsión asfáltica para pavimentos (aplicación calle nogales parroquia Nayón l= 1.0 km)*. (Ingeniería Civil), Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., y Hill, M. J. U. d. l. R. F. d. a. M., Uruguay. (2004). Propiedades físicas del suelo.
- Sánchez, X. (2003). *Diseño de pavimentos articulados para tráfico medio y alto*. (Ingeniería Civil y Ambiental), Universidad de Los Andes, Bogotá DC, Colombia.
- Sanmartín, P., y Reinoso, M. (2022). *Desarrollo de un catálogo de secciones estructurales de pavimentos flexibles y rígidos enfocado en las carreteras de la red vial de la provincia del Azuay, aplicando la metodología de diseño AASHTO-93*. (Ingeniería Civil), Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador.
- Seguel, O., y Orellana, I. J. A. S. (2008). Relación entre las propiedades mecánicas de suelos y los procesos de génesis e intensidad de uso. 36(2), 82-92.
- Tapia, A., Barona, F., Inga, L., y Santos, E. (2009). Diseño de un pavimento utilizando geomallas en tramo de la carretera bajada de chanduy–aguas verdes-pocito (absc. 2+ 900 hasta absc. 3+ 600).

- Tolentino, K. (2021). *Geomallas biaxiales para mejorar la subrasante de bajo valor de soporte califonia de un pavimento flexible, Pucusana, 2020.* (Ingeniería Civil), Universidad César Vallejo, Lima, Perú.
- Tunque, F. (2021). *Estabilización de subrasantes blandos empleando resina natural de pino, trocha carrozable Mayupata, San Pablo, Cusco 2021.* (Ingeniería Civil), Universidad César Vallejo, Lima, Perú.
- Vargas, J. (2021). *Uso de geomallas biaxiales para el refuerzo de pavimentos de la Av. Ferrocarril Distrito-Villa María del Triunfo-Lima 2021.* (Ingeniería Civil), Universidad César vallejo, Lima. Perú.
- Vasquez, B. (2014). *Análisis comparativo entre un pavimento rígido y un pavimento flexible para la ruta s/r: Santa Elvira–El Arenal, en la comuna de Valdivia.* (Ingeniería en Obras Civiles), Universidad Austral de Chile, Valdivia-Chile.
- Villacrés, R. (2022). *Análisis comparativo entre la humedad gravimétrica y la humedad determinada con sensores electrónicos en suelos finos del cantón Pastaza. Provincia de Pastaza.* (Ingeniería Civil), Universidad Técnica de Ambato, Ambato-Ecuador.
- Villalaz, C. C. (2005). *Mecánica de suelos y cimentaciones/Mechanics of Grounds and Laying of Foundations:* Editorial Limusa.
- Zambrano, C., y Zavala, D. (2019). *Estudio de suelo y estabilización del material granular existente con emulsión asfáltica para el diseño de pavimento flexible, en la vía Libertador Bolívar-Sitio Nuevo de longitud 5 km, del cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena.* (Ingeniería Civil), Universidad Estatal Península de Santa Elena, La Libertad, Santa Elena, Ecuador.

# **ANEXOS**

## **ANEXO I. REPORTE FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO**



REPORTE FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO	
Trabajo de Integración Curricular	Análisis Estructural entre: Pavimento Flexible Convencional, Geomalla Biaxial, Material Granular estabilizado con asfalto, para mejorar comportamiento mecánico, en Parroquia Manglaralto, Cantón y Provincia de Santa Elena
AUTORES:	RAMIREZ ALEJANDRO ANGEL LEONEL ROJAS CHELE ELSY YELENA
TUTOR:	Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, MSc.

ANEXO 1. ENSAYO DE GRANULOMETRÍA SERIE GRUESA Y FINA
Metodología: Norma ASTM D421-85



<b>REPORTE FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO</b>	
<b>Trabajo de Integración Curricular</b>	Análisis Estructural entre: Pavimento Flexible Convencional, Geomalla Biaxial, Material Granular estabilizado con asfalto, para mejorar comportamiento mecánico, en Parroquia Manglaralto, Cantón y Provincia de Santa Elena
<b>AUTORES:</b>	RAMIREZ ALEJANDRO ANGEL LEONEL ROJAS CHELE ELSY YELENA
<b>TUTOR:</b>	Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, MSc.

<b>ANEXO 2. ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>
<b>Metodología: Norma ASTM D854-14</b>





REPORTE FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO	
Trabajo de Integración Curricular	Análisis Estructural entre: Pavimento Flexible Convencional, Geomalla Biaxial, Material Granular estabilizado con asfalto, para mejorar comportamiento mecánico, en Parroquia Manglaralto, Cantón y Provincia de Santa Elena
AUTORES:	RAMIREZ ALEJANDRO ANGEL LEONEL ROJAS CHELE ELSY YELENA
TUTOR:	Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, MSc.

ANEXO 3. ENSAYO DE LÍMITES DE ATTERBERG
Metodología: Norma ASTM D 4318





<b>REPORTE FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO</b>	
<b>Trabajo de Integración Curricular</b>	Análisis Estructural entre: Pavimento Flexible Convencional, Geomalla Biaxial, Material Granular estabilizado con asfalto, para mejorar comportamiento mecánico, en Parroquia Manglaralto, Cantón y Provincia de Santa Elena
<b>AUTORES:</b>	RAMIREZ ALEJANDRO ANGEL LEONEL ROJAS CHELE ELSY YELENA
<b>TUTOR:</b>	Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, MSc.

<b>ANEXO 4. ENSAYO DE ABRASIÓN DE LOS ÁNGELES</b>
<b>Metodología: Norma ASTM C-535</b>





REPORTE FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO	
Trabajo de Integración Curricular	Análisis Estructural entre: Pavimento Flexible Convencional, Geomalla Biaxial, Material Granular estabilizado con asfalto, para mejorar comportamiento mecánico, en Parroquia Manglaralto, Cantón y Provincia de Santa Elena
AUTORES:	RAMIREZ ALEJANDRO ANGEL LEONEL ROJAS CHELE ELSY YELENA
TUTOR:	Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, MSc.

ANEXO 5. ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO
Metodología: Norma ASTM D 1557-12e1





**REPORTE FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO**

<b>Trabajo de Integración Curricular</b>	Análisis Estructural entre: Pavimento Flexible Convencional, Geomalla Biaxial, Material Granular estabilizado con asfalto, para mejorar comportamiento mecánico, en Parroquia Manglaralto, Cantón y Provincia de Santa Elena
<b>AUTORES:</b>	RAMIREZ ALEJANDRO ANGEL LEONEL ROJAS CHELE ELSY YELENA
<b>TUTOR:</b>	Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, MSc.

**ANEXO 6. ENSAYO DE CBR**

**Metodología: Norma ASTM D 1883-16**



<b>REPORTE FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO</b>	
<b>Trabajo de Integración Curricular</b>	Análisis Estructural entre: Pavimento Flexible Convencional, Geomalla Biaxial, Material Granular estabilizado con asfalto, para mejorar comportamiento mecánico, en Parroquia Manglaralto, Cantón y Provincia de Santa Elena
<b>AUTORES:</b>	RAMIREZ ALEJANDRO ANGEL LEONEL ROJAS CHELE ELSY YELENA
<b>TUTOR:</b>	Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, MSc.

<b>ANEXO 7. ENSAYO DE COMPACTACIÓN (MÉTODO MARSHALL)</b>	
--	--





**REPORTE FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO**

<b>Trabajo de Integración Curricular</b>	Análisis Estructural entre: Pavimento Flexible Convencional, Geomalla Biaxial, Material Granular estabilizado con asfalto, para mejorar comportamiento mecánico, en Parroquia Manglaralto, Cantón y Provincia de Santa Elena
<b>AUTORES:</b>	RAMIREZ ALEJANDRO ANGEL LEONEL ROJAS CHELE ELSY YELENA
<b>TUTOR:</b>	Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, MSc.

**ANEXO 8. ESTABILIDAD Y FLUJO**



<b>REPORTE FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO</b>	
<b>Trabajo de Integración Curricular</b>	Análisis Estructural entre: Pavimento Flexible Convencional, Geomalla Biaxial, Material Granular estabilizado con asfalto, para mejorar comportamiento mecánico, en Parroquia Manglaralto, Cantón y Provincia de Santa Elena
<b>AUTORES:</b>	RAMIREZ ALEJANDRO ANGEL LEONEL ROJAS CHELE ELSY YELENA
<b>TUTOR:</b>	Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, MSc.



<b>ANEXO 9. ENSAYO RICE</b>
<b>Norma ASTM D2041 - AASHTO T 209</b>



**ANEXO II.**  
**ENSAYOS DE LABORATORIO DE LAS**  
**PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES**  
**GRANULARES EN ESTUDIO**

# ANEXO 1.

## Granulometría de material granular (Cantera Sitio Nuevo).

	<b>Universidad Estatal Península de Santa Elena</b>		
<b>Facultad de Ciencias de La Ingeniería</b>			
<b>Carrera de Ingeniería Civil</b>			
<b>DETERMINACION DE LA DISTRIBUCION GRANULOMETRICA DE SUELOS Y AGREGADOS GRUESOS Y FINOS</b>			
<b>Trabajo de Integración Curricular</b>	Análisis Estructural entre: Pavimento Flexible Tradicional, Geomalla Biaxial, Material Granular estabilizado con asfalto, para mejorar comportamiento mecánico, en Parroquia Manglaralto, Cantón y Provincia de Santa Elena	<b>Muestra # :</b>	TN
		<b>Coordenadas</b>	<b>Norte:</b> 9794214 <b>Este:</b> 528779

Ensayo de Contenido de Humedad	Material Serie	
	Gruesa	Fina
Resipiente N°	P	G
Masa de Recipiente + Muestra Humeda (P1)	259,04	413,38
Masa de Recipiente + Muestra Seca (P2)	248,30	399,85
Masa de Agua (P3 = P1 - P2)	10,74	13,53
Masa de Recipiente (P4)	89,86	91,18
Masa de Muestra Seca (P5 = P2 - P4)	158,44	308,67
% de Humedad (W = P3 x 100 ÷ P5)	6,78	4,38

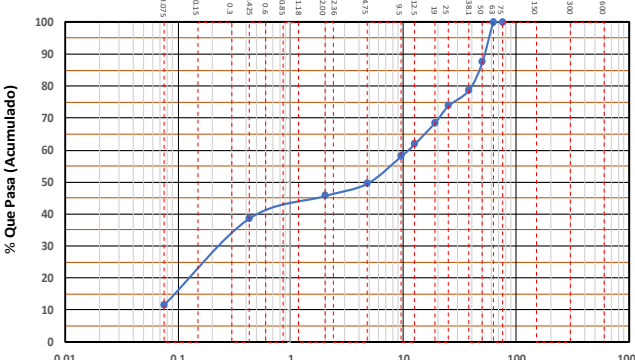
SERIE GRUESA				
Tamiz ASTM N°	Abertura / N°	Masa Retenida		% Pasante acumulado
		Parcial	Acumulada	
600 mm.	24 "			
300 mm.	12 "			
150 mm.	6 "			
75 mm.	3 "	0	0	100,00
63 mm.	2 1/2"	0	0,0	100,00
50 mm.	2 "	1350	1264,3	87,42
38,1 mm.	1 1/2"	930	2135,3	78,75
25 mm.	1 "	530	2631,6	73,81
19 mm.	3/4"	570	3165,4	68,50
12,5 mm.	1/2"	720	3839,7	61,79
9,5 mm.	3/8"	410	4223,7	57,96
4,75 mm.	No.4	910	5075,9	49,48
Pasa No. 4	5190	4972,06		

SERIE FINA					
Tamiz ASTM	Abertura / N°	Masa Retenida		% Pasante acumulado	% Pasante corregido
		Parcial	Acumulada		
2,36 mm.	No. 8				
2 mm.	No. 10	22,45	22,45	92,19	45,62
1,18 mm.	No. 16				
0,85 mm.	No. 20				
0,60 mm.	No. 30				
0,425 mm.	No. 40	41,51	63,96	77,75	38,47
0,3 mm.	No. 50				
0,15 mm.	No. 100				
0,075 mm.	No. 200	157,44	221,4	22,97	11,36
Pasa No. 200					
Masa inicial del material para lavado =			300 gr.		
Masa inicial del material para lavado =			287,4 gr.		
Masa Total del Material utilizado para el ensayo (gr)					10048,0

**CURVA DE DISTRIBUCION GRANULOMETRICA**  
TAMICES ASTM (Abertura en Milímetros)



Distribucion del Tamaño de las Partículas Valores expresados en porcentajes		
Pedron Rodado (>12")	0,0	
Canto Rodado (12"-3")	0,0	
Grava (3"-N°4)	Gruesa (3"-3/4")	31,50
	Fina (3/4"-N°4)	19,0
Arena (N°4-N°200)	Gruesa (N°4-N°10)	3,9
	Media (N°10-N°40)	7,1
	Fina (N°40-N°200)	27,1
Finos (>N°200)	11,36	

Condiciones de Filtro	
D15 =	0,095      Cu = 128,17
D30 =	0,243
D60 =	12,176      Cc = 0,05
Cu >= 4      OK	
1 > Cc > 3      NO CUMPLE	

CLASIFICACIÓN AASHTO		INDICE DE GRUPO (IG)
A-2-4	Grava y arena limosa o arcillosa	(0)

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)	
GP-GC	Grava mal graduada con arcilla y arena



  

Laboratorista: Roger Magallanes	Tutor: Ing. Daniel campoverde C	Fecha de toma de muestra : 26/11/2022	Fecha Ensayo: 28/11/2022
------------------------------------	------------------------------------	--	-----------------------------



## ANEXO 2.

### Granulometría de material granular (Cantera Juan Montalvo)

	<b>Universidad Estatal Península de Santa Elena</b>		
<b>Facultad de Ciencias de La Ingeniería</b>			
<b>Carrera de Ingeniería Civil</b>			
<b>DETERMINACION DE LA DISTRIBUCION GRANULOMETRICA DE SUELOS Y AGREGADOS GRUESOS Y FINOS</b>			
<b>Trabajo de Integración Curricular</b>	Análisis Estructural entre: Pavimento Flexible Convencional, Geomalla Biaxial, Material Granular estabilizado con asfalto, para mejorar comportamiento mecánico, en Parroquia Manglaralto, Cantón y Provincia de Santa Elena	<b>Muestra # :</b>	TN
		<b>Coordenadas</b>	<b>Norte:</b> 9747535 <b>Este:</b> 534551

Ensayo de Contenido de Humedad	Material Serie	
	Gruesa	Fina
Resipiente N°	W	W2
Masa de Recipiente + Muestra Humeda (P1)	556,00	495,00
Masa de Recipiente + Muestra Seca (P2)	553,00	486,00
Masa de Agua (P3 = P1 - P2)	3,00	9,00
Masa de Recipiente (P4)	54,00	54,00
Masa de Muestra Seca (P5= P2-P4)	499,00	432,00
% de Humedad (W= P3 x 100 ÷ P5)	0,60	2,08

ESPECIFICACIÓN SUB-BASE CLASE 3		
TAMIZ (mm)	Límite Inferior	Límite Superior
0,075	0	20
0,425		
4,75	30	70
38,1		
50,4		
76,2	100	100

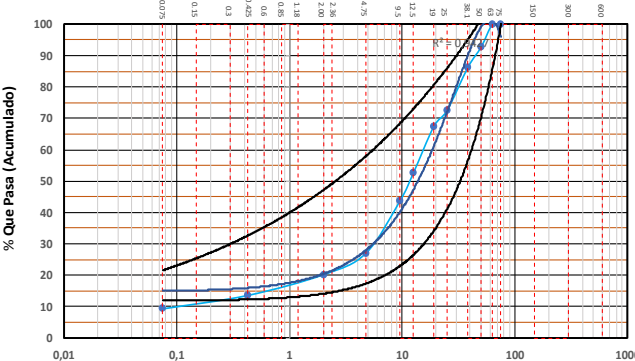
SERIE GRUESA				
Tamiz ASTM	Abertura / N°	Masa Retenida		% Pasante acumulado
		Parcial	Acumulada	
600 mm.	24 "			
300 mm.	12 "			
150 mm.	6 "			
75 mm.	3 "	0	0	100,00
63 mm.	2 1/2"	0	0	100,00
50 mm.	2 "	662	658,0	92,69
38,1 mm.	1 1/2"	590	1244,5	86,17
25 mm.	1 "	1234	2471,1	72,55
19 mm.	3/4"	468	2936,3	67,38
12,5 mm.	1/2"	1344	4272,3	52,54
9,5 mm.	3/8"	805	5072,5	43,65
4,75 mm.	No.4	1504	6567,5	27,04
Pasa No. 4		2485	2434,3	

SERIE FINA					
Tamiz ASTM	Abertura / N°	Masa Retenida		% Pasante acumulado	% Pasante corregido
		Parcial	Acumulada		
2,36 mm.	No. 8				
2 mm.	No. 10	74,10	74,1	74,79	20,22
1,18 mm.	No. 16				
0,85 mm.	No. 20				
0,60 mm.	No. 30				
0,425 mm.	No. 40	71,87	145,97	50,33	13,61
0,3 mm.	No. 50				
0,15 mm.	No. 100				
0,075 mm.	No. 200	46,46	192,43	34,52	9,34
Pasa No. 200					
Masa inicial del material para lavado =		300 gr.			
Masa inicial del material para lavado =		293,9 gr.			
Masa Total del Material utilizado para el ensayo (gr)		9001,8			

**CURVA DE DISTRIBUCION GRANULOMETRICA**  
TAMICES ASTM (Abertura en Milímetros)



Distribucion del Tamaño de las Partículas Valores expresados en porcentajes		
Pedron Rodado (>12")		0,0
Canto Rodado (12"-3")		0,0
Grava (3"-N°4)	Gruesa (3"-3/4")	32,62
	Fina (3/4"-N°4)	40,3
Arena (N°4-N°200)	Gruesa (N°4-N°10)	6,8
	Media (N°10-N°40)	6,6
	Fina (N°40-N°200)	4,3
<b>FINOS (&gt;N°200)</b>		<b>9,34</b>

Condiciones de Filtro		
D15 =	0,6	Cu= 26,25
D30=	5,937	
D60=	15,75	Cc= 3,73
Cu>=4 OK		
1>Cc>3 NO CUMPLE		

CLASIFICACIÓN AASHTO		INDICE DE GRUPO (IG)
A-2-4	Grava y arena limosa o arcillosa	(0)



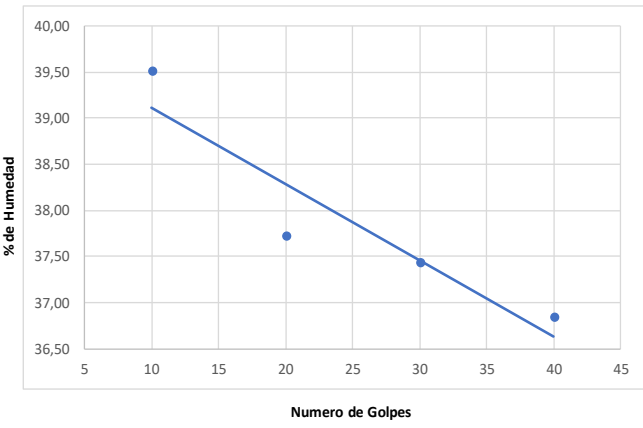
Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)	
GP-GM	Grava Mal Graduada con Limo y Arena

Laboratorista: Roger Magallanes	Tutor: Ing. Daniel campoverde C	Fecha de toma de muestra : 21/04/2023	Fecha Ensayo: 17/5/2023
------------------------------------	------------------------------------	--	----------------------------



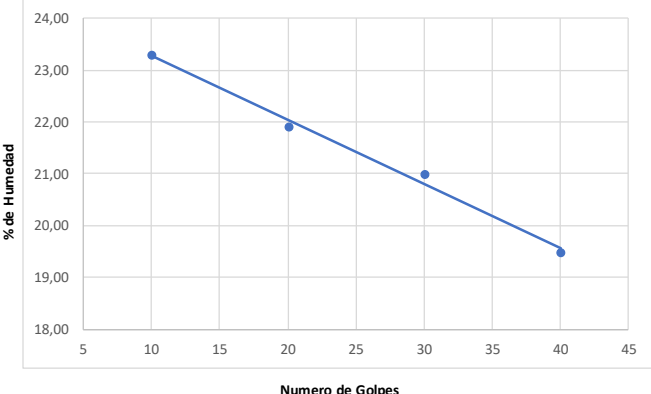
### ANEXO 3.

#### Límites de Atterberg (Cantera Sitio Nuevo).

	<b>Universidad Estatal Península de Santa Elena</b> <b>Facultad de Ciencias de La Ingeniería</b> <b>Carrera de Ingeniería Civil</b>														
<b>DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS</b>															
<b>Trabajo de Integración Curricular</b>	Análisis Estructural entre: Pavimento Flexible Tradicional, Geomalla Biaxial, Material Granular estabilizado con asfalto, para mejorar comportamiento mecánico, en Parroquia Manglaralto, Cantón y Provincia de Santa Elena	<b>Muestra:</b>	<b>TN</b>												
		<b>Coordenadas</b>	<b>Norte:</b> 9794257												
			<b>Este:</b> 535238												
<b>DATOS DEL ENSAYO LIMITE LIQUIDO</b>															
<b>RECIPIENTE #</b>	<b>A</b>	<b>2</b>	<b>66</b>	<b>S1</b>											
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA ( P1 )	39,02	42,48	43,75	36,04											
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	32,60	35,48	36,39	30,99											
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	6,42	7,00	7,36	5,05											
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	16,35	16,92	16,73	17,28											
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	16,25	18,56	19,66	13,71											
% DE HUMEDAD ( W = P3* 100 ÷ P5 )	39,51	37,72	37,44	36,83											
# DE GOLPES	10	20	30	40											
<b>DATOS DEL ENSAYO LIMITE PLASTICO</b>															
<b>RECIPIENTE #</b>	<b>1</b>	<b>P5</b>	<b>14</b>												
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA ( P1 )	19,62	17,96	17,49												
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA ( P2 )	17,09	15,78	15,45												
MASA DE AGUA ( P3 = P1 - P2 )	2,53	2,18	2,04												
MASA DE RECIPIENTE ( P4 )	9,20	8,98	9,11												
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2 - P4 )	7,89	6,80	6,34												
% DE HUMEDAD ( W = P3* 100 ÷ P5 )	32,07	32,06	32,18												
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: auto;">                 SEGUN LA CARTA DE LA COMPOSICIÓN MINERALÓGICA EN LA PLASTICIDAD ( DAY, 1999)             </div>															
				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">RESULTADOS</th> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">LIMITE LIQUIDO =</td> <td style="text-align: center;"><b>38</b></td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">LIMITE PLASTICO=</td> <td style="text-align: center;"><b>32</b></td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">INDICE DE PLASTICIDAD=</td> <td style="text-align: center;"><b>6</b></td> </tr> </table>				RESULTADOS		LIMITE LIQUIDO =	<b>38</b>	LIMITE PLASTICO=	<b>32</b>	INDICE DE PLASTICIDAD=	<b>6</b>
RESULTADOS															
LIMITE LIQUIDO =	<b>38</b>														
LIMITE PLASTICO=	<b>32</b>														
INDICE DE PLASTICIDAD=	<b>6</b>														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">CLASIFICACION SEGÚN CARTA DE PLASTICIDAD ASTM D-2487 SUCS</th> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">CL</td> </tr> </table>								CLASIFICACION SEGÚN CARTA DE PLASTICIDAD ASTM D-2487 SUCS		CL					
CLASIFICACION SEGÚN CARTA DE PLASTICIDAD ASTM D-2487 SUCS															
CL															
<b>Laboratorista:</b>	<b>Tutor:</b>	<b>Fecha de toma de muestra :</b>	<b>Fecha Ensayo:</b>												
Roger Magallanes	Ing. Daniel Campoverde	26/11/2022	28/11/2022												



## ANEXO 4.

### Límites de Atterberg (Cantera Juan Montalvo).

	<b>Universidad Estatal Península de Santa Elena</b> <b>Facultad de Ciencias de La Ingeniería</b> <b>Carrera de Ingeniería Civil</b>														
<b>DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS</b>															
<b>Trabajo de Integración Curricular</b>	Análisis Estructural entre: Pavimento Flexible Convencional, Geomalla Biaxial, Material Granular estabilizado con asfalto, para mejorar comportamiento mecánico, en Parroquia Manglaralto, Cantón y Provincia de Santa Elena	<b>Muestra:</b>	<b>TN</b>												
		<b>Coordenadas</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;"><b>Norte:</b></td> <td style="width: 85%;">9747535</td> </tr> <tr> <td><b>Este:</b></td> <td>534551</td> </tr> </table>	<b>Norte:</b>	9747535	<b>Este:</b>	534551								
<b>Norte:</b>	9747535														
<b>Este:</b>	534551														
<b>DATOS DEL ENSAYO LIMITE LIQUIDO</b>															
<b>RECIPIENTE #</b>	<b>HD</b>	<b>Z</b>	<b>W</b>	<b>CI</b>											
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA (P1)	46,06	33,56	41,23	41,67											
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	40,48	30,48	37,01	37,65											
MASA DE AGUA ( P3 = P1 -P2 )	5,58	3,08	4,22	4,02											
MASA DE RECIPIENTE (P4)	16,53	16,42	16,91	17,01											
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2- P4 )	23,95	14,06	20,10	20,64											
% DE HUMEDAD ( W = P3* 100 ÷ P5 )	23,30	21,91	21,00	19,48											
# DE GOLPES	10	20	30	40											
<b>DATOS DEL ENSAYO LIMITE PLASTICO</b>															
<b>RECIPIENTE #</b>	<b>W</b>	<b>M</b>	<b>W2</b>												
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA (P1)	14,48	14,88	14,12												
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	13,71	14,02	13,38												
MASA DE AGUA ( P3 = P1 -P2 )	0,77	0,86	0,74												
MASA DE RECIPIENTE (P4)	9,17	9,09	9,03												
MASA DE MUESTRA SECA ( P5 = P2- P4 )	4,54	4,93	4,35												
% DE HUMEDAD ( W = P3* 100 ÷ P5 )	16,96	17,44	17,01												
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: auto;">                 SEGUN LA CARTA DE LA COMPOSICIÓN MINERALÓGICA EN LA PLASTICIDAD (DAY, 1999)             </div>															
				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">RESULTADOS</th> </tr> <tr> <td style="width: 70%;">LIMITE LIQUIDO =</td> <td style="text-align: right;"><b>21</b></td> </tr> <tr> <td>LIMITE PLASTICO=</td> <td style="text-align: right;"><b>17</b></td> </tr> <tr> <td>INDICE DE PLASTICIDAD=</td> <td style="text-align: right;"><b>4</b></td> </tr> </table>				RESULTADOS		LIMITE LIQUIDO =	<b>21</b>	LIMITE PLASTICO=	<b>17</b>	INDICE DE PLASTICIDAD=	<b>4</b>
RESULTADOS															
LIMITE LIQUIDO =	<b>21</b>														
LIMITE PLASTICO=	<b>17</b>														
INDICE DE PLASTICIDAD=	<b>4</b>														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">CLASIFICACION SEGÚN CARTA DE PLASTICIDAD ASTM D-2487 SUCS</th> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">CL-ML</td> </tr> </table>								CLASIFICACION SEGÚN CARTA DE PLASTICIDAD ASTM D-2487 SUCS		CL-ML					
CLASIFICACION SEGÚN CARTA DE PLASTICIDAD ASTM D-2487 SUCS															
CL-ML															
<b>Laboratorista:</b>	<b>Tutor:</b>	<b>Fecha de toma de muestra :</b>	<b>Fecha Ensayo:</b>												
Roger Magallanes	Ing. Daniel Campoverde	21/04/2023	18/05/2023												



**ANEXO 5.**

**Gravedad Específica (Cantera Sitio Nuevo).**

	<p><b>Universidad Estatal Península de Santa Elena</b>  <b>Facultad de Ciencias de la Ingeniería</b>  <b>Carrera de Ingeniería Civil</b></p>		
<p><b>Trabajo de Integración Curricular:</b> "Análisis Estructural entre: Pavimento Flexible Tradicional, Geomalla Biaxial, Material Granular estabilizado con asfalto, para mejorar comportamiento mecánico, en Parroquia Manglaralto, Cantón y Provincia de Santa Elena".</p>			
<p><b>INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA ASTM D - 854</b></p>			
<b>Autores</b>	Ely Yelena Rojas Chele Angel Leonel Ramirez Alejandro	<b>Muestra:</b>	<b>TN</b>
<b>Ubicación:</b>	Cantera Sitio Nuevo	<b>Coordenadas</b>	<b>Norte:</b> 9794257 <b>Este:</b> 535238
<b>DATOS DEL ENSAYO</b>			
<b>Recipiente N°</b>		RR1	
<b>Temperatura °C</b>		25	
<b>Peso Recipiente</b>		157,58	
<b>Recipiente + Ws</b>		327,58	
<b>Frasco + Agua</b>	<b>Wbw</b>	660	
<b>Frasco + Agua + Suelo</b>	<b>Wbws</b>	765	
<b>CÁLCULOS</b>			
<b>Ws</b>		170	
<b>Ws + Wbw</b>		830	
<b>Ws + Wbw - Wbws</b>		65	
<b>Factor de Corrección K</b>		0,99884	
$G_s = \frac{W_s * K}{W_s + Wbw - Wbws}$		2,61	
<b>Laboratorista:</b>	<b>TUTOR:</b>	<b>Fecha de toma de muestra:</b>	<b>Fecha ensayo:</b>
Roger Magallanes	Ing. Daniel Campoverde C	26/11/2022	30/11/2022

## ANEXO 6.

### Gravedad Específica (Cantera Juan Montalvo).

	<b>Universidad Estatal Península de Santa Elena</b> <b>Facultad de Ciencias de la Ingeniería</b> <b>Carrera de Ingeniería Civil</b>																						
<b>Trabajo de Integración Curricular: "Análisis Estructural entre: Pavimento Flexible Convencional, Geomalla Biaxial, Material Granular estabilizado con asfalto, para mejorar comportamiento mecánico, en Parroquia Manglaralto, Cantón y Provincia de Santa Elena".</b>																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="5" style="background-color: #d3d3d3;">INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA ASTM D - 854</th> </tr> <tr> <td style="width: 10%;"><b>Autores</b></td> <td style="width: 40%;">Elsy Yelena Rojas Chele Angel Leonel Ramirez Alejandro</td> <td style="width: 10%;"><b>Muestra:</b></td> <td colspan="2" style="text-align: center;"><b>TN</b></td> </tr> <tr> <td><b>Ubicación:</b></td> <td>Cantera Juan Montalvo</td> <td><b>Coordenadas</b></td> <td><b>Norte:</b></td> <td>9747535</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td><b>Este:</b></td> <td>534551</td> </tr> </table>			INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA ASTM D - 854					<b>Autores</b>	Elsy Yelena Rojas Chele Angel Leonel Ramirez Alejandro	<b>Muestra:</b>	<b>TN</b>		<b>Ubicación:</b>	Cantera Juan Montalvo	<b>Coordenadas</b>	<b>Norte:</b>	9747535				<b>Este:</b>	534551	
INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA ASTM D - 854																							
<b>Autores</b>	Elsy Yelena Rojas Chele Angel Leonel Ramirez Alejandro	<b>Muestra:</b>	<b>TN</b>																				
<b>Ubicación:</b>	Cantera Juan Montalvo	<b>Coordenadas</b>	<b>Norte:</b>	9747535																			
			<b>Este:</b>	534551																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="3" style="background-color: #d3d3d3;">DATOS DEL ENSAYO</th> </tr> <tr> <td style="width: 50%;"><b>Recipiente N°</b></td> <td colspan="2" style="text-align: center;">RR2</td> </tr> <tr> <td><b>Temperatura °C</b></td> <td colspan="2" style="text-align: center;">30</td> </tr> <tr> <td><b>Peso Recipiente</b></td> <td colspan="2" style="text-align: center;">159,05</td> </tr> <tr> <td><b>Recipiente + Ws</b></td> <td colspan="2" style="text-align: center;">359,05</td> </tr> <tr> <td><b>Frasco + Agua</b></td> <td style="width: 10%; text-align: center;"><b>Wbw</b></td> <td style="text-align: center;">659</td> </tr> <tr> <td><b>Frasco + Agua + Suelo</b></td> <td style="text-align: center;"><b>Wbws</b></td> <td style="text-align: center;">784,1</td> </tr> </table>			DATOS DEL ENSAYO			<b>Recipiente N°</b>	RR2		<b>Temperatura °C</b>	30		<b>Peso Recipiente</b>	159,05		<b>Recipiente + Ws</b>	359,05		<b>Frasco + Agua</b>	<b>Wbw</b>	659	<b>Frasco + Agua + Suelo</b>	<b>Wbws</b>	784,1
DATOS DEL ENSAYO																							
<b>Recipiente N°</b>	RR2																						
<b>Temperatura °C</b>	30																						
<b>Peso Recipiente</b>	159,05																						
<b>Recipiente + Ws</b>	359,05																						
<b>Frasco + Agua</b>	<b>Wbw</b>	659																					
<b>Frasco + Agua + Suelo</b>	<b>Wbws</b>	784,1																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2" style="background-color: #d3d3d3;">CÁLCULOS</th> </tr> <tr> <td style="width: 60%; text-align: center;"><b>Ws</b></td> <td style="text-align: center;">200</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>Ws + Wbw</b></td> <td style="text-align: center;">859</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>Ws + Wbw - Wbws</b></td> <td style="text-align: center;">75</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>Factor de Corrección K</b></td> <td style="text-align: center;">0,99884</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><math>G_s = \frac{W_s * K}{W_s + Wbw - Wbw}</math></td> <td style="text-align: center;">2,67</td> </tr> </table>			CÁLCULOS		<b>Ws</b>	200	<b>Ws + Wbw</b>	859	<b>Ws + Wbw - Wbws</b>	75	<b>Factor de Corrección K</b>	0,99884	$G_s = \frac{W_s * K}{W_s + Wbw - Wbw}$	2,67									
CÁLCULOS																							
<b>Ws</b>	200																						
<b>Ws + Wbw</b>	859																						
<b>Ws + Wbw - Wbws</b>	75																						
<b>Factor de Corrección K</b>	0,99884																						
$G_s = \frac{W_s * K}{W_s + Wbw - Wbw}$	2,67																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;"><b>Laboratorista:</b></td> <td style="width: 25%;"><b>TUTOR:</b></td> <td style="width: 25%;"><b>Fecha de toma de muestra:</b></td> <td style="width: 25%;"><b>Fecha ensayo:</b></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Roger Magallanes</td> <td style="text-align: center;">Ing. Daniel Campoverde C</td> <td style="text-align: center;">21/04/2023</td> <td style="text-align: center;">22/05/2023</td> </tr> </table>			<b>Laboratorista:</b>	<b>TUTOR:</b>	<b>Fecha de toma de muestra:</b>	<b>Fecha ensayo:</b>	Roger Magallanes	Ing. Daniel Campoverde C	21/04/2023	22/05/2023													
<b>Laboratorista:</b>	<b>TUTOR:</b>	<b>Fecha de toma de muestra:</b>	<b>Fecha ensayo:</b>																				
Roger Magallanes	Ing. Daniel Campoverde C	21/04/2023	22/05/2023																				

**ANEXO 7.**

**Abrasión de los Ángeles (Cantera Sitio Nuevo).**

	<p><b>Universidad Estatal Península de Santa Elena</b></p> <p><b>Facultad de Ciencias de La Ingeniería</b></p> <p><b>Carrera de Ingeniería Civil</b></p>				
<b>DETERMINACION DE LA ABRASIÓN DE LOS ANGELES</b>					
<b>Trabajo de Integración Curricular</b>	Análisis Estructural entre: Pavimento Flexible Convencional, Geomalla Biaxial, Material Granular estabilizado con asfalto, para mejorar comportamiento mecánico, en Parroquia Manglaralto, Cantón y Provincia de Santa Elena	<b>Muestra # :</b>	TN		
		<b>Coordenadas</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><b>Norte:</b></td> <td>9794214</td> </tr> <tr> <td><b>Este:</b></td> <td>528779</td> </tr> </table>	<b>Norte:</b>	9794214
<b>Norte:</b>	9794214				
<b>Este:</b>	528779				
<b>FÓRMULA</b>	$\% \text{ DE PÉRDIDA} = \frac{PI - Pt}{PI}$	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td><b>PI: Peso antes del ensayo</b></td> </tr> <tr> <td><b>Pt: Peso después de tamizar por N° 12</b></td> </tr> </table>		<b>PI: Peso antes del ensayo</b>	<b>Pt: Peso después de tamizar por N° 12</b>
<b>PI: Peso antes del ensayo</b>					
<b>Pt: Peso después de tamizar por N° 12</b>					
<b>MÉTODO</b>	2	N° de esferas, 12 ; N° de Revoluciones, 1000 ; Tiempo de rotación, 30 minutos.			
<b>TAMIZ</b>		<b>PESO ANTES DEL ENSAYO</b>	<b>PESO DESPUÉS POR TAMIZ No 12 (gr)</b>	<b>% DE PÉRDIDA</b>	
<b>PASA</b>	<b>RETIENE</b>				
2"	1 1/2"	5000 + 00	0,993 gr	90,07%	
1 1/2"	1"	5000 + 00			
<b>PESO TOTAL</b>		10000 + 00			
<b>% Pérdida</b>	90,07				
<b>Observaciones:</b>					
El material que se ha escogido para dicha investigación de la cantera de Sitio Nuevo de la Parroquia Manglaralto, nos da como resultado un 90,07 de desgaste, no cumple para ser utilizado como subbase.					
<b>Laboratorista:</b>	<b>TUTOR:</b>	<b>Fecha de toma de muestra:</b>	<b>Fecha ensayo:</b>		
Roger Magallanes	Ing. Daniel Campoverde C	26/11/2022	05/12/2022		

**ANEXO 8.**

**Abrasión de los Ángeles (Cantera Juan Montalvo).**

	<p><b>Universidad Estatal Península de Santa Elena</b></p> <p><b>Facultad de Ciencias de La Ingeniería</b></p> <p><b>Carrera de Ingeniería Civil</b></p>																									
<b>DETERMINACION DE LA ABRASIÓN DE LOS ANGELES</b>																										
<b>Trabajo de Integración Curricular</b>	Análisis Estructural entre: Pavimento Flexible Convencional, Geomalla Biaxial, Material Granular estabilizado con asfalto, para mejorar comportamiento mecánico, en Parroquia Manglaralto, Cantón y Provincia de Santa Elena	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;"><b>Muestra # :</b></td> <td style="width: 85%;">TN</td> </tr> <tr> <td rowspan="2"><b>Coordenadas</b></td> <td><b>Norte:</b> 9747535</td> </tr> <tr> <td><b>Este:</b> 534551</td> </tr> </table>	<b>Muestra # :</b>	TN	<b>Coordenadas</b>	<b>Norte:</b> 9747535	<b>Este:</b> 534551																			
<b>Muestra # :</b>	TN																									
<b>Coordenadas</b>	<b>Norte:</b> 9747535																									
	<b>Este:</b> 534551																									
<b>FÓRMULA</b>	$\% \text{ DE PÉRDIDA} = \frac{PI - Pt}{PI}$	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">PI: Peso antes del ensayo</td> </tr> <tr> <td>Pt: Peso después de tamizar por N° 12</td> </tr> </table>	PI: Peso antes del ensayo	Pt: Peso después de tamizar por N° 12																						
PI: Peso antes del ensayo																										
Pt: Peso después de tamizar por N° 12																										
<b>MÉTODO</b>	1	N° de esferas, 12 ; N° de Revoluciones, 1000 ; Tiempo de rotación, 30 minutos.																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">TAMIZ</th> <th rowspan="2" style="text-align: center;">PESO ANTES DEL ENSAYO</th> <th rowspan="2" style="text-align: center;">PESO DESPUÉS POR TAMIZ No 12 (gr)</th> <th rowspan="2" style="text-align: center;">% DE PÉRDIDA</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">PASA</th> <th style="text-align: center;">RETIENE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">3"</td> <td style="text-align: center;">2 1/2"</td> <td style="text-align: center;">2500 + 15</td> <td rowspan="3" style="text-align: center; vertical-align: middle;">6325,82 gr</td> <td rowspan="3" style="text-align: center; vertical-align: middle;">37,13%</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2 1/2"</td> <td style="text-align: center;">2"</td> <td style="text-align: center;">2500 + 24</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2"</td> <td style="text-align: center;">1 1/2"</td> <td style="text-align: center;">5000 + 23</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;"><b>PESO TOTAL</b></td> <td style="text-align: center;">10000 + 62</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				TAMIZ		PESO ANTES DEL ENSAYO	PESO DESPUÉS POR TAMIZ No 12 (gr)	% DE PÉRDIDA	PASA	RETIENE	3"	2 1/2"	2500 + 15	6325,82 gr	37,13%	2 1/2"	2"	2500 + 24	2"	1 1/2"	5000 + 23	<b>PESO TOTAL</b>		10000 + 62		
TAMIZ		PESO ANTES DEL ENSAYO	PESO DESPUÉS POR TAMIZ No 12 (gr)	% DE PÉRDIDA																						
PASA	RETIENE																									
3"	2 1/2"	2500 + 15	6325,82 gr	37,13%																						
2 1/2"	2"	2500 + 24																								
2"	1 1/2"	5000 + 23																								
<b>PESO TOTAL</b>		10000 + 62																								
<b>% Pérdida</b>	37,13																									
<b>Observaciones:</b>																										
El material granular en estudio procedente de la Cantera Juan Montalvo, presenta un porcentaje de desgaste de 37,13 %. El Coeficiente de Desgaste para Subbases de Agregados debe ser máximo 50%, con lo cual el material ensayado CUMPLE con la especificación técnica para Subbase Granular.																										
<b>Laboratorista:</b>	<b>TUTOR:</b>	<b>Fecha de toma de muestra:</b>	<b>Fecha ensayo:</b>																							
Roger Magallanes	Ing. Daniel Campoverde C	21/04/2023	24/05/2023																							

## ANEXO 9.

### Proctor Modificado (Cantera Sitio Nuevo).



Universidad Estatal Península de Santa Elena

Facultad de Ciencias de La Ingeniería

Carrera de Ingeniería Civil



#### DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD DE SUELOS

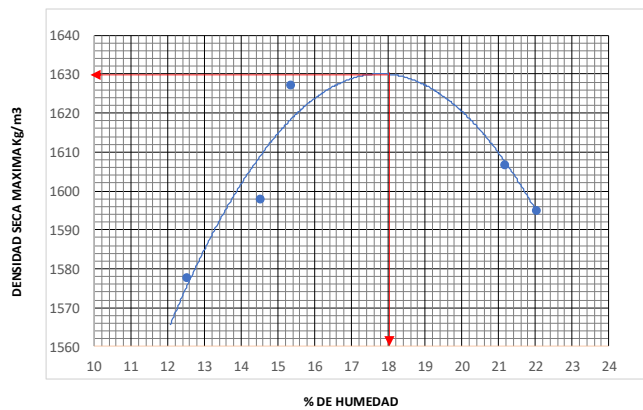
Trabajo de Integración Curricular	Análisis Estructural entre: Pavimento Flexible Tradicional, Geomalla Biaxial, Material Granular estabilizado con asfalto, para mejorar comportamiento mecánico, en Parroquia Manglaralto, Cantón y Provincia de Santa Elena	Muestra # :	TN
		Coordenadas	Norte: 9794257
			Este: 535238

PESO DEL CILINDRO (P7)	5328
VOLUMEN DEL CILINDRO (V)	2121,63
PESO DEL MARTILLO (Kg.)	4,54
ALTURA DE CAIDA DEL MARTILLO (cm.)	45,72
TIPO DE ENSAYO	Modificado
# DE CAPAS	5
# DE GOLPES POR CAPA	56

Modificado Metodo C;  
Porción que pasa en la malla No 3/4. Puede usarse si mas de 20% por peso del material es retenido en la malla de 9,5mm (3/8 pulg) y menos de 30% por peso es retenido en la malla de 19,00 mm (3/4 pulg).

#### DATOS DEL ENSAYO

PUNTO #	1		2		3		4		5		6	
	Grueso	Fino	Grueso	Fino	Grueso	Fino	Grueso	Fino	Grueso	Fino	Grueso	Fino
Material de ensayo	O		T		HD		C		K2			
RECIPIENTE #												
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA (P1)	97,28		94,33		92,10		100,98		123,78			
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	88,21		84,51		82,05		85,77		105,08			
MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)	9,07		9,82		10,05		15,21		18,70			
MASA DE RECIPIENTE (P4)	15,72		16,78		16,53		16,76		16,68			
MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)	72,49		67,73		65,52		69,01		88,40			
% DE HUMEDAD (W = P3 * 100 ÷ P5)	12,51		14,50		15,34		22,04		21,15			
% DE HUMEDAD PROMEDIO	12,51		14,50		15,34		22,04		21,15			
% DE HUEMEDAD AÑADIDA AL SUELO	TN		100		250		350		500			
MASA DE CILINDRO + SUELO HUMEDO (P6)	9094		9210		9310		9458		9458			
MASA DE SUELO HUMEDO (P8=P6-P7)	3766		3882		3982		4130		4130			
DENSIDAD HUMEDA DEL SUELO (Dh= P8 ÷ v)	1775		1830		1877		1947		1947			
DENSIDAD SECA DEL SUELO (Ds= Dh ÷ (1 + w ÷ 100))	1578		1598		1627		1595		1607			




RESULTADOS
Densidad Seca Máxima 1630 Kg./m <sup>3</sup>
% de Humedad Optima 18,0%

Laboratorista: Roger Magallanes	TUTOR: Ing. Daniel Campoverde	Fecha de toma de muestra : 26/12/2022	Fecha Ensayo: 29/12/2022
------------------------------------	----------------------------------	--	-----------------------------




# ANEXO 10.

## Proctor Modificado (Cantera Juan Montalvo).



**Universidad Estatal Península de Santa Elena**  
**Facultad de Ciencias de La Ingeniería**  
**Carrera de Ingeniería Civil**



**DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD DE SUELOS**

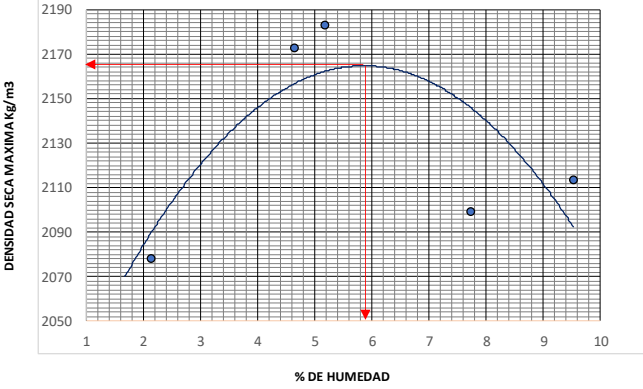
<b>Trabajo de Integración Curricular</b>	Análisis Estructural entre: Pavimento Flexible Convencional, Geomalla Biaxial, Material Granular estabilizado con asfalto, para mejorar comportamiento mecánico, en Parroquia Manglaralto, Cantón y Provincia de Santa Elena	<b>Muestra # :</b>	TN
		<b>Coordenadas</b>	<b>Norte:</b> 9747535
			<b>Este:</b> 534551

PESO DEL CILINDRO (P7)	5335
VOLUMEN DEL CILINDRO (V)	2160,64
PESO DEL MARTILLO (Kg.)	4,54
ALTURA DE CAIDA DEL MARTILLO (cm.)	45,72
TIPO DE ENSAYO	Modificado
# DE CAPAS	5
# DE GOLPES POR CAPA	56

Modificado Metodo C;  
 Porción que pasa en la malla No 3/4. Puede usarse si mas de 20% por peso del material es retenido en la malla de 9,5mm (3/8 pulg) y menos de 30% por peso es retenido en la malla de 19,00 mm (3/4 pulg).

**DATOS DEL ENSAYO**

PUNTO #	1		2		3		4		5		6	
	Material de ensayo		Grueso	Fino	Grueso	Fino	Grueso	Fino	Grueso	Fino	Grueso	Fino
RECIPIENTE #	HD		Z		41		R		K1			
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA (P1)	110,32		91,45		109,01		137,13		134,02			
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	108,37		88,12		104,48		128,48		123,84			
MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)	1,95		3,33		4,53		8,65		10,18			
MASA DE RECIPIENTE (P4)	16,53		16,42		16,92		16,47		16,93			
MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)	91,84		71,70		87,56		112,01		106,91			
% DE HUMEDAD (W = P3 * 100 ÷ P5)	2,12		4,64		5,17		7,72		9,52			
% DE HUMEDAD PROMEDIO	2,12		4,64		5,17		7,72		9,52			
% DE HUMEDAD AÑADIDA AL SUELO	TN		150		250		400		600			
MASA DE CILINDRO + SUELO HUMEDO (P6)	9920		10247		10296		10221		10337			
MASA DE SUELO HUMEDO (P8 = P6 - P7)	4585		4912		4961		4886		5002			
DENSIDAD HUMEDA DEL SUELO (Dh = P8 ÷ v)	2122		2273		2296		2261		2315			
DENSIDAD SECA DEL SUELO (Ds = Dh ÷ (1 + w ÷ 100))	2078		2173		2183		2099		2114			





**RESULTADOS**

Densidad Seca Máxima 2165 Kg./m3
% de Humedad Optima 5,83 %

Laboratorista:	TUTOR:	Fecha de toma de muestra :	Fecha Ensayo:
Roger Magallanes	Ing. Daniel Campoverde	21/04/2023	22/05/2023



**ANEXO 11.**

**CBR – DENSIDADES (Cantera Sitio Nuevo).**

		<b>Universidad Estatal Península de Santa Elena</b> <b>Facultad de Ciencias de La Ingeniería</b> <b>Carrera de Ingeniería Civil</b>							
<b>INFORME: C.B.R - DENSIDADES</b>									
<b>Trabajo de Integración Curricular</b>	Análisis Estructural entre: Pavimento Flexible Tradicional, Geomalla Biaxial, Material Granular estabilizado con asfalto, para mejorar comportamiento mecánico, en Parroquia Manglaralto, Cantón y Provincia de Santa Elena					<b>Muestra # :</b>	<b>TN</b>		
						<b>Coordenadas</b>	<b>Norte:</b>	9794257	
							<b>Este:</b>	535238	
<b>MOLDE Nº-</b>	<b>1</b>		<b>2</b>		<b>3</b>				
<b>PESO MOLDE</b>	7,014		7,088		6,856		<b>PESO DEL MARTILLO</b> 10 Lb		
<b>VOLUMEN MOLDE</b>	0,00321242		0,0032671		0,00324698		<b>ALTURA DEL MOLDE</b> 18 "		
<b>No DE GOLPES CAPA</b>	12		25		56				
<b>Nº de ensayo</b>		<b>1</b>		<b>2</b>		<b>3</b>			
<b>ANTES DE LA INMERSION</b>									
		12 Golpes de capa		25 Golpes de capa		56 Golpes de capa			
<b>HUMEDAD</b>	<b>Nº recipiente</b>	<b>2</b>		<b>S1</b>		<b>Y</b>			
	Wh + r	95,11		90,54		95,67			
	Ws + r	87,65		85,08		85,61			
	Ww	7,46		5,46		10,06			
	r	16,92		17,28		17,12			
	Ws	70,73		67,80		68,49			
	w (%)	10,55		8,05		14,69			
<b>MOLDE DE NUMERO</b>		<b>1</b>		<b>2</b>		<b>3</b>			
Molde + suelo humedo	P	12,502		12,568		12,821			
Molde		7,014		7,088		6,856			
Suelo humedo	W	5,488		5,480		5,965			
Suelo seco= 100w/(100+W)	Ws	4,964		5,072		5,201			
Contenido de agua	w	10,55		8,05		14,69			
Densidad humeda	H	1708		1677		1837			
Densidad seca	S	1545		1552		1602			
<b>DESPUES DE LA INMERSION</b>									
		ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO		
<b>HUMEDAD</b>	<b>Nº recipiente</b>	2	S1	A4	HD	K2	C		
	Wh + r	96,78	77,31	86,41	81,63	91,27	82,36		
	Ws + r	80,67	64,56	73,25	69,488	76,04	69,02		
	Ww	16,11	12,75	13,16	12,142	15,23	13,34		
	r	16,92	17,28	16,57	16,53	16,61	16,64		
	Ws	63,75	47,28	56,68	52,958	59,43	52,38		
	w (%)	25,27	26,97	23,22	22,93	25,63	25,47		
<b>Promedio w (%)</b>		26,12		23,07		25,55			
Molde + suelo humedo	P	12,750		12,978		12,964			
Molde		7,014		7,088		6,856			
Suelo humedo	W	5,74		5,89		6,108			
Suelo seco	Ws	4,548		4,786		4,865			
Contenido de agua	w	25,27		23,22		25,63			
Densidad humeda	H	1786		1803		1881			
Densidad seca	S	1416		1465		1498			
<b>HINCHAMIENTO</b>									
<b>Lectura inicial</b>		0,50		0,21		0,18			
24 horas		0,62		0,29		0,35			
48 horas		0,64		0,30		0,36			
72 horas		0,66		0,31		0,37			
96 horas									
<b>HINCHAMIENTO %</b>		3,5		2,2		4,2			
<b>CBR</b>		%							
Densidad seca		ys		1545		1552			
1602									
<b>Laboratorista:</b>		<b>Responsable:</b>		<b>Fecha de toma de muestra :</b>		<b>Fecha Ensayo:</b>			
Roger Magallanes		Ing. Daniel Campoverde		26/11/2022		05/12/2022			



**ANEXO 12.**

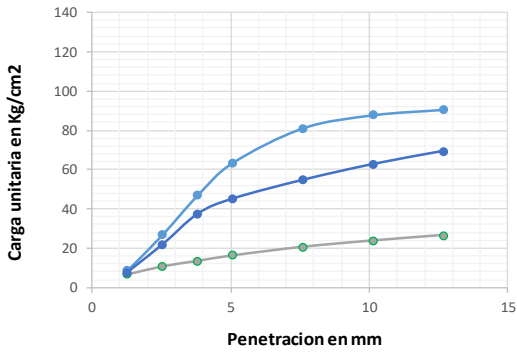
**CBR – DENSIDADES (Cantera Juan Montalvo).**

		<p><b>Universidad Estatal Península de Santa Elena</b>  <b>Facultad de Ciencias de La Ingeniería</b>  <b>Carrera de Ingeniería Civil</b></p>								
INFORME: C.B.R - DENSIDADES										
<b>Trabajo de Integración Curricular</b>	Análisis Estructural entre: Pavimento Flexible Convencional, Geomalla Biaxial, Material Granular estabilizado con asfalto, para mejorar comportamiento mecánico, en Parroquia Manglaralto, Cantón y Provincia de Santa Elena					<b>Muestra # :</b>		<b>TN</b>		
						<b>Coordenadas</b>		<b>Norte:</b>	9747535	
								<b>Este:</b>	534551	
<b>MOLDE N°-</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>							
<b>PESO MOLDE</b>	5,585	5,505	5,582	<b>PESO DEL MARTILLO</b>	10 Lb					
<b>VOLUMEN MOLDE</b>	0,00324683	0,00324501	0,00324546	<b>ALTURA DEL MOLDE</b>	18 "					
<b>No DE GOLPES CAPA</b>	12	25	56							
Nº de ensayo		1		2		3				
ANTES DE LA INMERSION										
		12 Golpes de capa		25 Golpes de capa		56 Golpes de capa				
<b>HUMEDAD</b>	Nº recipiente	<b>A4</b>		<b>V</b>		<b>F</b>				
	Wh + r	111,05		110,32		108,83				
	Ws + r	106,03		105,17		103,46				
	Ww	5,02		5,15		5,37				
	r	16,57		16,62		17,18				
	Ws	89,46		88,55		86,28				
		5,61		5,82		6,22				
<b>MOLDE DE NUMERO</b>		<b>7</b>		<b>8</b>		<b>9</b>				
<b>Molde + suelo humedo</b>	P	12,502		12,568		12,821				
<b>Molde</b>		5,585		5,505		5,582				
<b>Suelo humedo</b>	W	6,917		7,063		7,239				
<b>Suelo seco= 100w/(100+W)</b>	Ws	6,549		6,675		6,815				
<b>Contenido de agua</b>	w	5,61		5,82		6,22				
<b>Densidad humeda</b>	H	2130		2177		2231				
<b>Densidad seca</b>	S	2017		2057		2100				
DESPUES DE LA INMERSION										
<b>HUMEDAD</b>	Nº recipiente	<b>R</b>	<b>A4</b>	<b>30</b>	<b>2</b>	<b>JG</b>	<b>F</b>			
	Wh + r	96,33		112,87		98,21		109,82		
	Ws + r	91,08		105,28		92,91		102,06		
	Ww	5,25		7,59		5,3		7,76		
	r	16,94		16,57		16,85		16,92		
	Ws	74,14		88,71		76,06		85,14		
	w (%)	7,08		8,56		6,97		9,11		
	<b>Promedio w (%)</b>		7,82		8,04		8,97			
<b>Molde + suelo humedo</b>	P	12,750		12,802		12,964				
<b>Molde</b>		5,585		5,505		5,582				
<b>Suelo humedo</b>	W	7,17		7,297		7,382				
<b>Suelo seco</b>	Ws	6,645		6,754		6,775				
<b>Contenido de agua</b>	w	7,08		6,97		7,31				
<b>Densidad humeda</b>	H	2207		2249		2275				
<b>Densidad seca</b>	S	2047		2081		2087				
HINCHAMIENTO										
<b>Lectura inicial</b>		0,17		0,10		0,13				
<b>24 horas</b>		0,18		0,12		0,13				
<b>48 horas</b>		0,18		0,12		0,14				
<b>72 horas</b>		0,18		0,12		0,14				
<b>96 horas</b>										
<b>HINCHAMIENTO %</b>		0,2		0,4		0,2				
<b>CBR</b>	%									
<b>Densidad seca</b>	ys	2017		2057		2100				
<b>Laboratorista:</b>		<b>Responsable:</b>		<b>Fecha de toma de muestra :</b>		<b>Fecha Ensayo:</b>				
Roger Magallanes		Ing. Daniel Campoverde		21/04/2023		06/06/2023				

**ANEXO 13.**

**CBR – PENETRACIÓN (Cantera Sitio Nuevo).**

	<p><b>Universidad Estatal Península de Santa Elena</b>  <b>Facultad de Ciencias de La Ingeniería</b>  <b>Carrera de Ingeniería Civil</b></p>					
<b>TUTOR:</b>	Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, MS.c					
<b>AUTORES:</b>	Ángel Leonel Ramírez Alejandro Elsy Yelena Rojas Chele					
<b>C.B.R - PENETRACIÓN</b>						
<b>Trabajo de Integración Curricular</b>	Análisis Estructural entre: Pavimento Flexible Tradicional, Geomalla Biaxial, Material Granular estabilizado con asfalto, para mejorar comportamiento mecánico, en Parroquia Manglaralto, Cantón y Provincia de Santa Elena	<b>Muestra # :</b>	<b>TN</b>			
		<b>Coordenadas</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><b>Norte:</b></td> <td>9794257</td> </tr> <tr> <td><b>Este:</b></td> <td>535238</td> </tr> </table>	<b>Norte:</b>	9794257	<b>Este:</b>
<b>Norte:</b>	9794257					
<b>Este:</b>	535238					
<b>MOLDE N°-</b>	1	2	3			
<b>PESO MOLDE</b>	7,014	7,088	6,856	<b>PESO DEL MARTILLO:</b>	10 Lb	
<b>VOLUMEN MOLDE</b>	0,00321242	0,0032671	0,00324698	<b>ALTURA DEL MARTILLO:</b>	18 "	
<b>No DE GOLPES CAPA</b>	12	25	56			
<b>NUMERO DE ENSAYO</b>	1	2	3	1	2	3
Tamiz ASTM Abertura /Nº	<b>CARGA DE PENETRACION EN Lb</b>			<b>CARGA DE PENETRACION EN Kg</b>		
1,27 mm (0.05")	291,50	331,10	377,30	132,5	150,5	171,5
2,54 mm (0.10")	465,30	936,10	1156,10	211,5	425,5	525,5
3,81 mm (0.15")	584,10	1602,70	2013,44	265,5	728,5	915,2
5,08 mm (0.20")	702,90	1931,60	2719,20	319,5	878	1236
7,62 mm (0.30")	887,70	2340,80	3469,40	403,5	1064	1577,0
10,16 mm (0.40")	1024,10	2685,10	3751,00	465,5	1220,5	1705
12,70 mm (0.50")	1141,80	2971,10	3868,70	519,0	1350,5	1758,5
Tamiz ASTM Abertura /Nº	<b>CARGA DE PENETRACION EN Lb/pulg2</b>			<b>CARGA DE PENETRACION EN Kg/cm2</b>		
1,27 mm (0.05")	96,96	110,13	125,50	6,831	7,760	8,842
<b>2,54 mm (0.10")</b>	<b>154,77</b>	<b>311,38</b>	<b>384,56</b>	<b>10,905</b>	<b>21,938</b>	<b>27,094</b>
3,81 mm (0.15")	194,29	533,11	669,74	13,689	37,560	47,186
<b>5,08 mm (0.20")</b>	<b>233,81</b>	<b>642,51</b>	<b>904,49</b>	<b>16,473</b>	<b>45,268</b>	<b>63,726</b>
7,62 mm (0.30")	295,28	778,63	1154,04	20,804	54,858	81,307
10,16 mm (0.40")	340,65	893,15	1247,70	24,000	62,927	87,907
12,70 mm (0.50")	379,80	988,28	1286,86	26,759	69,629	90,665



Nº de Golpes	Esfuerzo de penetracion	
	0.10 pulg	0.20 pulg
12	10,905	16,473
25	21,938	45,268
56	27,094	63,726



  

C.B.R	%	
12	15,48	15,59
25	31,14	42,84
56	38,46	60,30

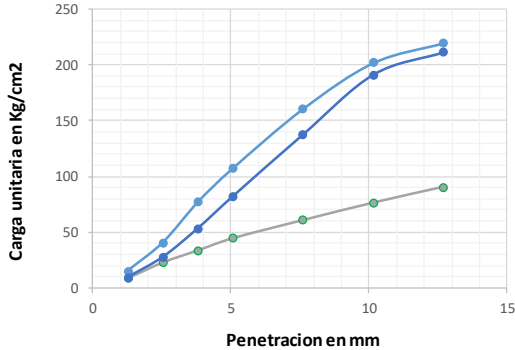
<b>Laboratorista:</b> Roger Magallanes	<b>Tutor:</b> Ing. Daniel Campoverde	<b>Fecha de toma de muestra:</b> 26/11/2022	<b>Fecha de ensayo:</b> 07/12/2022
---	---	--	---------------------------------------

**ANEXO 14.**

**CBR – PENETRACIÓN (Cantera Juan Montalvo).**

	<p><b>Universidad Estatal Península de Santa Elena</b>  <b>Facultad de Ciencias de La Ingeniería</b>  <b>Carrera de Ingeniería Civil</b></p>					
<b>TUTOR:</b>	Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, MS.c					
<b>AUTORES:</b>	Ángel Leonel Ramírez Alejandro Elsy Yelena Rojas Chele					
<b>C.B.R - PENETRACIÓN</b>						
<b>Trabajo de Integración Curricular</b>	Análisis Estructural entre: Pavimento Flexible Convencional, Geomalla Biaxial, Material Granular estabilizado con asfalto, para mejorar comportamiento mecánico, en Parroquia Manglaralto, Cantón y Provincia de Santa Elena	<b>Muestra # :</b>	<b>TN</b>			
		<b>Coordenadas</b>	<b>Norte:</b> 9747535			
			<b>Este:</b> 534551			
<b>MOLDE N°-</b>	7	8	9	<b>PESO DEL MARTILLO:</b>	10 Lb	
<b>PESO MOLDE</b>	5,585	5,505	5,582	<b>VOLUMEN MOLDE</b>	18 "	
<b>VOLUMEN MOLDE</b>	0,00324683	0,00324501	0,00324546	<b>ALTURA DEL MARTILLO:</b>		
<b>No DE GOLPES CAPA</b>	12	25	56			
<b>NUMERO DE ENSAYO</b>	1	2	3	1	2	3
Tamiz ASTM Abertura /Nº	<b>CARGA DE PENETRACION EN Lb</b>			<b>CARGA DE PENETRACION EN Kg</b>		
1,27 mm (0.05")	359,70	403,70	651,20	163,5	183,5	296
2,54 mm (0.10")	966,90	1182,50	1740,20	439,5	537,5	791
3,81 mm (0.15")	1432,20	2284,70	3292,30	651	1038,5	1496,5
5,08 mm (0.20")	1898,60	3515,60	4588,10	863	1598	2085,5
7,62 mm (0.30")	2594,90	5885,00	6863,78	1179,5	2675,0	3119,9
10,16 mm (0.40")	3262,60	8173,44	8622,90	1483	3715,2	3919,5
12,70 mm (0.50")	3869,80	9025,50	9381,90	1759,0	4102,5	4264,5
Tamiz ASTM Abertura /Nº	<b>CARGA DE PENETRACION EN Lb/pulg2</b>			<b>CARGA DE PENETRACION EN Kg/cm2</b>		
1,27 mm (0.05")	119,65	134,28	216,61	8,430	9,461	15,261
<b>2,54 mm (0.10")</b>	<b>321,62</b>	<b>393,34</b>	<b>578,85</b>	<b>22,660</b>	<b>27,713</b>	<b>40,783</b>
3,81 mm (0.15")	476,40	759,97	1095,13	33,564	53,543	77,157
<b>5,08 mm (0.20")</b>	<b>631,54</b>	<b>1169,40</b>	<b>1526,15</b>	<b>44,495</b>	<b>82,390</b>	<b>107,525</b>
7,62 mm (0.30")	863,15	1957,54	2283,12	60,813	137,918	160,856
10,16 mm (0.40")	1085,25	2718,75	2868,26	76,461	191,549	202,082
12,70 mm (0.50")	1287,22	3002,18	3120,73	90,691	211,517	219,870



Nº de Golpes	Esfuerzo de penetracion	
	0.10 pulg	0.20 pulg
12	22,660	44,495
25	27,713	82,390
56	40,783	107,525



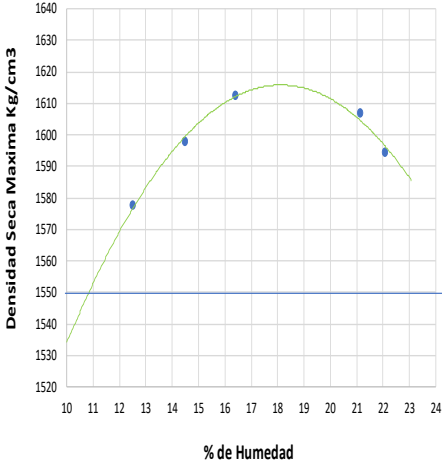
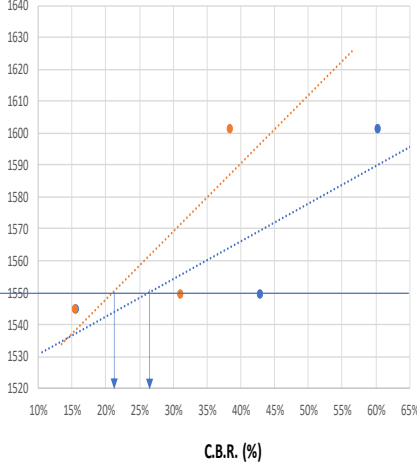
C.B.R	%	
12	32,16	42,10
25	39,34	77,96
56	57,89	101,75

<b>Laboratorista:</b> Roger Magallanes	<b>Tutor:</b> Ing. Daniel Campoverde	<b>Fecha de toma de muestra:</b> 21/04/2023	<b>Fecha de ensayo:</b> 09/06/2023
---	---	--	---------------------------------------



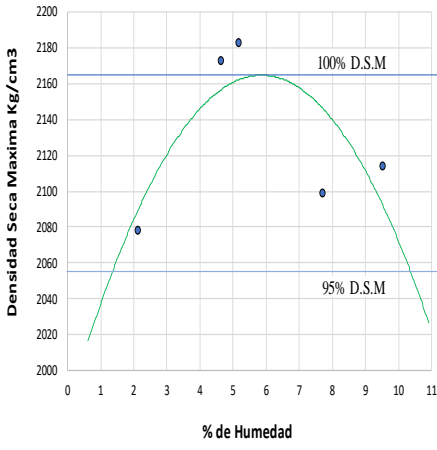
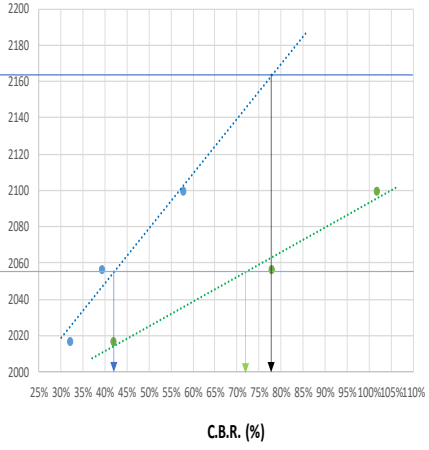
**ANEXO 15.**

**RELACIÓN DE GRÁFICOS DE PROCTOR Y CBR (Cantera Sitio Nuevo).**

	<p><b>Universidad Estatal Península de Santa Elena</b>  <b>Facultad de Ciencias de La Ingeniería</b>  <b>Carrera de Ingeniería Civil</b></p>							
<b>TUTOR:</b>	Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, MS.c							
<b>AUTORES:</b>	Ángel Leonel Ramírez Alejandro Elsy Yelena Rojas Chele							
RELACION DE GRAFICO DE PROCTOR Y CBR								
<b>Trabajo de Integración Curricular</b>	Análisis Estructural entre: Pavimento Flexible Tradicional, Geonalla Biaxial, Material Granular estabilizado con asfalto, para mejorar comportamiento mecánico, en Parroquia Manglaralto, Cantón y Provincia de Santa Elena	<b>Muestra # :</b>	TN					
		<b>Coordenadas</b>	<b>Norte:</b>	9794257				
			<b>Este:</b>	535238				
								
<p><b>Densidad seca Max =</b> 1630 Kg/m3  <b>Humedad optima =</b> 18 %  <b>95 % Densidad seca Max =</b> 1549 Kg/m3</p>		<p><b>CBR para 0,10"</b> 22,0 %  <b>CBR para 0,20"</b> 26,0 %</p>						
Nº Golpes / capa	Densidad Kg/ m3	Carga Unitaria Kg/m2		Carga Unitaria Patron Kg/m2		C.B.R %		Expansión %
		0,10"	0,20"	0,10"	0,20"	0,10"	0,20"	
12	1545	10,905	16,473	70,45	105,68	15,48	15,59	3,5
25	1552	21,938	45,268	70,45	105,68	31,14	42,84	2,2
56	1602	27,094	63,726	70,45	105,68	38,46	60,30	4,2
<b>LABORATORISTA :</b>		<b>RESPONSABLE:</b>		<b>Fecha de toma de muestra:</b>		<b>Fecha Ensayo:</b>		
Roger Magallanes		Ing. Daniel Campoverde		26/11/2022		7/12/2022		



**ANEXO 16.**

**RELACIÓN DE GRÁFICOS DE PROCTOR Y CBR (Cantera Juan Montalvo).**

	<p><b>Universidad Estatal Península de Santa Elena</b>  <b>Facultad de Ciencias de La Ingeniería</b>  <b>Carrera de Ingeniería Civil</b></p>																																																	
<b>TUTOR:</b> Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, MS.c																																																		
<b>AUTORES:</b> Ángel Leonel Ramírez Alejandro Elsy Yelena Rojas Chele																																																		
RELACION DE GRÁFICO DE PROCTOR Y CBR																																																		
<b>Trabajo de Integración Curricular</b>	Análisis Estructural entre: Pavimento Flexible Convencional, Geomalla Biaxial, Material Granular estabilizado con asfalto, para mejorar comportamiento mecánico, en Parroquia Manglaralto, Cantón y Provincia de Santa Elena	<b>Muestra # :</b>	TN																																															
		<b>Coordenadas</b>	<b>Norte:</b> 9747535																																															
			<b>Este:</b> 534551																																															
																																																		
<p> <b>Densidad seca Max =</b> 2165 Kg/m3  <b>Humedad optima =</b> 5,83 %  <b>95 % Densidad seca Max =</b> 2057 Kg/m3                 </p>		<p> <b>95% D.S.M</b>                      CBR para 0,10" : 42,5 %                      CBR para 0,20" : 73,5 %                 </p> <p> <b>100% D.S.M</b>                      CBR para 0,10" : 77,5 %                 </p>																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Nº Golpes / capa</th> <th rowspan="2">Densidad Kg/ m3</th> <th colspan="2">Carga Unitaria Kg/m2</th> <th colspan="2">Carga Unitaria Patron Kg/m2</th> <th colspan="2">C.B.R %</th> <th rowspan="2">Expansión %</th> </tr> <tr> <th>0,10"</th> <th>0,20"</th> <th>0,10"</th> <th>0,20"</th> <th>0,10"</th> <th>0,20"</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>12</td> <td>2017</td> <td>22,660</td> <td>44,495</td> <td>70,45</td> <td>105,68</td> <td>32,16</td> <td>42,10</td> <td>0,2</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>2057</td> <td>27,713</td> <td>82,390</td> <td>70,45</td> <td>105,68</td> <td>39,34</td> <td>77,96</td> <td>0,4</td> </tr> <tr> <td>56</td> <td>2100</td> <td>40,783</td> <td>107,525</td> <td>70,45</td> <td>105,68</td> <td>57,89</td> <td>101,75</td> <td>0,2</td> </tr> </tbody> </table>									Nº Golpes / capa	Densidad Kg/ m3	Carga Unitaria Kg/m2		Carga Unitaria Patron Kg/m2		C.B.R %		Expansión %	0,10"	0,20"	0,10"	0,20"	0,10"	0,20"	12	2017	22,660	44,495	70,45	105,68	32,16	42,10	0,2	25	2057	27,713	82,390	70,45	105,68	39,34	77,96	0,4	56	2100	40,783	107,525	70,45	105,68	57,89	101,75	0,2
Nº Golpes / capa	Densidad Kg/ m3	Carga Unitaria Kg/m2		Carga Unitaria Patron Kg/m2		C.B.R %		Expansión %																																										
		0,10"	0,20"	0,10"	0,20"	0,10"	0,20"																																											
12	2017	22,660	44,495	70,45	105,68	32,16	42,10	0,2																																										
25	2057	27,713	82,390	70,45	105,68	39,34	77,96	0,4																																										
56	2100	40,783	107,525	70,45	105,68	57,89	101,75	0,2																																										
<b>LABORATORISTA :</b> Roger Magallanes		<b>RESPONSABLE:</b> Ing. Daniel Campoverde		<b>Fecha de toma de muestra:</b> 21/4/2023		<b>Fecha Ensayo:</b> 9/6/2023																																												

## ANEXO 17.

### ENSAYO RICE. (Material Granular estabilizado con Asfalto)

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL																																															
<b>TEMA:</b> "ANÁLISIS ESTRUCTURAL ENTRE: PAVIMENTO FLEXIBLE CONVENCIONAL, GEOMALLA BIAxIAL Y MATERIAL GRANULAR ESTABILIZADO CON ASFALTO EN PARROQUIA MANGLARALTO, CANTÓN Y PROVINCIA DE SANTA ELENA"																																																
<b>TUTOR:</b> ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE	<b>AUTORES:</b> RAMIREZ ALEJANDRO ANGEL LEONEL ROJAS CHELE ELSY YELENA																																															
<b>INFORME DE ENSAYO RICE PARA MEZCLA DE MATERIAL GRANULAR ESTABILIZADO CON ASFALTO</b>																																																
<b>NORMA ASTM D 2041 - AASHTO T 209</b>																																																
<p><b>Nomenclatura:</b></p> <p><b>G<sub>mm</sub>:</b> Gravedad Especifica teórica máxima.  <b>A:</b> Peso en aire de la Mezcla secada al horno, gr.  <b>B:</b> Peso del Picnómetro de vacío lleno de agua a 25 °C, gr.  <b>C:</b> Peso del Picnómetro de vacío lleno de agua y Mezcla Asfáltica a 25 °C, gr.</p> <p><b>Ecuación:</b></p> $G_{mm} = \frac{A}{A + B - C}$ <p><b>Cálculos:</b></p> <table border="1" data-bbox="576 1133 1102 1585"> <thead> <tr> <th rowspan="2">% Asfalto</th> <th colspan="2">Datos</th> <th rowspan="2">RESULTADOS</th> </tr> <tr> <th>Nomen</th> <th>Cantidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">3%</td> <td>A</td> <td>300</td> <td rowspan="3">2,400 gr/cm<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>7409</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>7584</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">3,5%</td> <td>A</td> <td>300</td> <td rowspan="3">2,381 gr/cm<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>7409</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>7583</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">4%</td> <td>A</td> <td>300</td> <td rowspan="3">2,344 gr/cm<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>7409</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>7581</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">4,5%</td> <td>A</td> <td>300</td> <td rowspan="3">2,273 gr/cm<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>7409</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>7577</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">5%</td> <td>A</td> <td>300</td> <td rowspan="3">2,174 gr/cm<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>7409</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>7571</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Nota:</b> Los ensayos se realizaron a una temperatura de 25 °C.</p>			% Asfalto	Datos		RESULTADOS	Nomen	Cantidad	3%	A	300	2,400 gr/cm <sup>3</sup>	B	7409	C	7584	3,5%	A	300	2,381 gr/cm <sup>3</sup>	B	7409	C	7583	4%	A	300	2,344 gr/cm <sup>3</sup>	B	7409	C	7581	4,5%	A	300	2,273 gr/cm <sup>3</sup>	B	7409	C	7577	5%	A	300	2,174 gr/cm <sup>3</sup>	B	7409	C	7571
% Asfalto	Datos			RESULTADOS																																												
	Nomen	Cantidad																																														
3%	A	300	2,400 gr/cm <sup>3</sup>																																													
	B	7409																																														
	C	7584																																														
3,5%	A	300	2,381 gr/cm <sup>3</sup>																																													
	B	7409																																														
	C	7583																																														
4%	A	300	2,344 gr/cm <sup>3</sup>																																													
	B	7409																																														
	C	7581																																														
4,5%	A	300	2,273 gr/cm <sup>3</sup>																																													
	B	7409																																														
	C	7577																																														
5%	A	300	2,174 gr/cm <sup>3</sup>																																													
	B	7409																																														
	C	7571																																														
<b>Analizado y calculado por:</b> Ramirez Alejandro Angel Leonel Rojas Chele Ely Yelena		<b>Revisado por:</b> Ing. Daniel Campoverde Campoverde, Msc.																																														