



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

Características físicas - mecánicas - hidráulicas del pavimento flexible del corredor vial Cebadas  
- Atillo con ensayos in situ utilizando equipos eléctricos

**Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil**

**Autor**

Patín Patín, Edgar Vinicio

**Tutor**

Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza, Mgs

**Riobamba, Ecuador. 2025**

## DERECHOS DE AUTORÍA

Yo, **EDGAR VINICIO PATIN PATIN**, con cédula de ciudadanía **0202511044**, autor del trabajo de investigación titulado: **“Características físicas - mecánicas - hidráulicas del pavimento flexible del corredor vial Cebadas - Atillo con ensayos IN SITU utilizando equipos eléctricos”**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, a los 11 días de julio de 2025.



Edgar Vinicio Patín Patín

C.I: 0202511044

## DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “**Características físicas - mecánicas - hidráulicas del pavimento flexible del corredor vial Cebadas - Atillo con ensayos IN SITU utilizando equipos eléctricos**”, por **Patín Patín Edgar Vinicio**, con cédula de identidad número 0202511044, certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a los 11 días de julio de 2025.

Ing. Diego Barahona, Mgs.  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO**



---

Ing. Jorge Núñez, Mgs.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



---

Ing. Ángel Paredes, Mgs.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



---

Ing. Vladimir Pazmiño, Mgs.  
**TUTOR**



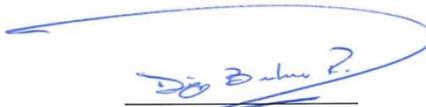
---

## CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS - MECÁNICAS - HIDRÁULICAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DEL CORREDOR VIAL CEBADAS - ATILLO CON ENSAYOS IN SITU UTILIZANDO EQUIPOS ELÉCTRICOS**”, presentado por **Patín Patín Edgar Vinicio**, con cédula de identidad número **0202511044**, bajo la tutoría del **Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluisa Mgs.**; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a los 11 días de julio de 2025.

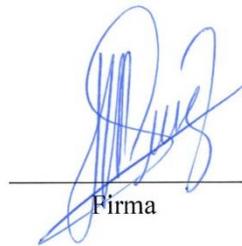
Ing. Diego Barahona, Mgs.  
Presidente del Tribunal de Grado



---

Firma

Ing. Jorge Núñez, Mgs.  
Miembro del Tribunal de Grado



---

Firma

Ing. Ángel Paredes, Mgs.  
Miembro del Tribunal de Grado



---

Firma



Dirección  
Académica  
VICERRECTORADO ACADÉMICO



UNACH-RGF-01-04-02.20  
VERSIÓN 02: 06-09-2021

# CERTIFICACIÓN

Que, **PATIN PATIN EDGAR VINICIO** con CC: **0202511044**, estudiante de la Carrera de **INGENIERÍA CIVIL, NO VIGENTE**, Facultad de Ingeniería; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS - MECÁNICAS - HIDRÁULICAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DEL CORREDOR VIAL CEBADAS - ATILLO CON ENSAYOS IN SITU UTILIZANDO EQUIPOS ELÉCTRICOS**", cumple con el 6 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **COMPILATIO** porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente, autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 22 de mayo de 2025



Ing. Vladimir Pazmiño, Mgs.  
**TUTOR(A) TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de culminación de etapa de pregrado a aquellos que estuvieron apoyándome, generando, alentando y rememorando incontables ocasiones el compromiso y capacidad hacia el objetivo académico planteado. Lo dedico a mi queridísimo hijo, a quien le debo la tenacidad y resiliencia para sobreponerme a las adversidades económicas y humanas, que este trabajo de investigación el cual representa años de esfuerzo algún día sirva de motivación para sus ideales. Finalmente, dedico este trabajo y la carrera entera a mis padres que, aunque ya no se encuentran a mi lado, fueron quienes sentaron el entusiasmo, deseo, anhelo, impulso y empeño a lo largo de este trayecto académico para alcanzar la meta de ser profesional de la República del Ecuador.

**Patín Patín Edgar Vinicio**

## **AGRADECIMIENTO**

Primero ante todo, quisiera agradecer a mis padres y hermanos que siempre estuvieron incondicionalmente apoyándome para lograr el objetivo del cual me siento orgulloso y que siempre quise ser, agradezco también a la institución por brindarme la oportunidad de recibirme y formarme, siempre con conocimiento nuevo y reforzante; agradezco a mi tutor de tesis que pacientemente emitía y transmitía sus conocimientos a través de las directrices que siempre me parecían oportunas para encaminar este objetivo, por último, deseo agradecer a todos quienes me brindaron trabajo desde primer semestre, cuyo redito fue invertido en la carrera y hoy me permite ser “Ingeniero Civil”.

**Patín Patín Edgar Vinicio**

# ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

INDICE DE ANEXOS

RESUMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....	18
1.1 Antecedentes.....	18
1.2 Planteamiento del Problema .....	19
1.3 Justificación del Problema.....	19
1.4 Objetivos.....	20
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	21
2.1 Aspecto General .....	21
2.1.1 Pavimento Flexible.....	21
2.1.2 Estructura de un Pavimento Flexible .....	21
2.1.3 Capas Granulares.....	21
2.1.4 Subrasante .....	22

2.1.5 Subbase.....	22
2.1.6 Base. ....	22
2.1.7 Carpeta de Rodadura .....	22
2.2 Caracterización del Terreno Natural de la Zona Estudio .....	23
2.3 Propiedades Físicas de Pavimento flexible .....	24
2.3.1 Espesor .....	24
2.3.2 Granulometría.....	24
2.3.3 Límites de Atterberg.....	25
2.3.4 Clasificación de Suelos .....	25
2.3.5 Clasificación de los Suelos Según la SUCS.....	25
2.3.6 Sistema de Clasificación AASHTO .....	27
2.3.7 Densidad.....	27
2.3.8 Grado de Compactación .....	28
2.3.9 Macrotextura del Pavimento .....	28
2.4 Propiedades Mecánicas del Pavimento Flexible .....	30
2.4.1 Módulo de Young.....	30
2.4.2 Estimación de CBR .....	30
2.5 Propiedades Hidráulicas Pavimento Flexible .....	32
2.5.1 Permeabilidad.....	32
2.5.2 Superficie Saturada Seca.....	32
2.5.3 Escorrentía.....	33
2.6 Equipos Eléctricos .....	33
2.6.1 GEOGAUGE.....	33
2.6.2 Densímetro Eléctrico EDG.....	33
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA .....	34

3.1 Tipo de Investigación.....	35
3.2 Diseño de Investigación.....	35
3.3 Población de Estudio y Tamaño de Muestra .....	35
3.3.1 Población de Estudio.....	35
3.3.2 Muestra.....	35
3.3.3 Tipos de Muestra.....	35
3.3.4 Tamaño de la Muestra.....	35
3.4 Criterio de Evaluación .....	35
3.5 Técnicas de Recolección de Datos .....	36
3.6 Procesamiento de Datos.....	36
3.6.1 Ensayos de Laboratorio.....	36
3.6.1.1 Granulometría .....	36
3.6.1.2 Límites de Atterberg .....	36
3.6.1.3 Proctor Modificado .....	36
3.6.1.4 Densidad Relativa y Absorción de Materiales Granulares .....	37
3.6.2 Ensayos in Situ .....	37
3.6.2.1 Densidad in Situ – Método del Cono Arena .....	37
3.6.2.2 Densidad in Situ – Método Densímetro Eléctrico (EDG) .....	37
3.6.2.3 Densidad in Situ – Método GEOGAUGE H-4140 Humboldt.....	38
3.6.2.4 Circulo de Arena in Situ .....	39
3.6.2.5 Infiltración y Escurrimiento (Método de doble anillo – UNACH 2025).....	40
3.6.2.6 Grado Compactación .....	40
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	41
4.1 Ensayos de Laboratorio – Características Físicas.....	41
4.1.1 Características Geológicas .....	41

4.1.2 Granulometría.....	41
4.1.3 Límite Líquido, Plástico e Índice de Plasticidad.....	46
4.1.4 Densidad y Absorción.....	50
4.1.5 Cono de Arena.....	50
4.1.6 Ensayo Proctor Modificado.....	52
4.1.7 Ensayo Proctor Normal.....	52
4.1.8 Grado de Compactación.....	55
4.2 Ensayos con Equipo Eléctrico – Características Físicas.....	56
4.2.1 Densímetro Eléctrico EDG.....	56
4.3 Ensayos de Laboratorio – Características Mecánicas.....	58
4.3.1 Mancha de Arena.....	58
4.4 Ensayos con Equipo Eléctrico – Características Mecánicas.....	59
4.4.1 GeoGauge.....	59
4.5 Propiedades Hidráulicas del Pavimento Flexible.....	62
4.6 Discusión.....	67
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>72</b>
5.1 Conclusiones.....	72
5.2 Recomendaciones.....	73
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>74</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>78</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Clasificación de las Irregularidades superficiales de un pavimento</i>	29
Tabla 2	<i>Caracterización y Formación Geológica de Lugar de Estudio</i>	41
Tabla 3	<i>Granulometría de Base</i>	44
Tabla 4	<i>Porción de Agregado (Base)</i>	45
Tabla 5	<i>Granulometría de Sub Rasante</i>	45
Tabla 6	<i>Porción de Agregado (Sub Rasante)</i>	46
Tabla 7	<i>Parámetros por Contenido de Humedad - Subrasante</i>	47
Tabla 8	<i>Parámetros por Contenido de Humedad - Base</i>	47
Tabla 9	<i>Densidad y Absorción (Base)</i>	50
Tabla 10.	<i>Densidad Seca IN-SITU (Base)</i>	51
Tabla 11	<i>Densidad Seca IN-SITU (Rasante)</i>	51
Tabla 12	<i>Resultados Ensayo Proctor Modificado</i>	52
Tabla 13	<i>Resultados Ensayo Proctor Normal</i>	53
Tabla 14	<i>Grado de Compactación – Base (Cono de Arena)</i>	55
Tabla 15	<i>Grado de Compactación – Rasante (Cono de Arena)</i>	56
Tabla 16	<i>Comparativa de Metodología Manual vs Equipo Eléctrico (Base)</i>	56
Tabla 17	<i>Comparativa de Metodología Manual vs Equipo Eléctrico (Subrasante)</i>	57
Tabla 18	<i>Ensayo del Círculo de Arena</i>	59
Tabla 19	<i>Módulo de Young</i>	60
Tabla 20	<i>Módulo de Rigidez</i>	60
Tabla 21	<i>Características Mecánicas</i>	61

Tabla 22	<i>Ensayo de Infiltrómetro de Doble Anillo</i> .....	62
Tabla 23	<i>Valores de Infiltración</i> .....	63
Tabla 24	<i>Coefficiente Mínimo y Máximo de Escurrimiento</i> .....	64
Tabla 25	<i>Comparativa de Condiciones Granulométricas en Subrasante</i> .....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Estructura de un Pavimento Flexible</i> .....	21
Figura 2	<i>Mapa Geográfico de Caracterización del Suelo (Corredor vial Cebadas–Atillo)</i> .....	23
Figura 3	<i>Formación Geológica – Tramo de Estudio</i> .....	24
Figura 4	<i>Clasificación de Suelos Según S.U.C.S.</i> .....	26
Figura 5	<i>Sistema de Clasificación AASHTO</i> .....	27
Figura 6	<i>Microtextura vs Macrotextura</i> .....	29
Figura 7	<i>Fenómenos de Interacción Vehículo – Pavimento</i> .....	30
Figura 8	<i>Esquema Metodológico de Investigación</i> .....	34
Figura 9	<i>Esquema del equipo de densidad in situ</i> .....	37
Figura 10	<i>Colocación del equipo GeoGuaGe</i> .....	38
Figura 11	<i>Mancha de Arena</i> .....	39
Figura 12	<i>Infiltrómetro</i> .....	40
Figura 13	<i>Muestras en Capas de Pavimento Flexible</i> .....	42
Figura 14	<i>Curva Granulométrica – Base</i> .....	43
Figura 15	<i>Curva Granulométrica –Subrasante</i> .....	43
Figura 16	<i>Limite Liquido – Sub Rasante</i> .....	48

Figura 17	<i>Limite Liquido – Base</i> .....	48
Figura 18	<i>Carta de Plasticidad Subrasante, Muestra 4 y Muestra 5</i> .....	49
Figura 19.	<i>Curvas de Compactación de la Base</i> .....	54
Figura 20	<i>Curvas de Compactación de la Subrasante</i> .....	54
Figura 21.	<i>Equipo Manual vs Eléctrico (Base)</i> .....	57
Figura 22	<i>Equipo Manual vs Eléctrico (Subrasante)</i> .....	58
Figura 23	<i>CBR en Zona de Estudio</i> .....	62
Figura 24	<i>Curvas de Infiltración – Pavimento en Buenas Condiciones</i> .....	65
Figura 25.	<i>Curvas de Infiltración</i> .....	65
Figura 26	<i>Curvas de Infiltración – Pavimento en Malas Condiciones</i> .....	65
Figura 27	<i>Coefficientes de Escorrentía por Muestra</i> .....	66
Figura 28	<i>Promedio de Coeficiente de Escurrimiento vs Umbrales Normativos</i> .....	67
Figura 29	<i>Módulo de Young – Equipo Eléctrico (Geogauge)</i> .....	68
Figura 30.	<i>Módulo de Rigidez – Equipo Eléctrico (Geogauge)</i> .....	68
Figura 31	<i>Coeficiente de Escurrimiento - Comparación</i> .....	70
Figura 32	<i>Grado de Compactación - Comparación</i> .....	70

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. <i>Análisis granulométrico por tamizado</i> .....	78
Anexo 2. <i>Ensayo de cono de arena IN SITU</i> .....	78
Anexo 3. <i>Ensayo límite plástico</i> .....	78
Anexo 4. <i>Copa de casa grande, Ensayo de limite liquido</i> .....	78
Anexo 5. <i>Ensayo IN SITU GeoGauge</i> .....	78
Anexo 6. <i>Ensayo Proctor Modificado, compactación</i> .....	78
Anexo 7. <i>Macrotextura de pavimento flexible</i> .....	79
Anexo 8. <i>Ensayo IN SITU Decímetro eléctrico</i> .....	79
Anexo 9. <i>Ensayo IN SITU Infiltrómetro de doble anillo</i> .....	79
Anexo 10. <i>Método cono de arena IN SITU</i> .....	80
Anexo 11. <i>Límites de Atterberg (Muestra 1) Tipo - Subrasante</i> .....	81
Anexo 12. <i>Resultados de Proctor Modificado (Muestra 1) Tipo - Base</i> .....	82
Anexo 13. <i>Resultados de Proctor Normal (Muestra 1) Tipo - Subrasante</i> .....	83
Anexo 14. <i>Extracción de Parámetros de Compactación y Humedad – EDG (Base)</i> .....	84
Anexo 15. <i>Resultados del Infiltrómetro (Muestra 1)</i> .....	85

## RESUMEN

El estado de un pavimento contempla variables físicas y mecánicas con las que fue construido o que ha desarrollado acorde a su ubicación, la evaluación de aquellas características fue definida por equipos eléctricos y mecánicos que determinaron objetivamente su nivel de infiltración, que a su vez está ligada a la macrotextura de su superficie (Mendoza, 2020).

Los ensayos in situ como Mancha de Arena permitió definir la textura de la superficie, siendo importante y relacionando el nivel de infiltración. También, mediante la utilización de equipos eléctricos actuales se determinó el módulo de rigidez de las capas de pavimento evaluadas, lo cual mediante la aplicabilidad de ecuaciones de correlación se logró probar cuantitativamente la baja capacidad de soporte (CBR) en las capas de Base y Subbase (Arévalo & Maila, 2025).

Los pavimentos experimentan un deterioro por una disposición no adecuada de los áridos, desembocando en infiltraciones mayores o severas, esta característica hidráulica de igual manera se la cuantifico con la aplicabilidad de un equipo mecánico como lo es el Infiltrómetro de doble anillo, certificando una infiltración promedio en términos de porcentaje de 11.33.

La relación de las características geológicas, físicas y mecánicas dictan un bajo nivel de condicionamiento del pavimento estudiado.

**Palabras claves:** Compactación, Densidad, Densímetro, Pavimento, Subrasante.

## ABSTRACT

The condition of a pavement includes physical and mechanical variables that were present during its construction or that have developed over time due to its location. The evaluation of these characteristics was carried out using electrical and mechanical equipment, which objectively determined its infiltration level—a factor linked to the macrotexture of the surface (Mendoza, 2020).

In situ tests, such as the Sand Patch test, allowed for the assessment of surface texture, an important parameter that correlates with infiltration level. Additionally, modern electrical equipment was used to determine the stiffness modulus of the evaluated pavement layers. Using correlation equations, a low bearing capacity (CBR) of the base and subbase layers was quantitatively confirmed (Arévalo & Maila, 2025).

Pavement deterioration is often caused by improper aggregate placement, which leads to increased or severe infiltration. This hydraulic characteristic was also quantified using mechanical equipment, such as the double-ring infiltrometer, which measured an average infiltration rate of 11.33%.

The relationship among geological, physical, and mechanical characteristics indicates a low level of conditioning in the studied pavement.

**Keywords:** Compaction, Density, Densitometer, Pavement, Subgrade.



Mario Nicolas Salazar  
Ramos



---

Revised by  
Mario N. Salazar

# CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Antecedentes

A nivel global los caminos son pavimentados utilizando varias tipologías, entre las cuales la de clase flexible es una de las más aplicadas para soluciones viales que se desarrollan en diferentes relieves topográficos, en climas variados y con aplicación de cargas vehiculares que responden a tránsitos livianos y pesados (Padilla, 2018).

En Ecuador la mayoría de los corredores viales son de gran importancia para el desarrollo económico y social, ya que facilitan la conectividad entre ciudades, estimulan el comercio y el turismo, y mejoran la calidad de vida de los ciudadanos. En este sentido, el pavimento flexible ha sido una opción recurrente para el diseño y construcción de carreteras, calles y caminos a lo largo del territorio ecuatoriano.

Los pavimentos flexibles según la definición de la Norma Ecuatoriana vial (NEVI-12) son una combinación de capas de subbase, base y de superficie de rodadura colocadas sobre una subrasante, para soportar los esfuerzos verticales (López & Paredes, 2020).

Las características físicas del pavimento flexible se refieren a las propiedades y atributos relacionados con su apariencia, textura, resistencia y comportamiento bajo diferentes condiciones. Algunas de las características físicas más importantes del pavimento incluyen, absorción, distribución granulométrica de capas, densidad (Jiménez & Aucapiña, 2024).

Las características mecánicas del pavimento que determinan su capacidad para soportar las cargas del tráfico y mantener su funcionalidad y estabilidad a lo largo del tiempo. Estas propiedades son fundamentales para garantizar la durabilidad y seguridad de las vías y otras superficies pavimentadas. Algunas de las características mecánicas más importantes del pavimento son: resistencia, módulo de Young (Ccosi, 2024).

Hidráulicamente el pavimento responde al drenaje provocado por la precipitación, esta característica se relaciona con las propiedades físicas – mecánicas en diferentes niveles.

Hay equipos para evaluar las diferentes características físicas - mecánicas de los pavimentos, se pueden utilizar equipos eléctricos para determinar propiedades como son la densidad y la rigidez de las capas, estos dispositivos son una herramienta útil para el control de calidad y el monitoreo de la construcción de pavimentos, del corredor vial Cebadas – Altillo (Alvear & Piñas, 2024).

Para medir las propiedades anteriores mencionadas se puede utilizar métodos en laboratorio y de campo aplicando equipos eléctricos.

## **1.2 Planteamiento del Problema**

En la actualidad, en el corredor E-46 Cebadas – Atillo que conecta la región sierra y amazonia se observa el pavimento expuesto a diferentes condiciones climáticas y cargas de tráfico, con envejecimiento natural y posibles daños estructurales. Identificando con frecuencia las fallas: como piel de cocodrilo, ahuellamientos, fisuras, entre otros (Pérez, 2023).

La vida útil del pavimento flexible se deteriora a lo largo del tiempo, esto se evidencia en el incremento de las fallas que se presentan en la superficie, situación que influye en la variación de las características físicas y mecánicas de las capas que constituyen la estructura del pavimento, las cuales pueden verse reducidas por el efecto del flujo de agua que ingresa al interior de la estructura del pavimento (Llauce, 2019).

La carretera en mención está sometida a precipitaciones propias de la cordillera oriental y el agua que entra en contacto con la calzada encuentra en los deterioros superficiales un medio de infiltración que cambia las condiciones de escurrimiento consideradas en la etapa inicial del diseño del camino (Díaz, 2018). La falta en la consideración de un adecuado factor de escurrimiento en infraestructuras viales puede derivar en dimensionamientos errados para los sistemas de drenaje.

Considerando que los coeficientes que se toman en cuenta para cuantificar el escurrimiento. Corresponde a la norma Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (IEOS) y refieren a la década de los noventa, numéricamente con amplios rangos de valores que oscilan entre un treinta y cinco a noventa por ciento. Se plantea el estudio de medición de las propiedades hidráulicas y físico mecánicas del pavimento con objeto de actualizar la información vigente que está disponible en la normativa, planteando la siguiente interrogante: ¿En qué medida las características físicas y mecánicas están relacionadas con el comportamiento hidráulico del pavimento?

## **1.3 Justificación del Problema**

El pavimento se basa en la necesidad de proporcionar una estructura resistente, duradera y funcional para soportar el tráfico de vehículos y garantizar una superficie de rodadura adecuada a lo largo de su vida útil. Al considerar adecuadamente estas características físicas, se puede lograr un pavimento óptimo que cumpla con las normas de diseño (Paima & Buendia, 2023).

Las características mecánicas de un pavimento son fundamental para asegurar la durabilidad, seguridad y rendimiento adecuado de una carretera o vía de tráfico. Estas características están diseñadas para soportar las cargas verticales y mantener la integridad estructural del pavimento a lo largo del tiempo (Aro & Llano, 2024).

Las propiedades hidráulicas de un pavimento son esencial es para garantizar su durabilidad, seguridad y eficiencia en la gestión del agua superficial en la vía y otras infraestructuras. Estas características están diseñadas para permitir el adecuado drenaje del agua de lluvia o superficial, evitando acumulaciones y posibles daños al pavimento, así como para proteger el entorno natural y los sistemas de alcantarillado cercanos, evaluar los diferentes daños de Corredor vial Cebadas – Atillo (Gallego, 2023).

El presente trabajo de titulación trata de responder a la pregunta de investigación, midiendo las características físicas y mecánicas e hidráulicas a nivel local del pavimento flexible en la vía, también la investigación será un aporte fundamental para clarificar la conducta del coeficiente de escurrimiento de vías con similares características de la vía Cebadas – Atillo, en conjunto el hallazgo habilitara conocimiento, esto significa que podríamos saber cómo se ven afectadas características no solo hidráulicas, sino también físicas y mecánicas evaluadas a través de ensayos, y pruebas de laboratorio y muestreo en campo para la verificación de calidad en materiales de un pavimento asfáltico flexible y desgaste de la capa de rodadura (Grisi, 2017).

## **1.4 Objetivos**

### **General**

- Evaluar las Características físicas - mecánicas e hidráulicas del pavimento flexible en el corredor vial Cebadas - Atillo usando ensayos convencionales y dispositivos eléctricos.

### **Específicos**

- Analizar las propiedades del pavimento físicas - mecánicas aplicando dispositivos eléctricos y ensayos de laboratorio.
- Determinar las propiedades hidráulicas del pavimento flexible y relacionar los valores obtenidos.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Aspecto General

#### 2.1.1 Pavimento Flexible

Un pavimento flexible está formado por varias capas de materiales seleccionados que soportan directamente las cargas del tráfico y las distribuyen a las capas inferiores, ofreciendo una superficie resistente y cómoda para el usuario, los factores clave en este proceso son la compactación y la humedad. Este pavimento flexible se compone principalmente, de la base, la sub base, y la rasante, y de la carpeta asfáltica es la mezcla de materiales pétreos y la bituminosa (Ccosi, 2024).

#### 2.1.2 Estructura de un Pavimento Flexible

El pavimento de una carretera resistente está formado por varias capas, como la carpeta asfáltica, la base y la subbase, subrasante, que son comúnmente utilizadas en carreteras y otras infraestructuras de transporte. La figura 1 podemos observar la composición de la estructura del pavimento flexible (Ccosi, 2024).

#### Figura 1

*Estructura de un Pavimento Flexible*



**Fuente:** (Giordani & Leone, 2020)

#### 2.1.3 Capas Granulares

Las capas granulares en el pavimento de las carreteras están compuestas por material compactado que se coloca debajo del asfalto, proporcionando soporte y drenaje adecuados. Generalmente, estas capas están formadas por una mezcla de áridos de diferentes tamaños, como grava y arena, que se compactan para crear una capa fuerte y resistente. La calidad y el espesor de

estas capas son fundamentales para asegurar que el pavimento sea duradero y resista el paso del tiempo (Vera, 2015).

#### ***2.1.4 Subrasante***

La sub-rasante es la capa de terreno natural de una carretera, que soporta la estructura del pavimento, alcanzando una profundidad tal que no le afecte la carga de diseño correspondiente al tránsito previsto. El espesor de toda la estructura del pavimento depende de su capacidad portante, es considerada como la cimentación de las estructuras del pavimento (Caballeros, 2006). La calidad de la subrasante es crucial, ya que afecta directamente la estabilidad y durabilidad del pavimento.

#### ***2.1.5 Subbase***

La subbase es una capa granular que se coloca encima de la subrasante. Sus funciones incluyen proteger la base contra el fenómeno de cualidad de capilar del agua proveniente de los niveles freáticos y entre otras fuentes cercanos, evitando que el pavimento se deforme (Figuroa, 2023). Esto previene cambios de volumen, elasticidad y plasticidad, durabilidad, resistencia (MOP-001-F, 2002).

#### ***2.1.6 Base.***

La base granular se encuentra justo debajo de la capa de rodadura y soporta gran parte de las tensiones provocadas por los vehículos. Además, contribuye a distribuir la carga hacia las capas inferiores. Los materiales utilizados en esta capa suelen ser de mayor calidad y uniformidad, como la piedra triturada y la grava bien clasificada (Cepeda & Rosero, 2024). Lo que garantiza una alta resistencia, buena compactación y estabilidad general del sistema (MOP-001-F, 2002).

#### ***2.1.7 Carpeta de Rodadura***

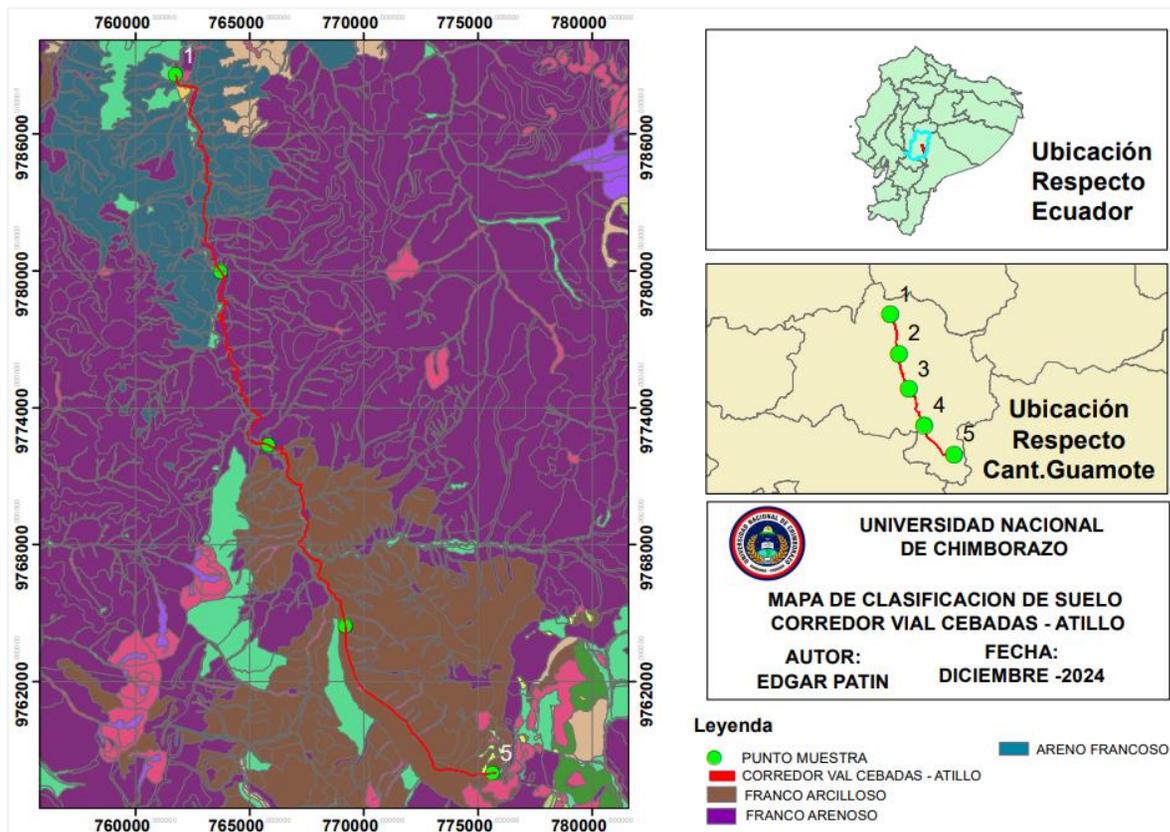
También llamada carpeta asfáltica, es la capa superior de un pavimento asfáltico diseñada para resistir el tráfico y ofrecer una superficie lisa y resistente al desgaste. Está formada por una mezcla de asfalto y áridos, que protege la base impermeabilizando la superficie, evitando de esta manera posibles infiltraciones del agua de lluvia que podría saturar a las capas inferiores del pavimento flexible, ya que está en contacto directo con los vehículos y soporta las cargas y el desgaste diario. Una instalación y mantenimiento adecuados son clave para asegurar su calidad y la vida útil del pavimento (Vasquéz, 2014).

## 2.2 Caracterización del Terreno Natural de la Zona Estudio

Con el propósito de realizar un análisis de un estudio comparativo del suelo extraído in situ para el desarrollo de los ensayos de laboratorio correspondiente a la muestra de la subrasante del terreno natural, como podemos observar en figura 2 presenta diferentes caracterización detallada del suelo del tramo del estudio, en dicha caracterización se destaca la predominancia de los componentes arenoso y arcilloso en todo el tramo de la infraestructura vial, lo cual es importante para la evaluación del comportamiento mecánico del terreno (Alanya & Zambrano, 2023).

### Figura 2

Mapa Geográfico de Caracterización del Suelo (Corredor vial Cebadas–Atillo)

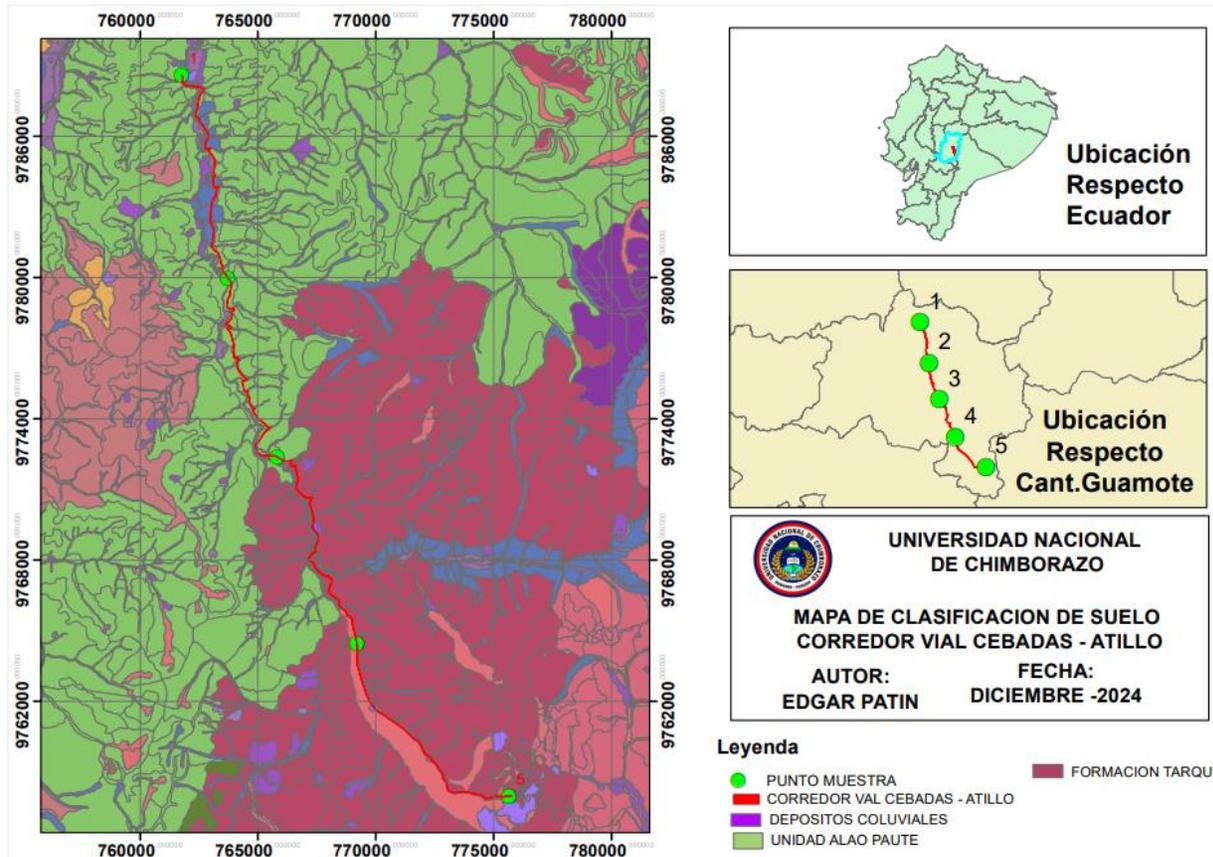


**Fuente:** Patín Edgar. Adaptado MAG et al. 2015

También en la figura 3 evidencia la formación geológica del terreno correspondiente al tramo de estudio a lo largo del eje vial, desatacándose tres formaciones principales que influyen directamente en las condiciones del terreno natural. La información ha sido adaptada de los estudios geológicos MAG.

**Figura 3**

*Formación Geológica – Tramo de Estudio*



**Fuente:** Patín Edgar. Adaptado MAG et al. 2015

## 2.3 Propiedades Físicas de Pavimento flexible

### 2.3.1 Espesor

El grosor de un pavimento flexible, como el asfalto, depende de varios factores, tales como el tipo de tráfico que soporta, las condiciones climáticas, y el tipo de suelo sobre el que se coloca. Además, otros elementos de diseño, como la ubicación geográfica, también juegan un papel, ya que están vinculados a la calidad de los materiales, el volumen de tráfico promedio diario (TPDA), y las condiciones ambientales e hidrológicas (Ccosi, 2024).

### 2.3.2 Granulometría

La granulometría del material se refiere a la distribución del tamaño de las partículas del suelo, expresando en un porcentaje que representa cada rango de tamaños en relación con el peso

seco total. Esta característica influye en cómo se acomodan las partículas de manera variable. Una correcta distribución entre partículas gruesas y finas mejora significativamente las propiedades del suelo de forma compleja. Por lo tanto, los materiales utilizados en las capas fundamentales y subyacentes deben cumplir con ciertos criterios de clasificación de partículas (Córdova, 2017).

### ***2.3.3 Límites de Atterberg***

Los límites de Atterberg, también conocidos como límites de consistencia, se emplean para describir el comportamiento de los suelos finos. Este procedimiento asume que dichos suelos pueden encontrarse en cuatro estados de consistencia, dependiendo de su nivel de humedad. El contenido de humedad en los momentos en que el suelo cambia de un estado a otro se conoce como límite de Atterberg (Manotoa, 2016).

- El límite líquido se determina con ensayos de laboratorio utilizando la copa de Casagrande, en el cual un suelo pasa de ser líquido a plástico, permitiendo su moldeo.
- El límite plástico se refiere al paso del estado plástico al semisólido, donde el suelo comienza a romperse.
- Finalmente, el límite de contracción define el momento en que el suelo transita de semisólido a sólido, dejando de reducir su volumen a medida que pierde humedad.

### ***2.3.4 Clasificación de Suelos***

Para la clasificación de los suelos en carreteras, se emplean dos sistemas principales: el sistema AASHTO y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS. El SUCS es más comúnmente utilizado para suelos y la clasificación de materiales de la subrasante, mientras que el sistema AASHTO se aplica con mayor frecuencia en la clasificación de materiales tanto de la base como de la subbase. Sin embargo, es recomendable reportar los resultados en ambos sistemas (Velásquez, 2018).

### ***2.3.5 Clasificación de los Suelos Según la SUCS***

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) permite ordenar los suelos según sus características técnicas, como su resistencia, permeabilidad y compresibilidad, lo que resulta fundamental para diversas aplicaciones de la ingeniería geotécnica. Sin embargo, para aplicar plenamente este sistema se requiere conocer parámetros del suelo como el límite líquido, el límite plástico y su gradación. De acuerdo a este método, cada tipo de suelo recibe un símbolo

compuesto por dos letras y un nombre descriptivo (Borja, 2014). Los tres tipos principales de suelos junto con los símbolos correspondientes para cada tipo son:

**Gravas:** GP, GW, GM y GC,

**Arenas:** SP, SW, SM y SC, y

**Limos y arcillas:** ML, CL, CH, MH, OH, y OL.

**Figura 4**

*Clasificación de Suelos Según S.U.C.S.*

**SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S.)**  
INCLUYENDO IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN

DIVISIÓN MAYOR		SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO										
<b>SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS</b> Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 @	Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4	<b>GRAVAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4	<b>GW</b> Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Cu: mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA Cc: entre 1 y 3. $Cu = D_{60} / D_{10}$ $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10}(D_{60}))$										
			<b>GP</b> Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos		NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW.									
			<table border="1"> <tr> <td>* GM</td> <td>d</td> <td rowspan="2">Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo</td> </tr> <tr> <td>u</td> <td></td> </tr> </table>		* GM	d	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo	u		LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4.	Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.			
			* GM		d	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo								
		u												
		GC		LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.										
		<b>ARENAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4	PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE 1/2 cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	<b>SW</b> Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.	DETERMÍNENSE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA, DEPENDIENDO DEL PORCENTAJE DE FINOS (fracción que pasa por la malla No. 200) LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUE: Menos del 3% GW, GP, SW, SP; más del 12% GM, GC, SM, SC. Entre 3% y 12%, Casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles. *	Cu = $D_{60} / D_{10}$ mayor de 6 ; Cc = $(D_{30})^2 / (D_{10}(D_{60}))$ entre 1 y 3.  No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW								
				<b>SP</b> Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.			<table border="1"> <tr> <td>* SM</td> <td>d</td> <td rowspan="2">Arenas limosas, mezclas de arena y limo.</td> </tr> <tr> <td>u</td> <td></td> </tr> </table>	* SM	d	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	u		LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4.	Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.
				* SM				d	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.					
				u										
<table border="1"> <tr> <td>* SC</td> <td>d</td> <td rowspan="2">Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.</td> </tr> <tr> <td>u</td> <td></td> </tr> </table>	* SC			d			Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.	u		LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.	de símbolos dobles.			
* SC	d			Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.										
u														
<b>SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS</b> Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 @	Las partículas de 0.074 mm de diámetro (la malla No.200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.	<b>LIMOS Y ARCILLAS</b> Límite Líquido menor de 50	<b>ML</b> Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	G – Grava, S – Arena, O – Suelo Orgánico, P – Turba, M – Limo C – Arcilla, W – Bien Graduada, P – Mal Graduada, L – Baja Compresibilidad, H – Alta Compresibilidad										
			<b>CL</b> Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.											
			<b>OL</b> Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.											
			<b>MH</b> Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos.											
<b>LIMOS Y ARCILLAS</b> Límite Líquido Mayor de 50	Límite Líquido Mayor de 50	<b>CH</b> Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.												
		<b>OH</b> Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.												
		<b>P</b> Turbas y otros suelos altamente orgánicos.												
<b>SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS</b>														

\*\* CLASIFICACIÓN DE FRONTERA- LOS SUELOS QUE POSEAN LAS CARACTERÍSTICAS DE DOS GRUPOS SE DESIGNAN CON LA COMBINACIÓN DE LOS DOS SÍMBOLOS; POR EJEMPLO GW-GC, MEZCLA DE ARENA Y GRAVA BIEN GRADUADAS CON CEMENTANTE ARCILLOSO.  
 @ TODOS LOS TAMAÑOS DE LAS MALLAS EN ESTA CARTA SON LOS U.S. STANDARD.  
 \* LA DIVISIÓN DE LOS GRUPOS GM Y SM EN SUBDIVISIONES d Y u SON PARA CAMINOS Y AEROPUERTOS UNICAMENTE. LA SUB-DIVISIÓN ESTA BASADA EN LOS LÍMITES DE ATTERBERG EL SUFIO d SE USA CUANDO EL L.L. ES DE 28 O MENOS Y EL I.P. ES DE 6 O MENOS. EL SUFIO u ES USADO CUANDO EL L.L. ES MAYOR QUE 28.

**Fuente:** (Badillo & Rodríguez, 2005)

### 2.3.6 Sistema de Clasificación AASHTO

El sistema de clasificación AASHTO clasifica los suelos según los resultados del ensayo granulométrico, el límite líquido y el límite plástico. Estos resultados se comparan con las tablas correspondientes para identificar la clasificación que mejor se ajusta a los resultados obtenidos en el laboratorio (Carranza & Paredes, 2018).

**Figura 5**

*Sistema de Clasificación AASHTO*

CLASIFICACIÓN GENERAL	SUELOS GRANULARES ( $\leq 35\%$ PASA TAMIZ N°200)						SUELOS FINOS ( $>35\%$ Bajo TAMIZ N°200)				
Grupo	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Subgrupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5
TAMIZ N°10	$\leq 50$										A-7-6
TAMIZ N°40	$\leq 30$	$\leq 50$	$\geq 51$								
TAMIZ N°200	$\leq 15$	$\leq 25$	$\leq 10$	$\leq 35$				$\geq 36$			
IP	$\leq 6$		NP	$\leq 10$	$\leq 10$	$\geq 11$	$\geq 11$	$\leq 10$	$\leq 10$	$\geq 11$	$\geq 11$
Descripción	Gravas y Arenas		Arenas Finas	Gravas y Arena, Limosa y Arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
	EXCELENTE -BUENO						REGULAR - MALO				

**Fuente:** (Armijo & Lucio, 2010)

### 2.3.7 Densidad

La densidad es un factor crucial en el diseño y construcción de pavimentos flexibles, ya que afecta su desempeño mecánico y su durabilidad a lo largo del tiempo. Desempeña varias funciones esenciales, como proporcionar soporte estructural, asegurar un drenaje adecuado y facilitar la distribución de la carga (Condo, 2025).

El contenido de humedad previamente establecido en el laboratorio se conoce como "contenido óptimo de humedad", mientras que la densidad alcanzada se denomina "densidad máxima". Para entender mejor la relevancia y la necesidad de una adecuada compactación, explicaremos la teoría y los métodos empleados para determinar tanto el contenido de humedad óptimo como la densidad máxima de un suelo (Juárez & Rodríguez, 2005).

### **2.3.8 Grado de Compactación**

El grado de compactación de las capas granulares en una estructura de pavimento es clave para asegurar que alcancen su densidad óptima. Estas capas granulares, como la subbase y la base, están formadas por materiales como grava, arena y piedra triturada. La compactación adecuada es fundamental para garantizar la resistencia al tráfico y prevenir daños en las capas del pavimento (Ccosi, 2024).

Generalmente, la densidad seca del material IN- SITU obtenida mediante el método del cono de arena es similar a la densidad máxima del material, determinada previamente mediante un ensayo Proctor.

Según la norma vial ecuatoriana NEVI - 12 - MTOP, el espesor mínimo de la capa debe ser de 300 mm por debajo de la subrasante. Se deben usar suelos con una capacidad de soporte CBR de al menos 8%, medida al 95%. El tamaño máximo de las partículas se establece según el espesor compactado de las capas que se utilizarán para reconstruir el terraplén de la carretera. Para capas con un espesor compactado de 300 mm o más, el tamaño máximo permitido es de 150 mm, con un margen de sobredimensionamiento del 5% hasta 200 mm (NEVI-12 - MTOP, 2013).

La compactación, IN SITU correspondiente a las capas de pavimento de be estar entre 95% -100% de la densidad máxima obtenido mediante ensayo de Proctor modificado – estándar realizado en laboratorio(Ortiz & Bastidas, 2013).

### **2.3.9 Macrotextura del Pavimento**

La macrotextura de un pavimento es una característica física influyente en la retención o drenaje horizontal en la superficie, esta característica cumple el confort y seguridad de los usuarios, debido a que su rugosidad o relieve ayudan o perjudican al frenado, encharcamiento o vibraciones del automotor.

Los valores de macrotextura se sitúan en rangos de 0.50 a 50mm respecto a la horizontal y entre 0.20 y 10mm a la vertical, señalar que esta rugosidad compromete la adherencia o deslizamiento que puede tener el neumático en la capa de rodadura.

**Tabla 1**

*Clasificación de las Irregularidades superficiales de un pavimento*

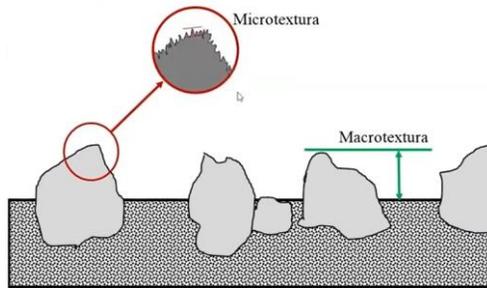
DESCRIPCION		RANGO DE DMENSIONES (APROX)	
		HORIZONTAL (mm)	VERTICA (mm)
	Microtextura	0 - 0.50	0 - 0.20
	Macrotextura	0.50 - 50	0.20 - 10
	Megatextura	50 - 500	1 - 50
<b>Regularidad superficial</b>	Ondas cortas	0.50 - 5	1 - 20
	Ondas medias	5 - 15	5 - 50
	Ondas largas	15 - 50	10 - 200

**Fuente:** (Instituto Mexicano del Transporte, 1998)

En la posterior figurase denota gráficamente la diferenciación entre macrotextura y microtextura. La macrotextura es aquel relieve del agregado que se mide respecto a la superficie plana de pavimento, en contraparte, la microtextura es aquella medición en la misma partícula del agregado.

**Figura 6**

*Microtextura vs Macrotextura*

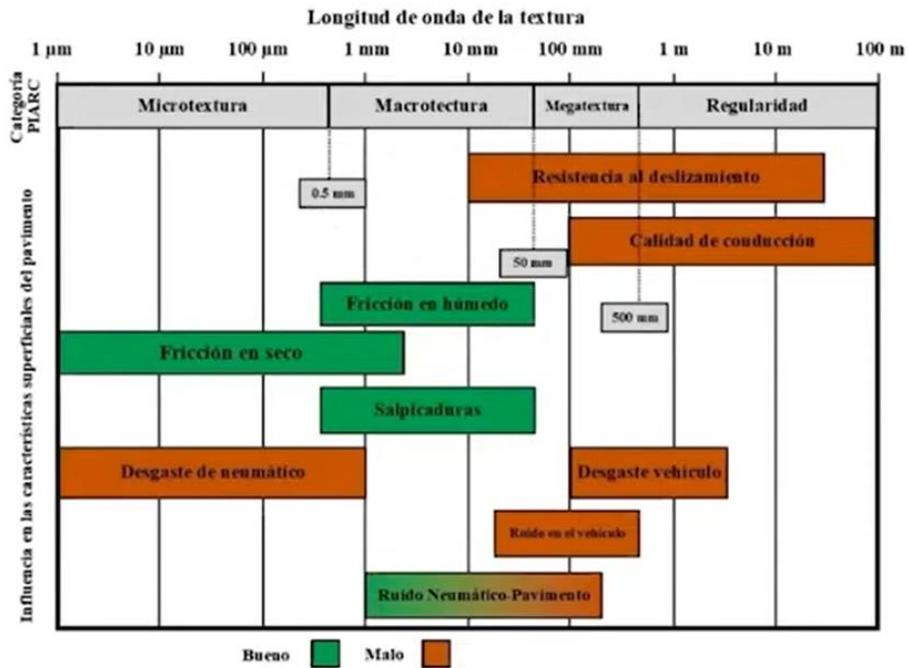


**Fuente:** (Instituto Mexicano del Transporte, 1998)

El relieve superficial en los pavimentos es necesario para la seguridad, aunque estas irregularidades provocan afectaciones mínimas al usuario conductor. De manera gráfica, se muestra posteriormente las particularidades causadas por la condición de los agregados.

**Figura 7**

*Fenómenos de Interacción Vehículo – Pavimento*



**Fuente:** (Instituto Mexicano del Transporte, 1998)

## 2.4 Propiedades Mecánicas del Pavimento Flexible

### 2.4.1 Módulo de Young

Módulo de Young indica una mayor rigidez del material en la determinación de la rigidez de la estructura del pavimento flexible, el módulo de Young es un parámetro crítico utilizado para describir el comportamiento del pavimento, principalmente mezclas asfálticas y capas de base o subbase. Debido a que los materiales tienden a deformarse en presencia de cargas, pero tienen una resistencia limitada al esfuerzo, el módulo de resiliencia es el parámetro que se discute en los pavimentos flexibles (Aucapiña & Jiménez, 2024).

### 2.4.2 Estimación de CBR

El CBR (California Bearing Ratio) es un método que estima la rigidez del suelo, bajo condiciones de humedad y densidad especificadas. Esta prueba determina la capacidad de un estrato al corte, relacionando una carga unitaria capaz de penetrar un pistón en una muestra compactada (Contreras, 2019).

A continuación, se muestra una ecuación que correlaciona la rigidez del estrato ( $K_G$ ) con la capacidad de soporte CBR, el módulo de rigidez se puede obtener a partir de la utilización del equipo eléctrico GeoGauge (Casco & Salcán, 2024).

$$CBR = 0.0039(8.672K_G)^2 - 5.75$$

donde;

- CBR (%): Capacidad de Soporte
- $K_G$  (MN/m): Modulo de rigidez

Sin embargo, dependiendo de la composición del suelo o de la capacidad de soportes, se establece una especificación, en la cual se designan distintas ecuaciones según sea el caso.

En 1980 Poulsen presento una expresión para suelos arenosos, arcillosos y limosos, en la cual se determina el módulo resiliente, para fines de cálculo directo del CBR, esta expresión se la ha despejado (Aucapiña & Jiménez, 2024).

$$Mr(MPa) = 10 * CBR^{0.73}$$

$$\sqrt[0.73]{\frac{Mr(MPa)}{10}} = CBR$$

Para suelo definidos como granulares, Powell en el año 1984 estable una ecuación para su caracterización.

$$Mr(PSI) = 2555 * CBR^{0.64}$$

$$\sqrt[0.64]{\frac{Mr(PSI)}{2555}} = CBR$$

Acorde a la clasificación UCS, la siguiente ecuación caracteriza a los suelos arcillosos, arenosos y limosos, específicamente con sus denominaciones CL, CH, SC, SM, SP, ML.

$$Mr(MPa) = 10.3 * CBR$$

$$\frac{Mr(MPa)}{10.30} = CBR$$

Finalmente, para suelos instaurados como subrasantes o que formen parte de mejoramiento, la ASSHTO en 1993 estable la posterior ecuación.

$$Mr(PSI) = 1500 * CBR$$

$$\frac{Mr(PSI)}{1500} = CBR$$

## **2.5 Propiedades Hidráulicas Pavimento Flexible**

Las características hidráulicas son un sistema de drenaje en las capas granulares de los pavimentos y subbases, ya que esto determinará cómo se evacuará el agua superficial hacia los sistemas colectores correspondientes. Así se evita la resistencia de las capas granulares (Pérez & Vásquez, 2018).

### **2.5.1 Permeabilidad**

Según (Fonseca, 2023), la permeabilidad es la propiedad que tiene el suelo de transmitir el agua y el aire. Cuanto más permeable sea el suelo, mayor será la filtración.

Según (García, 2014), los materiales con alta permeabilidad hidráulica permiten el paso fácil del agua sin restricciones significativas. Por otro lado, los materiales con baja permeabilidad hidráulica no permiten mucho flujo o requieren presión adicional para hacerlo.

Según (Osorio, 2023), es importante tener en cuenta que algunos factores pueden afectar al valor real de la permeabilidad hidráulica, por ejemplo, las condiciones climáticas locales (como lluvias intensas).

### **2.5.2 Superficie Saturada Seca**

La superficie saturada seca se refiere a un estado específico del suelo en el que todas las partículas están cubiertas por una película de agua, pero no hay exceso de agua que pueda drenar. Este estado es una condición específica que se utiliza en pruebas y estudios de suelos para medir propiedades como la capacidad de retención de agua y la distribución del tamaño de las partículas. Esto afecta negativamente a la durabilidad del pavimento, ya que aumenta la posibilidad de que se produzcan fallos y fisuras (Betancourt, 2014).

### **2.5.3 Escorrentía**

La escorrentía puede infiltrarse a través de la capa de rodadura, con su uso y deterioro normales, para controlar y minimizar el flujo de lluvia que se acumula en la calzada. Para ello, es necesario determinar un buen diseño de la capa de rodadura en términos de pendiente, bombeo y peralte, de modo que pueda evacuarse hacia las cunetas o alcantarillados (Echeverry, 2004).

## **2.6 Equipos Eléctricos**

### **2.6.1 GEOGAUGE**

GEOGAUGE es una máquina eléctrica de ensayos, que es utilizada en la construcción de carreteras para medir la rigidez y el soporte de las capas del pavimento como, la subrasante y la base granular. Consiste en un sistema de vibración controlada que permite evaluar el suelo de cualquier material que forme las mismas capas y obtener in situ un valor numérico del módulo de rigidez del material (Arévalo & Maila, 2025).

“El GEOGAUGE consiste en su sistema de evaluación, que emite cargas a través de un peso ligero y, por medio de sensores mide la deflexión ocasionada por dicho peso. A partir de esta relación, se puede obtener el módulo de rigidez de un suelo”(Yunga, 2023).

GEOGAUGE H-4140 Humboldt norma (ASTM D 6758 - 02)

### **2.6.2 Densímetro Eléctrico EDG**

El EDG se utiliza para analizar suelos en bases y subbases. Esta herramienta es portátil y funciona con baterías; es adecuada para su uso en todo el mundo, sin ninguno de los problemas de seguridad asociados con los equipos nucleares. El EDG proporciona lecturas de densidad húmeda y seca, contenido de humedad gravimétrico y porcentaje de compactación, lo que permite supervisar las tareas diarias de compactación, los resultados obtenidos son similares a los obtenidos con métodos convencionales, con método del cono de arena y Proctor Modificado.

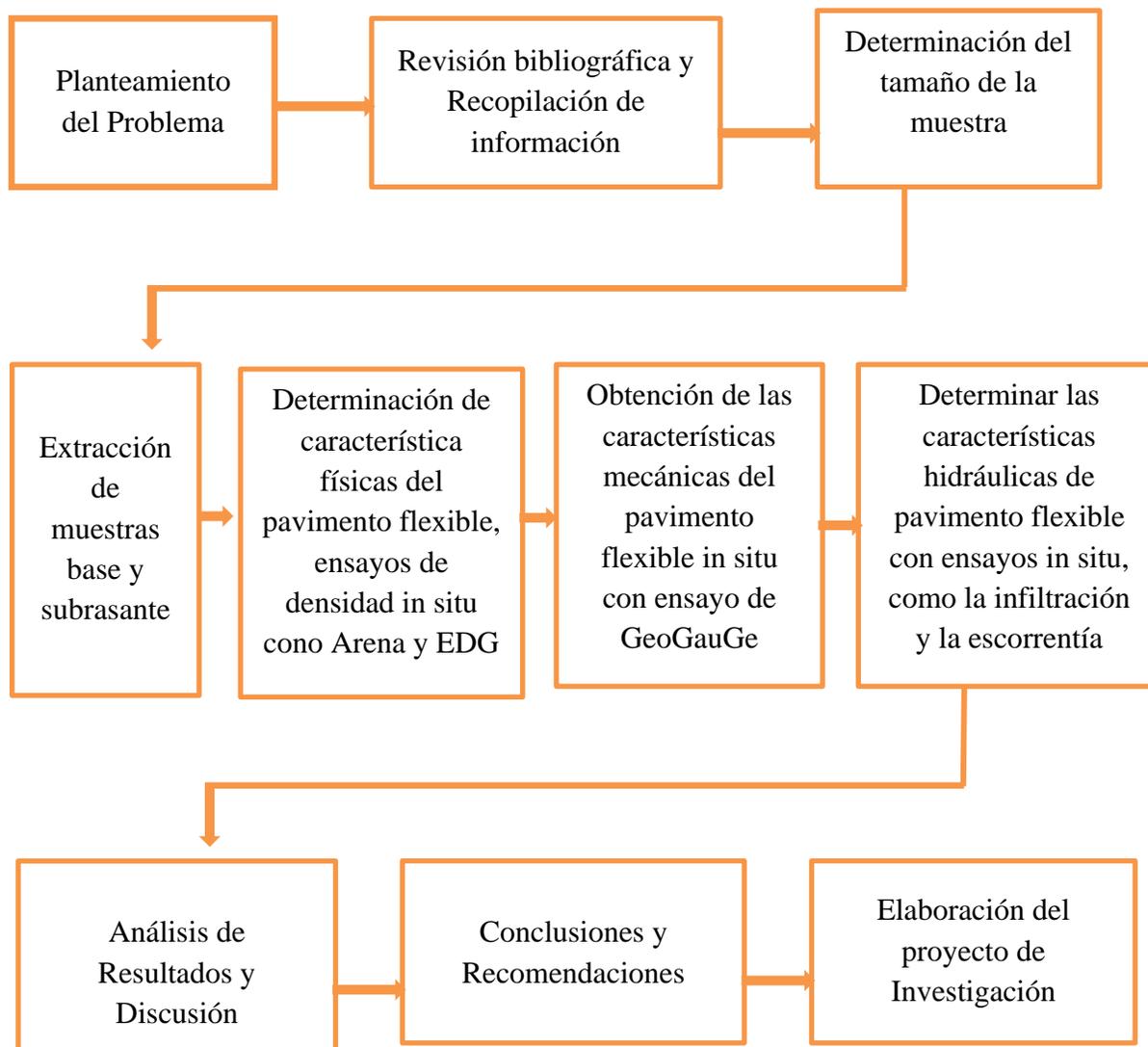
La precisión del EDG se obtiene mediante la transmisión de radiofrecuencia punto a punto, midiendo directamente entre los electrodos instalados en el suelo y garantizando resultados confiables a la profundidad alcanzada por estos. No es necesario asegurarse que el suelo sea homogéneo o confiar en la onda de radio frecuencia para penetrar los materiales del suelo desde la superficie.

### CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

Este trabajo de investigación se realizará siguiendo el esquema metodológico presentado, en el cual se describe de manera general el desarrollo del proceso.

**Figura 8**

*Esquema Metodológico de Investigación*



**Fuente:** Patín Edgar

El trabajo de investigación tiene como finalidad de llegar saber el comportamiento de las capas granulares base y subrasante del pavimento flexible.

### **3.1 Tipo de Investigación.**

Enfoque de la investigación será la metodología cuantitativa, realizamos ensayos de laboratorio de la muestra tomada en campo, de las cuales se obtendrán datos que serán analizados para determinar las propiedades físicas - mecánicas - hidráulicas del pavimento flexible (Vásquez, 2024).

### **3.2 Diseño de Investigación**

Esta investigación es de tipo descriptivo y requiere la tabulación, análisis e interpretación de todos los datos obtenidos tanto en campo y laboratorio. Además, se deben detallar las características de cada muestra tomada del pavimento flexible.

### **3.3 Población de Estudio y Tamaño de Muestra**

#### ***3.3.1 Población de Estudio***

En esta investigación, el pavimento flexible de la vía colectora E46 hace referencia a las capas granulares del tramo que conecta los sectores poblados de Cebadas y Atillo, del cantón Guamote, provincia de Chimborazo.

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

La vía Cebadas – Atillo del cantón Guamote de la colectora E47 hecho 5 perforación en diferente tramo de la vía para extraer material granular base, subbase, subrasante.

#### ***3.3.3 Tipos de Muestra***

Se implementó un muestreo sistemático-estratificado, combinando la perforación en puntos regulares a lo largo del tramo vial con la división en estratos según la uniformidad del material

#### ***3.3.4 Tamaño de la Muestra***

El tramo del corredor vial Cebadas – Atillo es de aproximadamente 42 km las perforaciones de muestras están cada 8.4 km respectivamente.

### **3.4 Criterio de Evaluación**

#### **➤ Uniformidad de la vía**

A lo largo de la carretera se identificó el sitio de estudio, caracterizado por irregularidades en la capa de rodadura, como fallas geológicas, fisuras o grietas, aunque también se encontraron

secciones en buen estado (Zuluaga, 2024). Con base en estas condiciones, se seleccionaron estratégicamente cinco puntos con un estado bueno o regular. También alejada de la vivienda para no causar molestia a los moradores del sitio.

➤ **Ubicación de las muestras**

Ubicación de puntos de perforaciones para extraer muestras, para ensayar en laboratorio.

### **3.5 Técnicas de Recolección de Datos**

Para llevar a cabo esta investigación, el software ArcGIS fue fundamental para la georreferenciación. Además, pudimos medir la longitud del corredor vial, lo que nos permitió identificar puntos clave para realizar la toma de datos in situ, como los ensayos de cono de arena (Gualdrón et al., 2020). También utilizamos equipos tecnológicos como el Geogauge y el densímetro eléctrico digital, y ensayos de laboratorio de compactación, tanto Proctor Modificado como Proctor Estándar, con el fin de analizar las características físicas y mecánicas del corredor vial Cebadas-Atillo.

### **3.6 Procesamiento de Datos**

#### ***3.6.1 Ensayos de Laboratorio***

##### *3.6.1.1 Granulometría*

Este ensayo de granulometría se realizó para clasificar el tamaño de las partículas en muestra seca de material, que contiene las capas granulares del pavimento (ASTM-D-422-63, 2002).

##### *3.6.1.2 Límites de Atterberg*

Este ensayo se realizó para determinar la plasticidad de las capas granulares de pavimento y las cantidades de humedad que contiene. Para determinar el límite líquido o límite plástico (INEN-692, 1982). De acuerdo a norma (INEN-691, 1982).

##### *3.6.1.3 Proctor Modificado*

Este ensayo de Proctor modificado se realizó en distinto tramo de la vía para obtener la compactación del suelo y también para determinar el porcentaje agua y la densidad máxima y la humedad óptima con el fin de obtener datos reales (ASTM-D-1557, 2000).

### 3.6.1.4 Densidad Relativa y Absorción de Materiales Granulares

Este procedimiento de evaluación se emplea con el propósito de calcular densidad y la absorción de materiales pétreos gruesos y finos.

El método para la determinación de las densidades de áridos finos es el propuesto por la NTE INEN 856, en donde se determina la densidad, densidad relativa y la absorción que posee el árido.

En contraparte, lo concerniente a la determinación de los mismos parámetros de densidad y absorción para áridos gruesos lo contempla la NTE INEN 857.

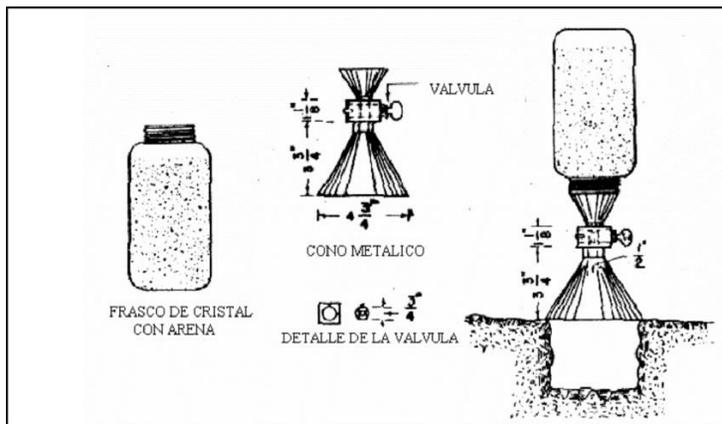
### 3.6.2 Ensayos in Situ

#### 3.6.2.1 Densidad in Situ – Método del Cono Arena

El método del cono de arena es un ensayo utilizado para determinar la densidad natural de los suelos, especialmente en aquellos que carecen de cohesión, como arenas y gravas (Ortega, 2021). Consiste en realizar perforaciones en el suelo, llenar los huecos con arena tagua calibrada y calcular el volumen del espacio ocupado para obtener la densidad in situ del suelo estudio Norma (ASTMD-1556).

#### Figura 9

Esquema del equipo de densidad in situ



Fuente: (Valle Rodas, 1982)

#### 3.6.2.2 Densidad in Situ – Método Densímetro Eléctrico (EDG)

El densímetro eléctrico (EDG) es un dispositivo utilizado para medir la densidad y el contenido de agua de suelos compactados y constituye una alternativa desnuclearizada. Este

método proporciona mediciones in situ eficaces y se utiliza habitualmente en estudios geotécnicos y para evaluar las propiedades físicas de los materiales del suelo(Andrade & Meléndez, 2021). Para este ensayo se conectan los sensores de temperatura y de medición de suelo con la consola EDG, y se procede a clavar los 4 dardos de acero inoxidable en el lugar donde se realizará el ensayo, sobre la cual estará colocada la plantilla de dardos y el sensor de medición de suelo este último está conectado con los cables de pinza, que sirven para unir este sensor con los dardos de suelo. Además, se realiza un pequeño orificio en el suelo cerca de donde están los dardos para introducir el sensor de temperatura (Paredes & Peñafiel, 2024).

### 3.6.2.3 Densidad in Situ – Método GEOGAUGE H-4140 Humboldt

El GeoGauge H-4140 es un dispositivo electromagnético utilizado para evaluar la compactación del suelo de una manera no destructiva, rápida y segura. Se utiliza en la evaluación de asfalto, bases, subbases, subrasantes y cualquier material granular que se vaya a utilizar en terraplenes y carreteras. GeoGauge H-41-40 mide las propiedades del suelo incluso cerca de puntos de vibración sin cambiar las mediciones presentadas por este equipo, lo que indica que se puede usar sin cambiar ni ralentizar la construcción de carreteras y autopistas. Este es un medidor de rigidez que se utiliza para garantizar que las cargas se transfieran uniformemente y de manera efectiva desde el pavimento a la subrasante, subbase y subbase (Borbor & Collantes, 2019). GeoGauge no mide la deflexión resultante producida por su peso en sí, sino que vibra, lo que resulta en pequeños cambios de fuerza que se manifiestan como deflexiones menores.

## Figura 10

*Colocación del equipo GeoGuaGe*



Para continuar con el ensayo in situ colocamos el aparato en la posición correcta el suelo tiene que estar nivelado y limpio, para poder hacer la pruebas encendemos el interruptor y

presionamos el botón “MENSURE” en la consola, a continuación, se inicia la medición. El aparato empieza a generar vibraciones, el uso de las normas (ASTM D 6758-02) para regular el aparato y que define el alcance de las mediciones de las capas granulares los resultados de la rigidez y el módulo de Young. Y la norma (ASTM C144, 1974) es para garantizar un correcto asentamiento del aparato sobre la superficie (Paredes & Peñafiel, 2024).

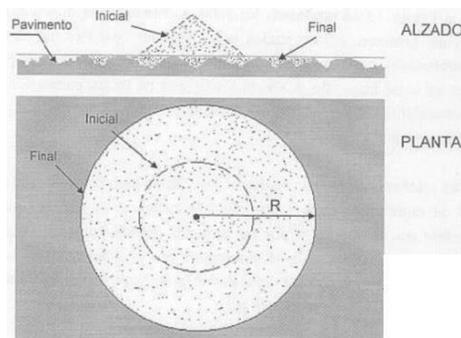
#### 3.6.2.4 Circulo de Arena in Situ

El ensayo de la mancha de arena o círculo de arena, define la macro textura de la superficie analizada, consiste en verter arena en un recipiente con volumen predefinido, posterior a aquello se realizan desplazamientos circulares y dispersos hacia el exterior, cubriendo la textura de la superficie.

Posteriormente, la mancha de arena que tendrá forma circular será medida (diámetro) en distintos ángulos para determinar un promedio de esta; finalmente se podrá determinar la altura promedio de las manchas circulares de arena, es decir, se determina la macro textura de la superficie (Minta Tenelema, 2022).

### Figura 11

#### Mancha de Arena



**Fuente:** (Minta Tenelema, 2022)

La altura se la puede determinar a partir de la siguiente fórmula:

$$H = \frac{V}{\pi * r^2}$$

donde;

- H: altura
- r: radio

- V: volumen

### 3.6.2.5 Infiltración y Escorrimento (Método de doble anillo – UNACH 2025)

El infiltrómetro de doble anillo es un equipo con el cual se puede medir el nivel de infiltración de un suelo o superficie, con el cual, a su vez poder determinar el estado de aquella superficie y vinculante a la textura de esta.

El equipo consta de un anillo exterior y otro interior, los dos deberán ser colocados en la superficie a evaluar, ambos anillos deberán ser sellados herméticamente si la superficie en contacto así lo permite. Además, en la parte superior se colocarán pesos para mantener la estabilidad y garantizar el sellado.

La funcionalidad del anillo interior es disminuir la presión lateral del agua a verter, mitigando fugas laterales.

La medición del nivel de líquido infiltrado, se lo realiza desde el centro de la circunferencia interior en intervalos predeterminados, cabe notar que mayoritariamente este comportamiento es de manera logarítmica descendente, mientras mayor sea el número de tiempo realizando la medición, la superficie tendera a la saturación.

#### **Figura 12**

*Infiltrómetro*



### 3.6.2.6 Grado Compactación

El grado compactación es a partir de los datos de la densidad obtenidos en el campo a través del ensayo de cono de arena y a partir de las densidades teóricas calculadas a partir del ensayo de Proctor modificado (Sierra & Varela, 2012).

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Ensayos de Laboratorio – Características Físicas

#### 4.1.1 Características Geológicas

Es fundamental describir detalladamente las formaciones geológicas del terreno natural correspondiente al área de estudio, ya que esta información permite caracterizar las condiciones geológicas del subsuelo (Arias, 2025).

**Tabla 2**

*Caracterización y Formación Geológica de Lugar de Estudio*

Muestra	Clasificación SUCS	Caracterización del suelo (MAG, 2019)	Formación Geológica (MAG, 2019)	Descripción de la Formación (IGM, 2022)
1	SP	ARENO FRANCO	DEPOSITOS COLUVIALES	Materia cuyo origen se debe al transporte y acumulación por acción de la gravedad, está formado por fragmentos angulares y heterométricos y generalmente de tamaño grueso, englobado en una mezcla de arena y limo arcillosa.
2	SP			Es una formación metamórfica-volcánica. Alao está expuesto a lo largo de los ríos Alao - Paute y Pastaza.
3	SP - SM	FRANCO ARENOSO	UNIDAD ALAO PAUTE	Constituyen de lavas masivas y amigdaloides aglomerados y bandas de filitas verdes, esquistos verdes, rocas verdes.
4	SM			La formación Tarqui que representa una cubierta volcánica se encuentra sobre las rocas sedimentarias
5	SP-SM	FRANCO ARCILLOSO	FORMACION TARQUI	

#### 4.1.2 Granulometría

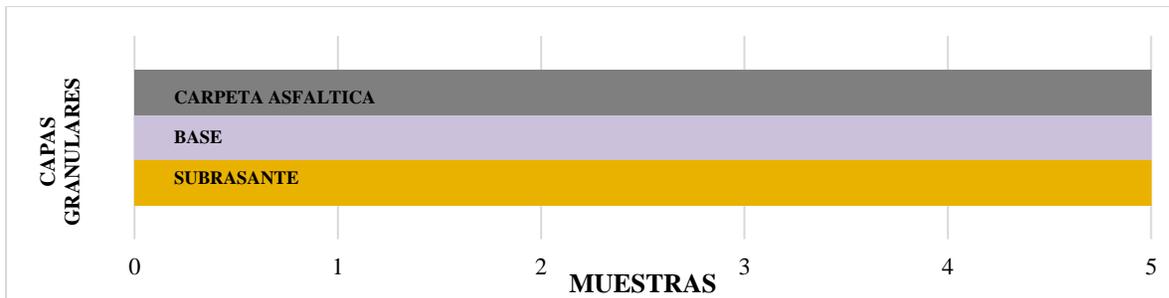
A través del porcentaje acumulado de las partículas que pasan por cada tamiz indicado en las tablas posteriores correspondientes a los agregados de base y sub rasante se identificó las

características físicas, vinculadas al coeficiente de uniformidad y curvatura, así también la graduación de estos.

La figura siguiente representa las muestras que se realizaron en las capas pertenecientes a la estructura del pavimento flexible

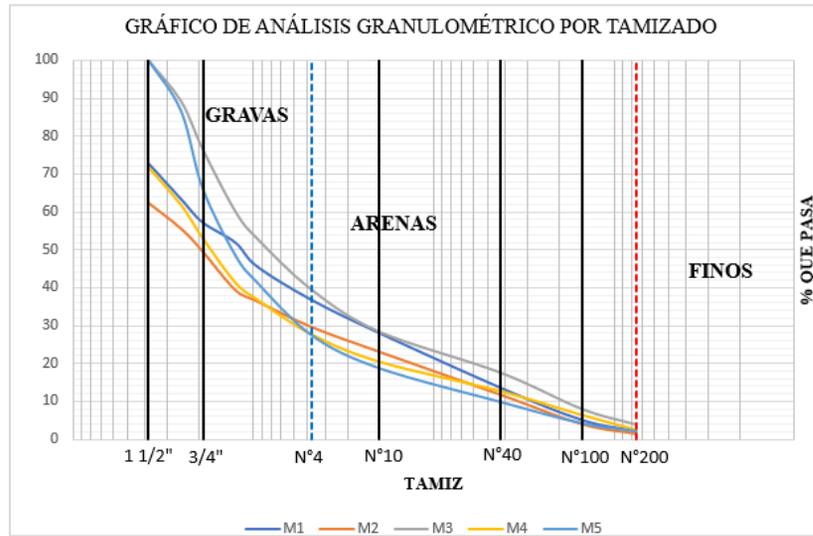
**Figura 13**

*Muestras en Capas de Pavimento Flexible*



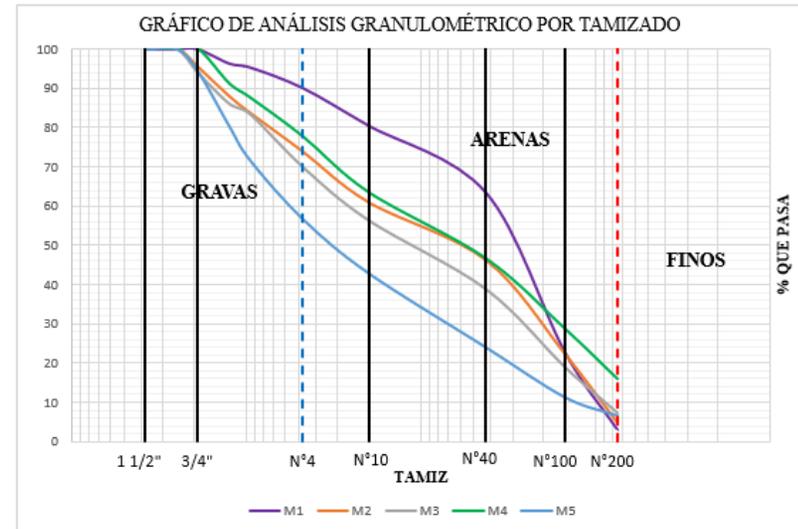
**Figura 14**

*Curva Granulométrica – Base*



**Figura 15**

*Curva Granulométrica – Bubrasante*



**Tabla 3***Granulometría de Base*

TAMIZ	ABERTURA mm	MUESTRAS					
		PORCENTAJE QUE PASA (%)					
		M1	M2	M3	M4	M5	
1 1/2"	38.1	72.94	62.31	100.00	71.96	100.00	
1"	25	63.37	55.45	89.11	61.87	86.52	GRAVA
3/4"	19	57.22	49.49	76.57	53.19	66.21	GRUESA
1/2"	12.5	51.86	39.29	60.09	41.37	48.52	GRAVA
3/8"	9.5	45.59	36.39	53.03	36.96	41.44	FINA
Nº 4	4.75	36.75	29.64	39.58	27.75	27.57	ARENA
Nº10	2	27.99	23.12	28.48	20.49	18.84	GRUESA
Nº40	0.425	13.50	11.82	17.68	12.70	9.93	ARENA
Nº100	0.15	4.95	4.09	8.10	6.41	4.32	FINA
Nº200	0.075	1.99	1.53	4.00	2.47	2.23	LIMOS
<b>Coefficiente de Uniformidad (CU)</b>		69.50	93.52	60.93	77.21	38.28	
<b>Coefficiente de Curvatura (CC)</b>		1.0	2.06	2.22	4.80	4.27	
<b>Clasificación según el SUCS</b>		GW	GW	GW	GP	GP	
<b>Clasificación según AASHTO</b>		A-3	A-3	A-3	A-3	A-3	TOTAL, POR MUESTRA

Las muestras M1, M2 y M3 presentan una buena graduación, en contraparte las muestras M4 y M5 presentan una graduación mala, esto es importante notar, pues debido al coeficiente de curvatura como también al de uniformidad podemos inferir la adecuada disposición de las partículas que influyen en la permeabilidad que poseerá el agregado. El promedio en cuanto al coeficiente de curvatura (Cc) para el tramo vial en estudio en la base es de 2.87 (magnitud adimensional), valor atribuible a una buena graduación y el promedio del coeficiente de uniformidad (Cu) es de 67.89 (magnitud adimensional), definiendo al suelo como arena.

Según la clasificación AASHTO, la base granular en todas las muestras corresponden a grava con buena y mala graduación, la cual recibe la denominación A-3.

Adicionalmente se presenta el porcentaje de material que corresponde a grava, arena y material fino.

**Tabla 4***Porción de Agregado (Base)*

Descripción	Porcentaje de Agregado					Promedio
	M1	M2	M3	M4	M5	
Grava (G)	63.25	70.36	60.42	72.25	72.43	67.74
Arena (S)	34.76	28.11	35.58	25.28	25.35	29.81
Fino (F)	1.99	1.53	4.00	2.47	2.23	2.44

El porcentaje de agregado grueso promedio de las 5 muestras, indican una presencia mayor al 50%, valor indicativo y clasificatorio por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas como Base Clase 2.

A continuación, se presenta los gráficos de análisis granulométrico por tamizado en todo el tramo vial para la capa granular Base.

Acorde a los porcentajes de material que pasan por los distintos tamices, la Base dispuesta en el corredor vial estudiado es de tipo B, entando los porcentajes en que pasa el material dentro de los rangos establecidos en la sección 404 tabla 404-1.1. del MTOP.

De manera similar que lo mostrado predecesoramente, la granulometría de la capa subrasante se proporciona.

**Tabla 5***Granulometría de Sub Rasante*

TAMIZ	ABERTURA mm	MUESTRAS					
		PORCENTAJE QUE PASA (%)					
		M1	M2	M3	M4	M5	
1 1/2"	38.1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	GRAVA GRUESA
1"	25	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
3/4"	19	100.00	95.35	94.07	100.00	94.42	
1/2"	12.5	96.30	87.79	86.07	91.06	80.23	GRAVA
3/8"	9.5	95.31	83.55	83.43	87.49	71.55	FINA
Nº 4	4.75	90.08	73.70	69.99	77.63	56.60	ARENA
Nº10	2	80.54	60.81	56.44	63.48	42.82	GRUESA
Nº40	0.425	63.48	46.05	38.89	46.64	23.88	ARENA
Nº100	0.15	22.84	22.15	19.03	28.79	11.15	FINA
Nº200	0.075	3.05	4.60	7.37	16.04	6.46	LIMOS

<b>Coefficiente de Uniformidad (CU)</b>	3.96	19.51	29.62	35.80	44.32	TOTAL, POR MUESTRA
<b>Coefficiente de Curvatura (CC)</b>	1.0	0.31	0.36	0.36	1.14	
<b>Clasificación según el SUCS</b>	SP	SP	SP-SM	SM	SP-SM	
<b>Clasificación según AASHTO</b>	A-3	A-3	A-2-4	A-2-4	A-2-4	

Mediante los índices de uniformidad y curvatura, y la denominación en la clasificación SUCS se evidencia arena pobremente graduada y arena limosa, correlacionándose con la clasificación AASHTO en la que las 2 primeras muestras presentan un coeficiente promedio de curvatura de 0.64 y de uniformidad de 11.74 (magnitudes adimensionales); siendo de arenas finas y las demás reflejan un coeficiente de curvatura promedio de 0.62 y de uniformidad de 36.58 (magnitudes adimensionales); conteniendo grava y arena con alto contenido de finos.

**Tabla 6**

*Porción de Agregado (Sub Rasante)*

<b>Descripción</b>	<b>Porcentaje de Agregado</b>					<b>Promedio</b>
	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>M4</b>	<b>M5</b>	
Grava (G)	9.92	26.30	30.01	22.37	43.40	26.40
Arena (S)	87.03	69.10	62.62	61.60	50.14	66.10
Fino (F)	3.05	4.60	7.37	16.04	6.46	7.50

La denominación del material contenido en esta capa granular se evidencia en la porción mayor de finos en el tramo de vía en general.

Las curvas granulométricas para cada muestra tomada de la capa Sub Rasante se evidencia en la gráfica siguiente

#### **4.1.3 Límite Líquido, Plástico e Índice de Plasticidad**

El porcentaje de humedad que retiene un suelo es importante para la determinación de su tipo, debido a que suelos que retienen más humedad son aquellos con contenido arcilloso, la tabla posterior muestra el límite líquido de las 5 muestras tomadas, conjuntamente su límite plástico e índice de plasticidad; parámetros indicadores del tipo de suelo

**Tabla 7***Parámetros por Contenido de Humedad - Subrasante*

<b>Muestra</b>	<b>Límite Líquido (%)</b>	<b>Límite Plástico (%)</b>	<b>Índice de Plasticidad Ip (%)</b>
1	29.82	NP	NP
2	20.87	NP	NP
3	21.39	NP	NP
4	27.23	23.87	3.36
5	34.61	27.13	7.48
<b>Promedio</b>	<b>26.78</b>	<b>25.50</b>	<b>5.42</b>

Ilustrativamente se muestran las líneas de tendencia de cada muestra realizada en el laboratorio a un determinado número golpes, a 25 golpes el porcentaje de humedad promedio que caracteriza el tramo de vía es de 26.78%. El (MOP-001-F 2002, 2002) determina un valor máximo de 35% respecto al límite líquido y un umbral de 9% para el índice de plasticidad, por consiguiente, la subrasante se encuentra dentro de los rangos adecuados.

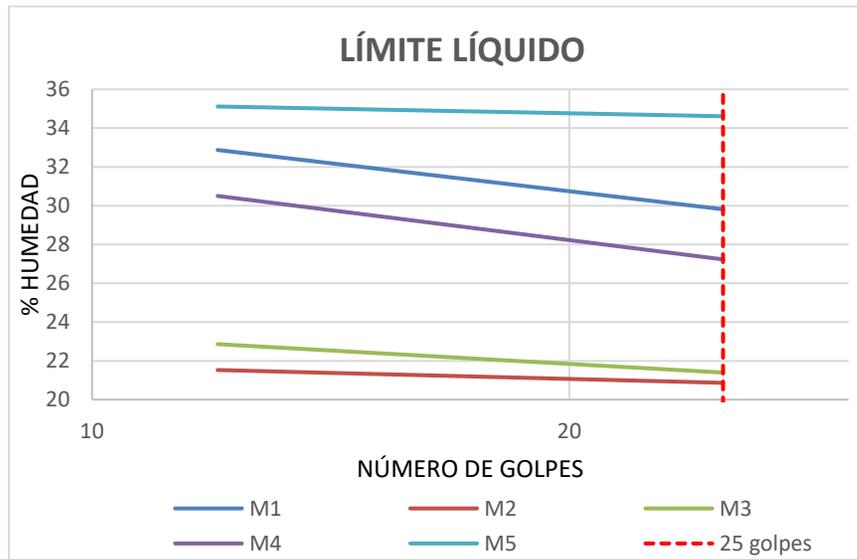
En la tabla y figura siguiente propiamente muestra los parámetros de humedad de la capa granular denominada Base, se logra otra que el índice de plasticidad es nulo, al igual que su límite plástico. Para Bases el (MOP-001-F 2002, 2002) establece un valor máximo de 25% de límite líquido (contenido de humedad) y un 6% máximo para el índice de plasticidad, siendo los valores de las 5 muestras inferiores y estando dentro de los umbrales normativos.

**Tabla 8***Parámetros por Contenido de Humedad - Base*

<b>Muestra</b>	<b>Límite Líquido (%)</b>	<b>Límite Plástico (%)</b>	<b>Índice de Plasticidad Ip (%)</b>
1	18.90	NP	NP
2	23.67	NP	NP
3	24.89	NP	NP
4	22.82	NP	NP
5	21.99	NP	NP
<b>Promedio</b>	<b>22.46</b>	<b>NP</b>	<b>NP</b>

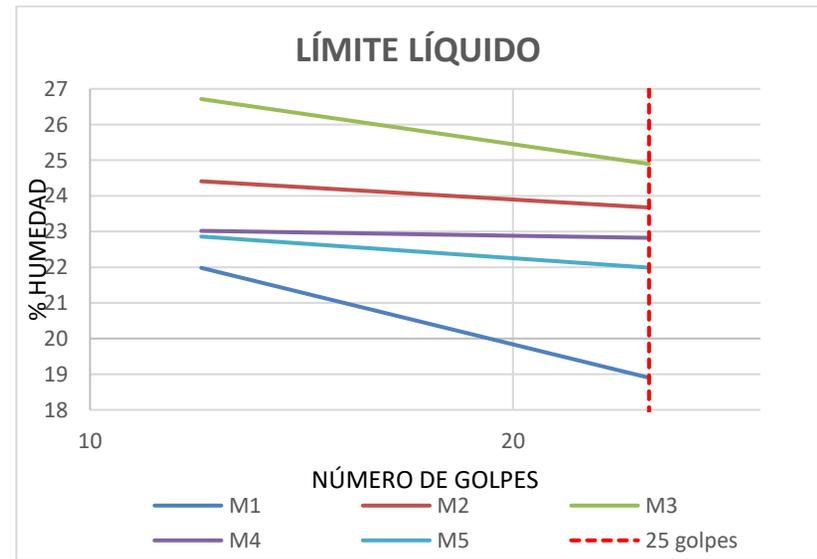
**Figura 16**

*Límite Líquido – Sub Rasante*



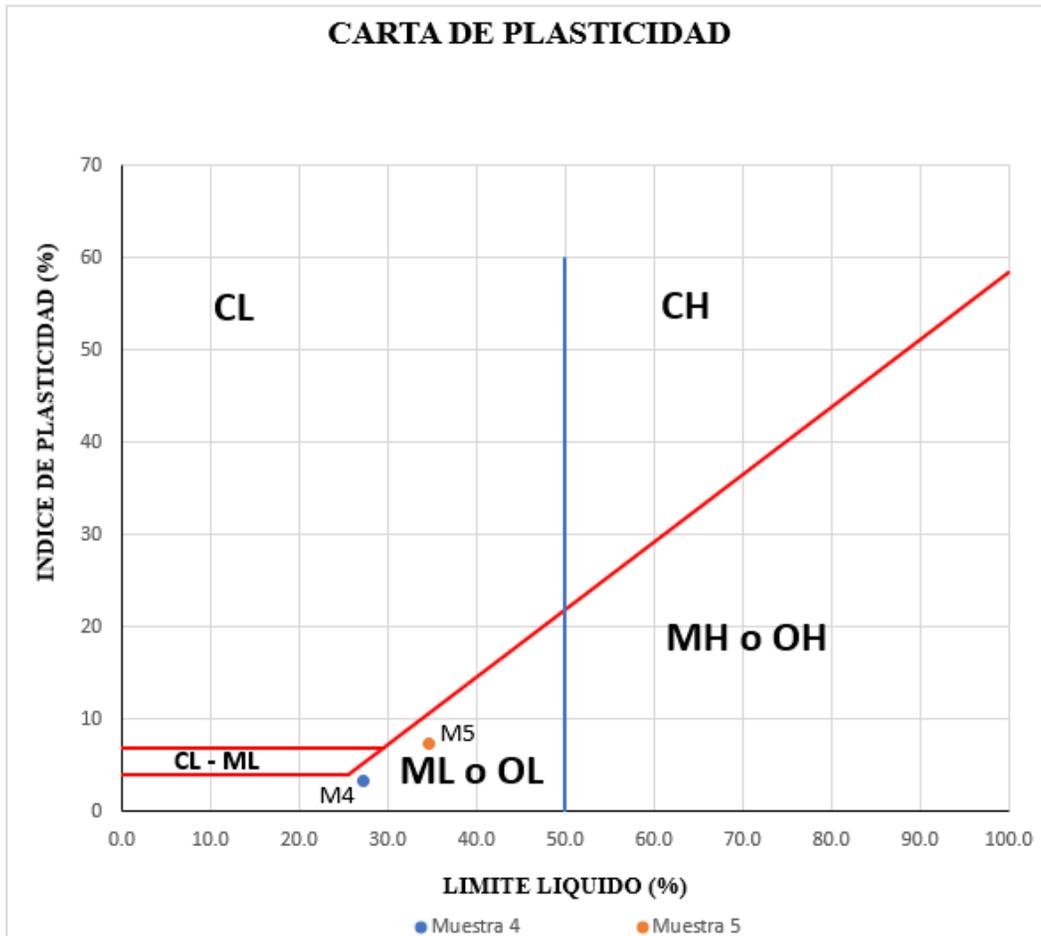
**Figura 17**

*Límite Líquido – Base*



**Figura 18**

*Carta de Plasticidad Subrasante, Muestra 4 y Muestra 5*



La figura posterior muestra la carta de plasticidad de los distintos tipos de suelo según la clasificación SUCS, para el caso se ha definido los puntos 4 y 5 de la subrasante, ambos se clasifican como suelos limosos u orgánicos de baja compresibilidad.

Resulta importante definir a través de la clasificación el tipo de suelo, debido a la plasticidad alta o baja que pueda tener el material, los materiales que tengan elevada plasticidad serán un inconveniente en la composición del estrato, debido a su variación de volumen por el incremento y decremento de este por la absorción de líquido de las partículas, materiales como la arcilla tienen rangos de expansión y contracción considerables, que provocarían daños en la capa

de rodadura por la fisuración, grietas, o hundimientos, desmejorando la obra vial en tiempos imprevistos.

#### 4.1.4 Densidad y Absorción

Las partículas gruesas y finas del sustrato tienen distintos niveles de infiltración, el material grueso tiene mayores espacios entre sus partículas, por tanto, tendrá mayores niveles de infiltración. Dependiendo del estado de las partículas a nivel físico o mecánico, es decir, niveles de absorción y compresibilidad, se tendrá mayor permeabilidad.

**Tabla 9**

*Densidad y Absorción (Base)*

<b>Descripción</b>	<b>Variable</b>	<b>Unidad</b>	<b>Grueso</b>	<b>Fina</b>
Gravedad específica seca al horno	$SG_{SH}$	-	2.479	2.415
Gravedad específica saturada superficialmente seca	$SG_{SSS}$	-	2.549	2.450
Gravedad específica aparente	$SG_A$	-	2.669	2.504
Densidad seca al horno	$DS_H$	kg/m <sup>3</sup>	2495.830	2434.843
Densidad saturada superficialmente seca	$D_{SSS}$	kg/m <sup>3</sup>	2566.302	2469.739
Densidad aparente	$D_A$	kg/m <sup>3</sup>	2685.472	2523.535
Absorción del material	$ABS$	%	2.803	0.510

El peso del agregado grueso es mayor que el fino, desde el punto de vista por densidad seca, saturada superficialmente seca y secada en horno, de manera jerárquica en ese orden. Así también reflejada en el cálculo de las gravedades específicas, relacionadas directamente a la flotabilidad.

#### 4.1.5 Cono de Arena

La determinación de la densidad seca IN-SITU se muestra en este apartado, para lo cual se necesitó del cono de arena y su material calibrado, este material se introdujo en el hoyo en el cual se efectuó el ensayo en campo para cada una de las muestras en el tramo de vía estudiado, los datos recolectados y cálculos realizados se sintetizan en las siguientes tablas, tanto para la Base como para la Rasante.

**Tabla 10.***Densidad Seca IN-SITU (Base)*

<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL MATERIAL EXTRAIDO - BASE</b>					
Muestra N°	1	2	3	4	5
Peso Recipiente + Muestra Húmeda (g)	5988.00	5545.00	5190.00	5121.70	5400.20
Peso Recipiente + Muestra Seca (g)	5706.00	5325.00	4906.10	4905.50	5108.30
Peso del Agua (g)	282.00	220.00	283.90	216.20	291.90
Peso Recipiente (g)	612.00	498.00	613.40	619.50	607.10
Peso Muestra Seca (g)	5094.00	4827.00	4292.70	4286.00	4501.20
Contenido de Humedad W (%)	5.54	4.56	6.61	5.04	6.48
<b>DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD SITU</b>					
Ensayo N°	1	2	3	4	5
Densidad de la Arena (gr/cm3)	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300
Peso Arena de Llenado hoyo (gr)	2984.000	2785.000	2995.000	2920.000	2820.000
Volumen Excavación (cm3)	2295.38	2142.31	2303.85	2246.15	2169.23
Peso de Material Extraído Húmedo (gr)	4956.00	4524.20	4576.60	4502.20	4793.10
Peso Seco de Material Extraído (gr)	5094.00	4827.00	4292.70	4286.00	4501.20
Densidad Húmeda In-situ (gr/cm3)	2.16	2.11	1.99	2.00	2.21
Densidad Seca In-Situ (gr/cm3)	2.05	2.02	1.86	1.91	2.08

**Tabla 11***Densidad Seca IN-SITU (Rasante)*

<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL MATERIAL EXTRAIDO - RASANTE</b>					
Muestra N°	1	2	3	4	5
Peso Recipiente + Muestra Húmeda (g)	2422.00	3289.00	2954.17	3385.80	2907.30
Peso Recipiente + Muestra Seca (g)	2200.70	3177.80	2651.00	3226.80	2736.40
Peso del Agua (g)	221.30	111.20	303.17	159.00	170.90
Peso Recipiente (g)	498.00	497.00	497.80	496.20	498.20
Peso Muestra Seca (g)	1702.70	2680.80	2153.20	2730.60	2238.20
Contenido de Humedad W (%)	13.00	4.15	14.08	5.82	7.64
<b>DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD SITU</b>					
Ensayo N°	1	2	3	4	5
Densidad de la Arena (gr/cm3)	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300
Peso Arena de Llenado hoyo (gr)	2893.500	2995.000	1786.000	2802.000	2901.000
Volumen Excavación (cm3)	2225.77	2303.85	1373.85	2155.38	2231.54
Peso de Material Extraído Húmedo (gr)	4024.00	4879.60	2456.37	4502.20	4793.10
Peso Seco de Material Extraído (gr)	1702.70	1702.70	2153.20	2730.60	2238.20
Densidad Humedad In-situ (gr/cm3)	1.81	2.12	1.79	2.09	2.15
Densidad Seca In-Situ (gr/cm3)	1.60	1.87	1.57	1.97	2.00

La densidad seca IN-SITU es un parámetro en la razón que desemboca el hallazgo del grado de compactación.

#### **4.1.6 Ensayo Proctor Modificado.**

En el ensayo Proctor modificado se detalla curva de compactación, y acorde a las muestras obtenidas mediante calicatas en diferentes tramos de la vía E47.

En la tabla 3 muestra un resumen de los resultados del ensayo Proctor modificado realizado para la capa correspondiente a la Base, tanto la humedad optima como la densidad máxima seca vinculante.

**Tabla 12**

*Resultados Ensayo Proctor Modificado*

<b>Densidad Máxima Seca y Humedad Óptima</b>						
<b>Características</b>	<b>Calicates</b>	<b>Muestra</b>				
		1	2	3	4	5
Humedad Óptima (%)	<b>Base</b>	6.85	5.78	9.50	7.08	4.10
Densidad Máxima Seca (grs/cm <sup>3</sup> )		2.11	2.12	1.95	2.05	2.21

Así mismo a continuación, se muestra un compendio de las curvas de compactación de la capa granular de base, aquella ilustración describe el distinto estado del tramo de vía analizado y/o las características de la capa granular atribuible a la topografía diversa en los distintos sitios por donde se despliega la infraestructura construida.

En esta capa el porcentaje de humedad es directamente proporcional con la densidad seca de cada muestra, el material dispuesto tiene características similares, lo cual se ve representado cuantitativamente a través de los ensayos.

#### **4.1.7 Ensayo Proctor Normal**

En el ensayo Proctor normal se detalla la curva de compactación, y acorde a las muestras obtenidas mediante calicatas en diferentes tramos de la vía E47.

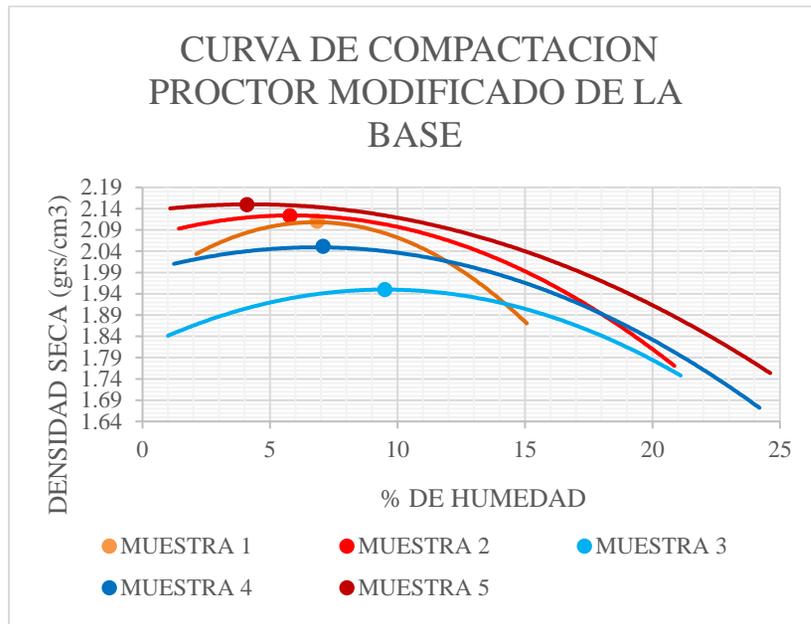
Semejantemente al proceso realizado en la anterior capa granular, para la capa de la Subrasante se evaluó su densidad máxima seca en la que se encuentra cada una de las 5 muestras tomadas. Esto se visualiza sintetizado de manera numérica y grafica en la tabla y figura subsecuente. Además, los datos de ensayo y el armado de cada curva se muestran en los Anexos.

**Tabla 13***Resultados Ensayo Proctor Normal*

<b>Densidad Máxima Seca y Humedad Óptima</b>						
<b>Características</b>	<b>Calícatos</b>	<b>Muestra</b>				
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Humedad Óptima (%)	<b>Subrasante</b>	15.28	8.43	17.30	7.58	11.96
Densidad Máxima Seca (grs/cm <sup>3</sup> )		1.68	1.93	1.62	2.04	2.08

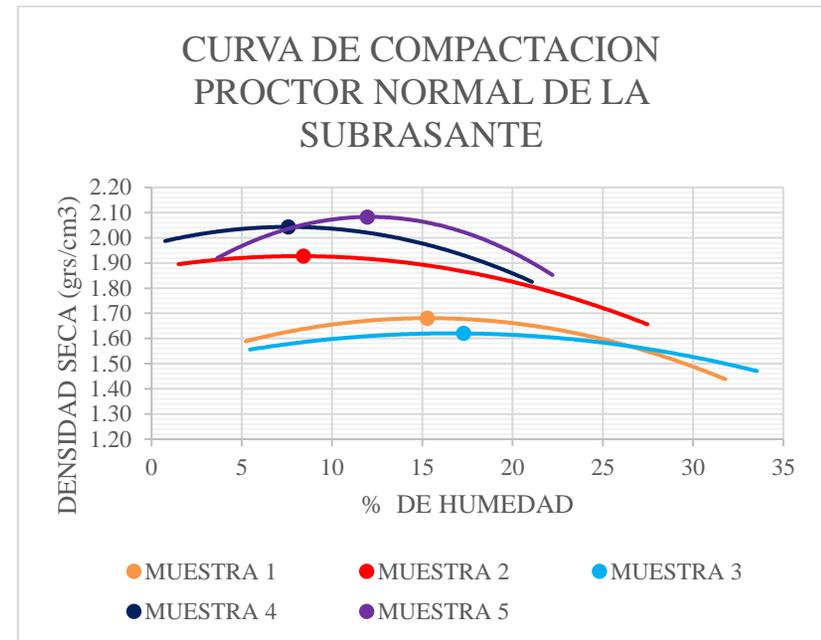
**Figura 19.**

*Curvas de Compactación de la Base*



**Figura 20**

*Curvas de Compactación de la Subrasante*



La densidad máxima seca es proporcional a la humedad óptima para 4 de las 5 muestras, la quinta muestra refleja una mayor densidad seca y a la vez un mayor porcentaje de humedad que la constituye; esto es debido a que, en este punto el material presenta una mayor cantidad de finos (limos), en estos tipos de suelos al tener una humedad mayor (óptima), las partículas se cohesionan considerablemente a comparación de un suelo de composición más suelta.

La normativa del ministerio de Obras Públicas, establece que los suelos usados en la estructura del pavimento deben tener una expansión inferior al 4% y a la vez estos no deberán tener una densidad mínima de 1400 kg/m<sup>3</sup> (MOP-001-F 2002, 2002); dejando en evidencia que el tipo de material usado en la base y Subrasante es adecuado, en todas las muestras se sobrepasa la densidad mínima dispuesta.

#### **4.1.8 Grado de Compactación**

El grado de compactación de un suelo se lo refleja de manera porcentual, los parámetros vinculantes e influyentes son la densidad máxima determinada por el ensayo Proctor Normal o Proctor Modificado y la densidad seca obtenida IN-SITU.

Las posteriores tablas contienen los valores y el resultado de grado de compactación para las 5 muestras realizadas en ambas capas estudiadas que componen la estructura del pavimento flexible.

**Tabla 14**

*Grado de Compactación – Base (Cono de Arena)*

<b>DENSIDAD MAXIMA DEL ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>DENSIDAD SECO (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>% DE COMPACTACION</b>
2.11	1	2.05	97.16
2.12	2	2.02	95.28
1.95	3	1.86	95.38
2.05	4	1.91	93.17
2.21	5	2.08	94.12

**Tabla 15***Grado de Compactación – Rasante (Cono de Arena)*

<b>DENSIDAD MAXIMA DEL ENSAYO PROCTOR NORMAL (gr/cm3)</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>DENSIDAD SECO (gr/cm3)</b>	<b>% DE COMPACTACION</b>
1.68	1	1.60	95.24
1.93	2	1.87	96.89
1.62	3	1.57	96.91
2.04	4	1.97	96.57
2.08	5	2.00	96.15

El grado de compactación para terrenos naturales, terraplenes, rellenos y subrasantes deberá ser como mínimo del 95% (MOP-001-F 2002, 2002). De acuerdo lo ensayado la rasante cumple con la disposición normativa, en todos los puntos de extracción de información sobrepasan el límite mínimo establecido. La base en 4 de las 5 muestras no alcanza aquel umbral normado.

#### **4.2 Ensayos con Equipo Eléctrico – Características Físicas**

##### **4.2.1 Densímetro Eléctrico EDG**

**Tabla 16***Comparativa de Metodología Manual vs Equipo Eléctrico (Base)*

<b>PUNTO</b>	<b>CAPA GRANULAR BASE</b>			
	<b>CONO DE ARENA (Equipo Manual)</b>		<b>DENSIMETRO ELECTRICO (Equipo Eléctrico)</b>	
	<b>COMPACTACION %</b>	<b>HUMEDAD %</b>	<b>GRADO COMPACTACION %</b>	<b>HUMEDAD %</b>
1	97.16	5.54	97.00	5.50
2	95.28	4.56	95.20	4.60
3	95.38	6.61	95.70	6.60
4	93.17	5.04	89.80	5.00
5	94.12	6.48	93.90	6.50

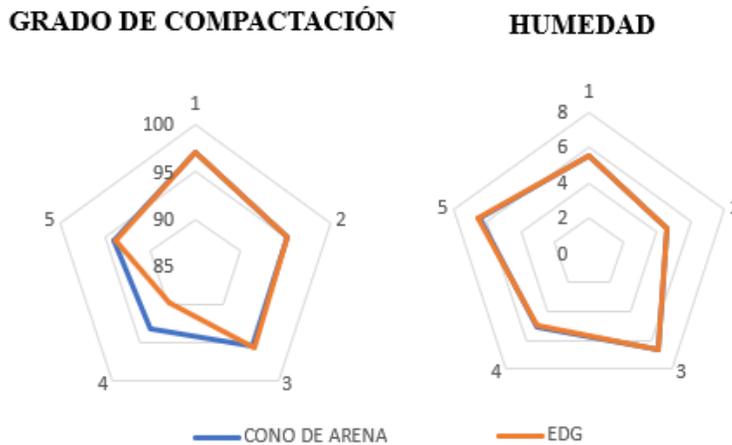
La comparativa entre el proceso de cono de arena y el llevado a cabo a través del densímetro eléctrico (EDG), denota una ínfima variabilidad de los resultados, de acuerdo a las 5 muestras tomadas en el tramo de vía en estudio, existe una variabilidad del 0.70% referidos al porcentaje de

compactación y el 0.01% es lo correspondiente a la humedad en promedio. Esto es un indicativo de la fiabilidad para la utilización del equipo eléctrico para la toma y estudio de datos para controlar y/o corregir las características de un pavimento.

De manera gráfica, se presenta posteriormente la comparativa entre el equipo manual y el eléctrico para el estrato Base.

**Figura 21.**

*Equipo Manual vs Eléctrico (Base)*



**Tabla 17**

*Comparativa de Metodología Manual vs Equipo Eléctrico (Subrasante)*

PUNTO	CAPA GRANULAR RASANTE			
	CONO DE ARENA		DENSIMETRO ELECTRICO	
	COMPACTACION (%)	HUMEDAD (%)	COMPACTACION (%)	HUMEDAD (%)
1	95.24	13.00	93.40	14.10
2	96.89	4.15	94.50	5.80
3	96.91	14.08	96.30	14.10
4	96.57	5.82	96.80	5.80
5	96.15	7.64	96.00	7.60

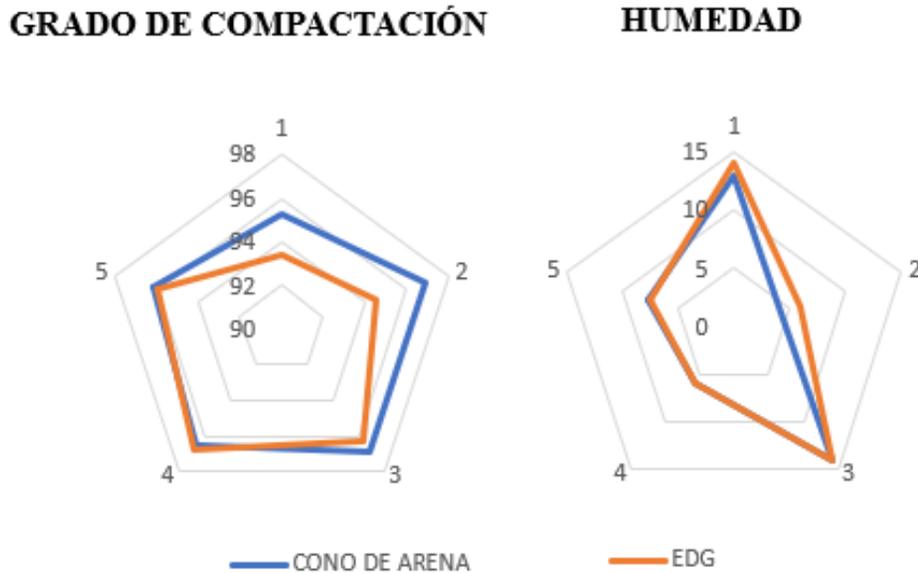
De manera similar que lo analizado en la capa granular de la subrasante, en esta existe una mayor variación entre la comparativa de uso de cada metodología; sin embargo, esta tampoco muestra resultados que disten demasiado, por lo que, el uso del equipo eléctrico se podría

incentivar para la verificación de la estructura de pavimento que se colocara acorde al diseño o en mantenimientos correctivos en los que claramente se necesita saber las condiciones del mismo.

Consecuentemente con el procedimiento analítico anteriormente, para la Subrasante se muestra la comparativa grafica correspondiente a la utilización de ambos equipos.

**Figura 22**

*Equipo Manual vs Eléctrico (Subrasante)*



El método con el equipo eléctrico es menos intrusivo, además es eficiente en la caracterización del pavimento en cualquier momento del proyecto civil.

### 4.3 Ensayos de Laboratorio – Características Mecánicas

#### 4.3.1 Mancha de Arena

El ensayo de la mancha o círculo de arena evidenció la condición actual del pavimento, es decir, su textura. El ensayo se realizó 4 veces en cada muestra, tomándose tres medidas de diámetros para tener mayor certeza de los resultados.

La muestra tomada número cuatro refleja una superficie con menor desgaste, específicamente con textura de 0.50mm en promedio, las demás muestras del tramo en estudio son similares.

**Tabla 18***Ensayo del Círculo de Arena*

PUNTOS	VOLUMEN (mm <sup>3</sup> )	Diam. 1 (mm)	Diam. 2 (mm)	Diam. 3 (mm)	Diam. 4 (mm)	Prom. Diam (mm)	Altura (mm)	Prom. Altura (mm)
1	25000	244	260	239	248	247.75	0.52	0.60
		235	230	238	226	232.25	0.59	
		215	224	199	220	214.50	0.69	
2	25000	220	223	219	215	219.25	0.66	0.68
		220	220	210	218	217.00	0.68	
		210	213	216	212	212.75	0.70	
3	25000	215	210	217	219	215.25	0.69	0.67
		220	225	213	220	219.50	0.66	
		220	225	219	205	217.25	0.67	
4	25000	260	250	264	265	259.75	0.47	0.52
		255	258	246	259	254.50	0.49	
		230	228	232	229	229.75	0.60	
5	25000	214	217	218	205	213.50	0.70	0.64
		225	230	228	221	226.00	0.62	
		230	240	236	219	231.25	0.60	

Los relieves resultantes en el tramo vial, dan una muestra de los fenómenos causados en la interacción entre el pavimento y el automotor, si bien, una mayor rugosidad genera mayor seguridad, también desemboca en retención líquida, una mayor resistencia al deslizamiento, afecta en la calidad de la conducción, ruido en los neumáticos, es decir un desgaste del automotor.

Lo dispuesto en MTOP en la tabla 405-9.1 para una macrotextual que tenga por objetivo la seguridad, esta empieza con un valor mínimo para los relieves de 0.50mm; es decir correspondiente con lo destacado en el apartado 2.3.9; es decir, la superficie sigue estando dentro de los estándares de seguridad, pero con afectaciones al desempeño automovilístico como se lo indico anteriormente.

#### **4.4 Ensayos con Equipo Eléctrico – Características Mecánicas**

##### **4.4.1 GeoGauge**

El GeoGauge eléctrico que nos permite evaluar las propiedades mecánicas de un suelo, como el módulo de Young y la Rigidez. Ambas variables influyentes en el desempeño óptimo de un pavimento y están ligadas entre sí, debido a que el módulo de Young permite evaluar la

capacidad elástica hasta el límite de proporcionalidad, este será directamente proporcional a la rigidez incorporada en la capa granular ensayada. A continuación, se sintetizan los valores arrojados por el equipo eléctrico en cuestión.

**Tabla 19**

*Módulo de Young*

<b>Muestra</b>	<b>Sub Rasante [MPa]</b>	<b>Sub Base [MPa]</b>	<b>Base [MPa]</b>
M1	35.38	52.31	40.26
M2	55.38	74.38	33.81
M3	35.97	37.87	37.98
M4	31.84	25.34	73.03
M5	28.17	39.18	33.47

**Tabla 20**

*Módulo de Rigidez*

<b>Muestra</b>	<b>Sub Rasante [MN/m]</b>	<b>Sub Base [MN/m]</b>	<b>Base [MN/m]</b>
M1	4.77	7.12	5.44
M2	7.62	10.04	4.6
M3	4.85	5.11	5.12
M4	4.29	3.42	10.08
M5	3.08	5.33	4.55

El módulo de Young es en promedio 7.37 veces mayor que el módulo de Rigidez para las características del tramo vial estudiado.

A continuación, se presenta una tabla que correlaciona el módulo de rigidez del pavimento con la capacidad de soporte (CBR), se lo analizó con 3 procedimientos, para procurar una mayor exactitud en los resultados a través de su comparación.

Las ecuaciones Ec. (1), Ec. (2) y Ec. (3) que hacen referencia a los procedimientos tomados, se ilustran previamente en el apartado 2.4.2.

**Tabla 21***Características Mecánicas*

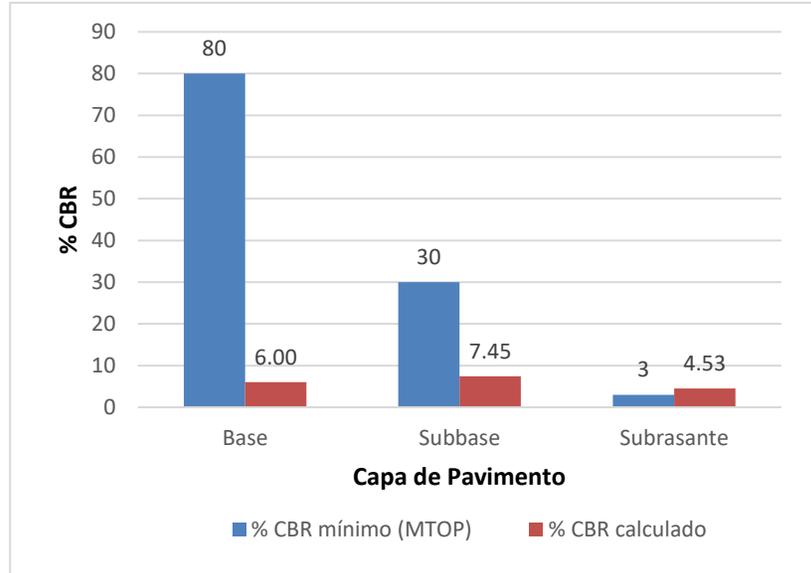
DATOS GEOGAUGE				CALCULOS			
MUESTRA N°	MODULO			CBR	CBR	CBR	
	YOUNG (MPa)	Rigidez (MN/m)	YOUNG (PSI)	Ec. (1) (%)	Ec. (2) (%)	Ec. (3) (%)	
<b>BASE</b>	1	40.26	5.44	5824.99	2.93	3.62	6.74
	2	33.81	4.6	4891.77	0.46	2.76	5.31
	3	37.98	5.12	5495.11	1.94	3.31	6.22
	4	73.03	10.08	10566.29	24.05	9.19	15.24
	5	33.47	4.55	4842.58	0.32	2.72	5.23
<b>PROMEDIO</b>	<b>43.71</b>	<b>5.96</b>	<b>6324.15</b>	<b>5.94</b>	<b>4.32</b>	<b>7.75</b>	
<b>SUBBASE</b>	1	52.31	7.12	7568.43	9.12	5.46	9.65
	2	74.38	10.04	10761.61	23.81	9.46	15.62
	3	37.87	5.11	5479.19	1.91	3.29	6.20
	4	25.34	3.42	3666.30	-	1.76	3.57
	5	39.18	5.33	5668.73	2.58	3.47	6.49
<b>PROMEDIO</b>	<b>45.82</b>	<b>6.20</b>	<b>6628.85</b>	<b>9.36</b>	<b>4.69</b>	<b>8.31</b>	
<b>SUBRASANTE</b>	1	35.38	4.77	5118.93	6.65	3.41	3.43
	2	55.38	7.62	8012.61	10.43	5.34	5.38
	3	35.97	4.85	5204.29	5.78	3.47	3.49
	4	31.84	4.29	4606.74	4.89	3.07	3.09
	5	28.17	3.80	4075.75	4.13	2.72	2.73
<b>PROMEDIO</b>	<b>37.35</b>	<b>5.07</b>	<b>5403.67</b>	<b>6.37</b>	<b>3.60</b>	<b>3.63</b>	

Siendo adecuado un módulo de rigidez de 250Mpa aproximado para bases granulares, de 145Mpa para subbases y de 35 a 80Mpa para subrasantes, es decir, un CBR de 80%, 30% y 3-10% respectivamente (Leiva Villacorta, 2012), se compara con los resultados obtenidos, los cuales no son suficientes para asegurar una adecuada estructura del pavimento, su deterioro es evidente.

Los valores promedios de CBR para la base es de 6%, para subbase de 7.45% y para subrasante de 4.53%, es decir una capacidad de soporte adecuada solo en la capa de subrasante en las demás capas superiores, la capacidad de soporte es insuficiente. Los resultados promedios se demuestran gráficamente a continuación.

**Figura 23**

*CBR en Zona de Estudio*



**4.5 Propiedades Hidráulicas del Pavimento Flexible**

La determinación de las propiedades hidráulicas del pavimento se las realizó con el equipo denominado infiltrómetro de doble anillo, los tiempos y alturas de infiltración que demuestran el procedimiento realizado a continuación

**Tabla 22**

*Ensayo de Infiltrómetro de Doble Anillo*

<b>DATOS DE CAMPO</b>				
<b>Fecha:</b>	Martes, 14 de enero de 2025			
<b>Ciudad:</b>	Riobamba-Chimborazo			
<b>Lugar:</b>	Tramo Cebadas - Atillo			
<b>Clima:</b>	Soleado	<b>Estado de la vía:</b>		Bueno
<b>Coordenada del punto:</b>	<b>NORTE</b>		9788592.112	
	<b>ESTE</b>		761764.774	
<b>INTERVALO</b>	<b>TIEMPO INTERVALO (Minutos)</b>	<b>TIEMPO ACUMULADO (Minutos)</b>	<b>TIEMPO ACUMULADO (Horas)</b>	<b>h (cm)</b>
-	10:55 a. m.	0	0	0.59

10:55 a. m.	11:55 a. m.	60	60	1	1.80
11:55 a. m.	12:55 p. m.	60	120	2	3.10
12:55 p. m.	1:55 p. m.	60	180	3	4.20
1:55 p. m.	2:55 p. m.	60	240	4	5.00
2:55 p. m.	3:55 p. m.	60	300	5	5.80
3:55 p. m.	4:55 p. m.	60	360	6	6.50
4:55 p. m.	5:55 p. m.	60	420	7	7.20
5:55 p. m.	6:55 p. m.	60	480	8	7.70

**Observación:** Al ejecutar el ensayo del infiltrómetro se colocó a un costado de vía a 1.20 de la cuneta, con una pequeña inclinación de la capa de rodadura debido al bombe de la misma vía. Las condiciones del asfalto están en buen estado.

Los valores de infiltración por punto de muestra y el promedio de estos se presentan en la siguiente tabla, así también los mínimos y máximos establecidos por la normativa nacional.

**Tabla 23**

*Valores de Infiltración*

<b>Muestra</b>	<b>Fracción de infiltración (%)</b>	<b>Coefficiente de escurrimiento C (%)</b>
1	11.80%	88.20%
2	12.70%	87.30%
3	12.60%	87.40%
4	10.70%	89.30%
5	11.40%	88.60%
promedio	11.84%	88.16%
mínimo	10.70%	87.30%
máximo	12.70%	89.30%

El coeficiente de escurrimiento varía acorde a la superficie terminada, por tanto, la normativa CPE INEN 5 estipula distintos valores según la aplicabilidad del proyecto o servicio, como se muestra a continuación.

**Tabla 24***Coefficiente Mínimo y Máximo de Escurrimiento*

<b>Tipos de Superficie</b>	<b>C norma min (%)</b>	<b>C norma max (%)</b>
Cubierta metálica	0.95	0.95
Cubierta con teja ordinaria o impermeabilizada	0.90	0.90
Pavimentos asfálticos en buenas condiciones	0.85	0.90
Pavimentos de hormigón	0.80	0.85
Empedrados (juntas pequeñas)	0.75	0.80
Empedrados (juntas ordinarias)	0.40	0.50
Pavimentos de macadam	0.25	0.60
Superficies no pavimentadas	0.10	0.30
Parques y jardines	0.05	0.25

**Fuente:** CPE INEN 5

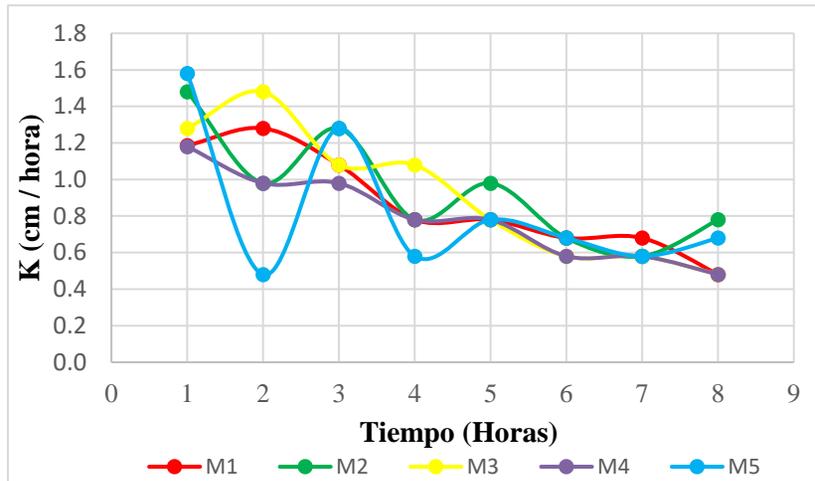
El caso de estudio propio, corresponde a “Pavimentos asfálticos”, para lo cual, el promedio de las 5 muestras analizadas se encuentra situado dentro del rango mínimo y máximo designados por la normativa de agua potable y alcantarillado nacional.

Mediante la implementación de un infiltro metro de doble anillos, se tomaron los niveles de infiltración por cada muestra en un intervalo de una hora durante 8 horas consecutivas, acorde al procedimiento se determinó la infiltración correspondiente al estado de la estructura del pavimento; es decir, la altura que defiende del espejo de agua inicial se la comparo con la altura inicial.

El nivel de infiltración por cada muestra en el intervalo de análisis en campo, indica la variabilidad de permeabilidad en los distintos estratos de la estructura del pavimento flexible, la muestra 4 presenta mayor homogeneidad, en contraparte la muestra 5 varia ampliamente, pudiéndose interpreta una variabilidad de composición inclusive dentro de una misma capa

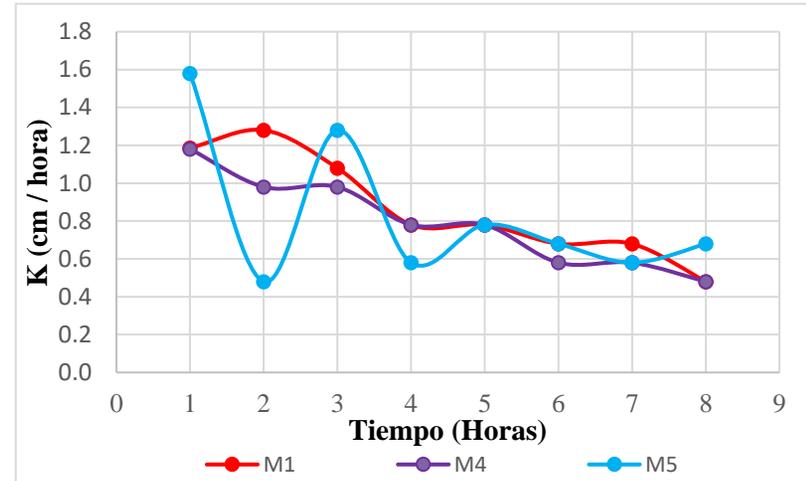
**Figura 25.**

*Curvas de Infiltración*



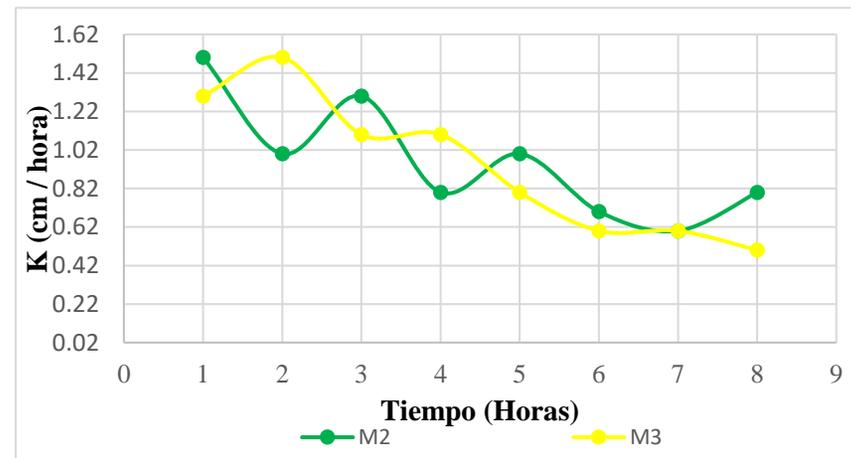
**Figura 24**

*Curvas de Infiltración – Pavimento en Buenas Condiciones*



**Figura 26**

*Curvas de Infiltración – Pavimento en Malas Condiciones*



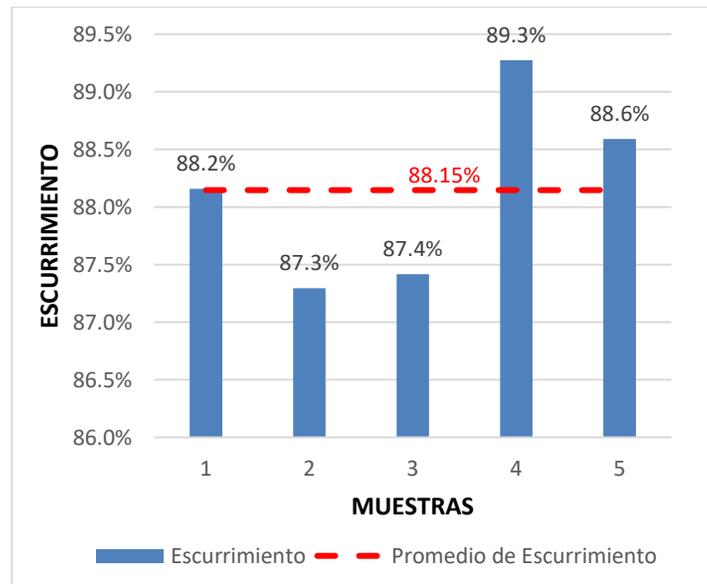
También, se ha realizado una disgregación de las curvas de infiltración acorde a las condiciones del pavimento, a continuación, se observan las curvas pertenecientes a las muestras 1, 4 y 5; en las cuales se evidenció un pavimento en buenas condiciones. El promedio de infiltración de las 3 muestras es de 11.33%.

En contraparte, las curvas de infiltración de las muestras 2 y 3 tomadas en un pavimento en malas condiciones presenta mayores niveles de infiltración, específicamente en promedio un 12.65%.

Propiamente, el coeficiente de escurrimiento es lo opuesto a la infiltración, por tanto, el promedio del tramo en estudio a continuación.

**Figura 27**

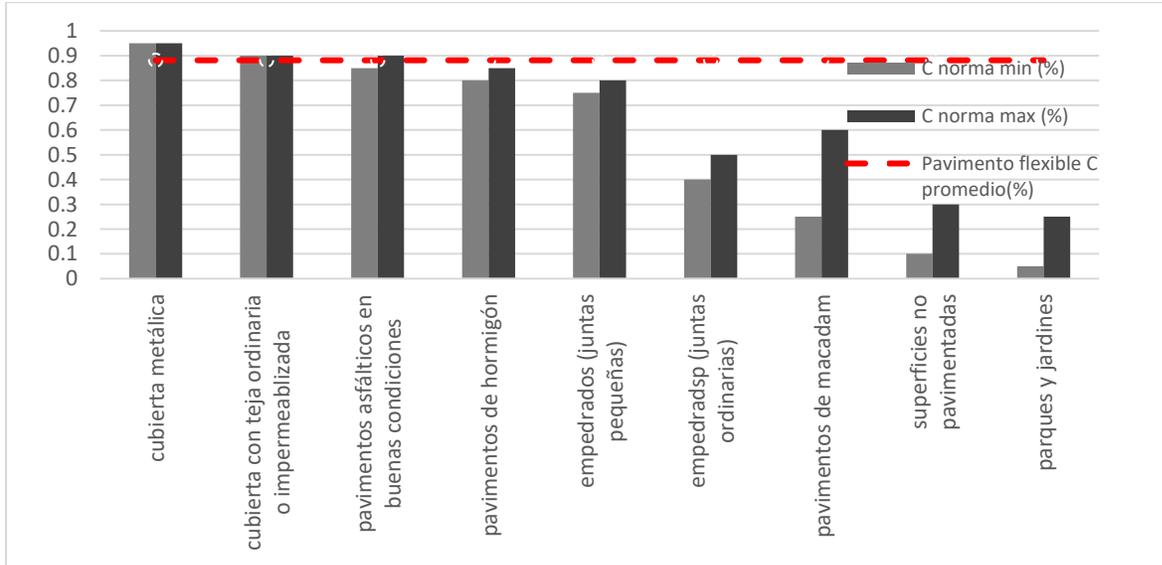
*Coefficientes de Escorrentía por Muestra*



De manera similar se hace una comparativa con los umbrales de la normativa y el promedio referido a las 5 muestras analizadas.

**Figura 28**

*Promedio de Coeficiente de Escurrimiento vs Umbrales Normativos*



#### 4.6 Discusión

##### **Propiedades mecánicas con la implementación de equipo eléctrico (Geogauge)**

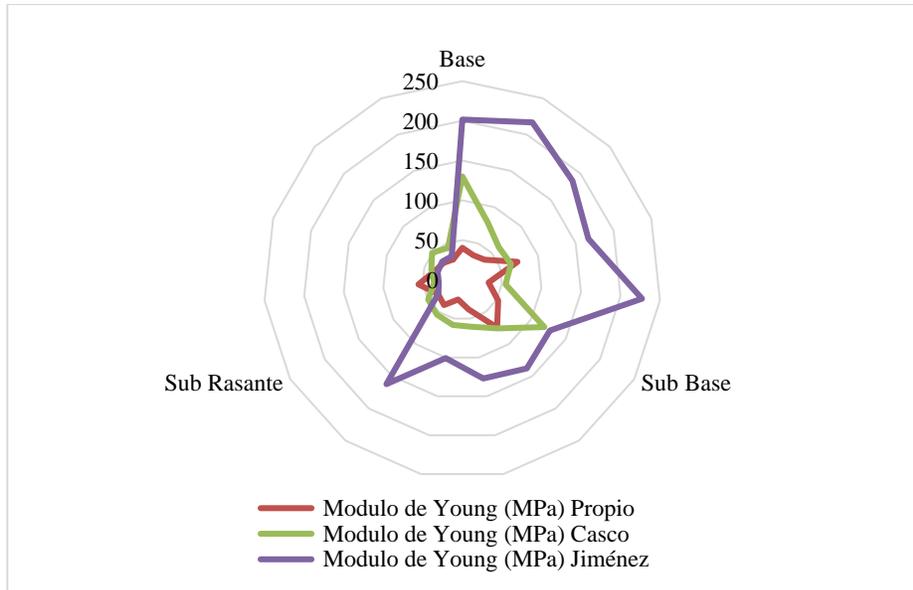
Las propiedades mecánicas propias de las capas de un pavimento se pueden determinar a través de ensayos de laboratorio tradicionales, como el Proctor o Proctor Modificado; sin embargo, también se lo determina a través de equipos eléctricos como lo es el denominado Geogauge.

A través de otras zonas de estudio que implementaron este equipo eléctrico se comparó los resultados del Módulo de Young y definir la correlación que este existe con el módulo de Rigidez.

Las posteriores figuras contienen los resultados del corredor vial Cebadas-Atillo concerniente a la zona de estudio presentada, también el corredor vial Flores-Cebadas (Casco Guevara & Salcan León, 2024) y el corredor Riobamba-Flores (Jiménez Guayanay & Aucapiña Rodríguez, 2024).

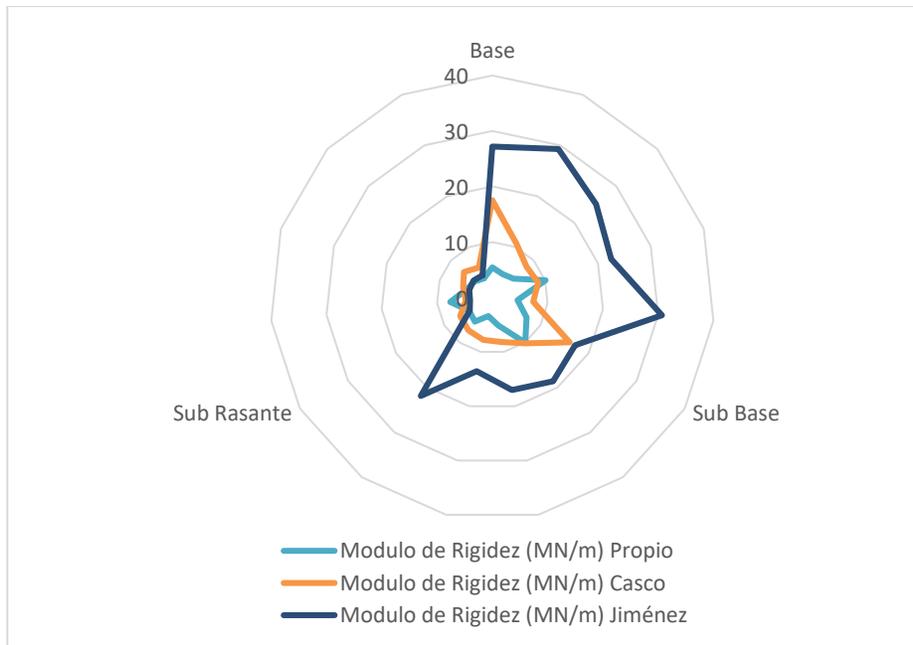
**Figura 29**

*Módulo de Young – Equipo Eléctrico (Geogauge)*



**Figura 30.**

*Módulo de Rigidez – Equipo Eléctrico (Geogauge)*



El módulo de Young guarda cierta proporcional en la subrasante de los otros estudios, así también el módulo de rigidez. Mediante los amplios datos se puede determinar la relación

proporcional que existe entre el módulo de Young y el módulo de Rigidez, siendo este en promedio 7.40 veces el Módulo de Young; factor que establece la fiabilidad homogénea del equipo eléctrico y sirve como base anticipada ante ensayos tradicionales que busquen la determinación de este parámetro mecánico.

### **Propiedades físicas en un pavimento flexible**

La composición de la Subrasante y su caracterización granulométrica es similar, como se indica en la tabla siguiente, este sustrato está compuesto de arena pobremente graduada y limosa acorde a la clasificación SUCS. Analíticamente se evidencia la clasificación mediante el coeficiente de curvatura (Cc) y el de uniformidad (Cu).

**Tabla 25**

*Comparativa de Condiciones Granulométricas en Subrasante*

<b>Descripción</b>	<b>Cc</b>	<b>Cu</b>	<b>Clasificación SUCS</b>
Propio	0.63	26.64	SP, SP-SM
Casco	0.64	12.29	SP, SP-SM
Jiménez	0.54	10.69	SP-SM
Promedio	0.60	16.54	SP-SM

Relativamente semejante, en las demás autorías la capa subrasante posee un módulo de rigidez promedio entre 5.96 y 4.40 MN/m, y obteniendo nuestros resultados del corredor vial en estudio de 5.07 MN/m, por lo tanto, la composición se muestra similar respecto a la granulometría en la capa inferior de la estructura del pavimento flexible en los corredores viales referenciales.

### **Propiedades hidráulicas en un pavimento flexible**

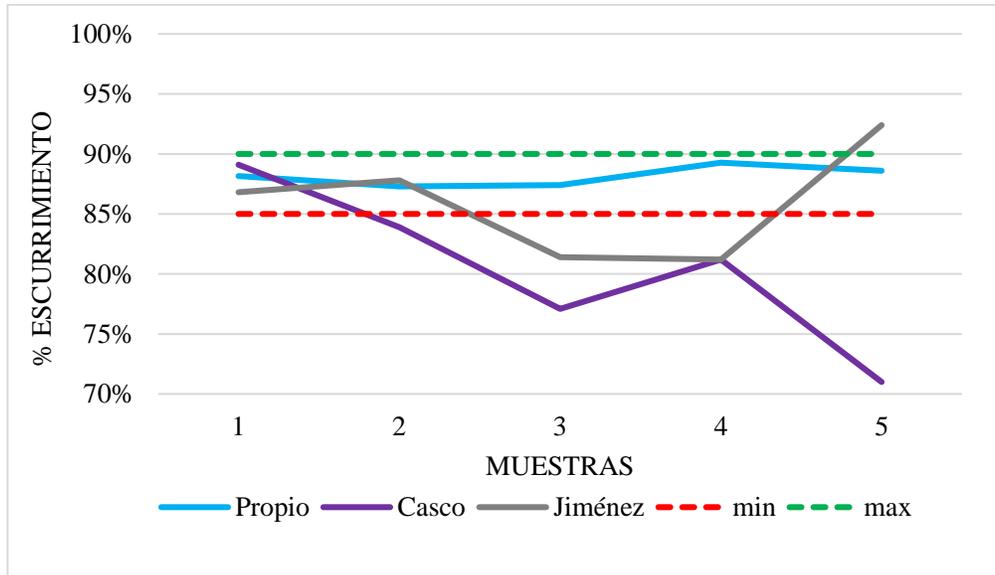
La condición climatológica en donde este situada la vía, afecta en mayor o menor medida a un pavimento, dependiendo del estado en que se encuentre. El fluido pluvial debido a precipitaciones influye en la afectación a la estructura de pavimento, por lo tanto, se relaciona la permeabilidad que pueda tener la capa de rodadura y el nivel de compactación que tenga la capa subsiguiente denominada Base.

La permeabilidad se midió en nomenclatura de escorrentía y el grado de compactación mediante los ensayos in-situ Proctor. A continuación, se muestra de manera gráfica el parangón

del comportamiento entre el coeficiente de escurrimiento y el grado de compactación, ambos en términos porcentuales.

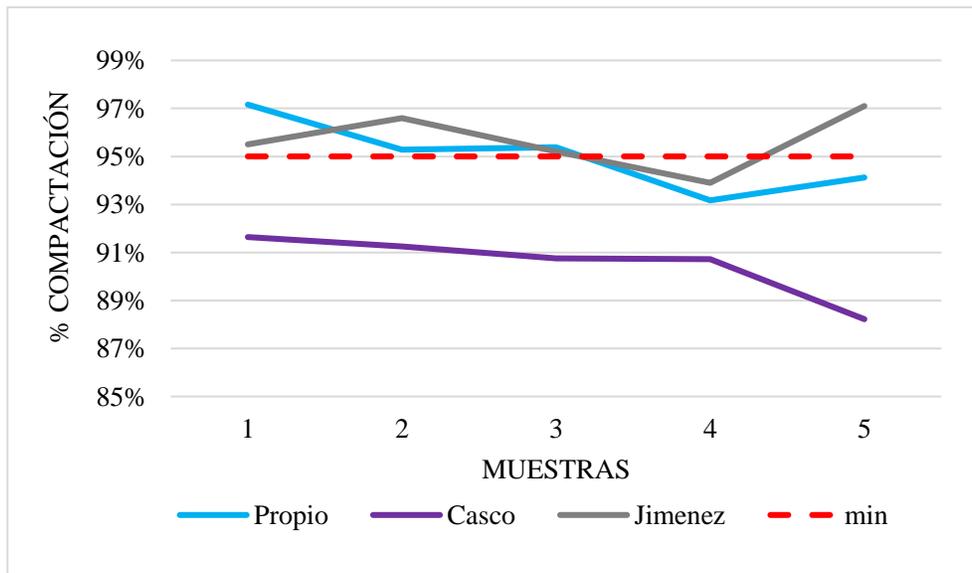
**Figura 31**

*Coeficiente de Escurrimiento - Comparación*



**Figura 32**

*Grado de Compactación (Base) - Comparación*



La capa granular base al estar situada subsiguientemente debajo de la capa de rodadura es la que influye directamente en el comportamiento de esta, siendo entonces, el grado de compactación directamente proporcional a la condición de la capa asfáltica. Se observa que, donde el grado de compactación es menor, el coeficiente de escurrimiento también es inferior, concediendo permeabilidad hacia el interior de las demás capas.

Para el corredor vial estudiado en esta investigación, tanto el porcentaje de escurrimiento como el coeficiente de escurrimiento, son adecuados acordes a los parámetros normativos mencionados en el cuerpo del presente trabajo.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

En el ensayo en campo para la determinación de la densidad seca del agregado; en lo referente a la Base se evidencia una menor densidad en cuanto mayor es el contenido de humedad en 3 de las 5 muestras tomadas, sin embargo, ocurre lo contrario en los últimos 2 puntos del tramo en estudio, debido a que se encuentra material más fino (arena fina, limo) lo que permite una mayor cohesión de las partículas del suelo a pesar de un mayor contenido de humedad. Aquella composición se asemeja en la Rasante, pero solo en el último punto de la toma de muestra.

El nivel de infiltración promedio en las 5 muestras tomadas está acorde a los valores máximos y mínimos designados en la normativa nacional, la mayor infiltración sucede en el punto de muestra dos, aunque no sea inferior al mínimo, es decir, en cuanto a las características hidráulicas en el corredor vial estudiado, la superficie tiene un adecuado coeficiente de escurrimiento promedio de 0.881.

Mediante la aplicabilidad del equipo eléctrico Geogauge se denoto una deficiencia en el módulo de Young en capas que conforman la estructura del pavimento flexible, específicamente la Base con una Rigidez promedio de 43.71 MPa y la Subbase con 45.82 Mpa; la única capa en estar dentro de los estándares fue la Subrasante con una Rigidez de 37.35 Mpa, ligeramente superior al límite de 35 MPa recomendado. Condiciones aunadas a una macrotextura fina áspera con relieves promedios de 062mm hacen que el corredor vial deba ser intervenido con mantenimientos correctivos.

Los equipos eléctricos tienen suficiente fiabilidad para reemplazar a los procedimientos manuales que se lo realizan con equipos de laboratorio, específicamente en relación al nivel de compactación y porcentaje de humedad determinado mediante el Cono de Arena y el Densímetro eléctrico, la variabilidad en cuanto a la compactación es del 0.70% y del 0.01% en cuanto a la humedad, los datos proporcionados por el módulo de Young del equipo pueden ser correlacionados para la estimación primaria del módulo de rigidez, este siendo en proporción 7.40 veces.

## 5.2 Recomendaciones

El infiltrómetro de doble anillo, deberá ser situado en una superficie suficientemente regular que permitan a los anillos tener un óptimo contacto y evitar pérdidas de líquido en los diámetros inferiores, guardando la mayor precisión y fiabilidad en los resultados que evalúan al pavimento.

Implementar mantenimientos preventivos cíclicamente que permitan asegurar la durabilidad y confort de la vía, la macrotextura es un indicativo en el desempeño del automotor que deriva en afectaciones a las propiedades mecánicas de las subcapas del pavimento, principalmente si el coeficiente de escurrimiento es bajo.

En la etapa de diseño de la estructura de pavimento asegurar una adecuada granulometría cualificada mediante los factores de uniformidad y curvatura, siendo apropiado para una compactación que soporte las cargas y tiempos previstos.

Utilizar equipos eléctricos en cuanto se pueda para la evaluación las propiedades, físicas, mecánicas e hidráulicas de un pavimento, estos tienen una suficiente fiabilidad y son de tipo “no destructivos”, proporcionando rapidez y una mayor toma de muestras que permitan diagnosticar con más precisión el estado vial.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alanya, H. S. R., & Zambrano, F. M. (2023). *Influencia de la ceniza de bagazo de caña de azúcar para la estabilización de la subrasante en el diseño de un pavimento básico de la carretera C.P. Palomar – C.P. Sta. Elena, Pangoa, Junín.*
- Alcoser, M. (2021). *Control de la energía específica para la optimización de la resistencia del proceso de compactación de bases granulares de pavimentos urbanos en la localidad de Huancayo.*
- Alvear, B. J. J., & Piñas, V. E. F. (2024). *Características físico-mecánicas e hidráulicas del pavimento articulado en la zona oriental de la ciudad de Riobamba.*
- Arevalo, M. E. A., & Maila, C. E. D. (2025). *Características físico-mecánicas e hidráulicas del pavimento rígido valoradas con equipos eléctricos en la Av. Edelberto Bonilla Oleas en Riobamba.*
- Armijo, L. X. F., & Lucio, A. (2010). *Manual de ensayos de mecánica de suelos y pavimentos para el laboratorio de la escuela de ingeniería civil de la Universidad Nacional de Chimborazo.* <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/466/1/UNACH-EC-IC-2010-0004.pdf>
- Aro, H. S., & Llano, C. E. C. (2024). *Optimización del diseño de pavimento para el intercambio vial de la av. Industrial, tramo calle Mariano Melgar - calle Reynoso en la ciudad de Tacna.*
- Arteaga, J. (2018). *Análisis del comportamiento de la base-cemento para pavimentos con adición de residuos pet reciclado.* <http://hdl.handle.net/10983/16406>
- Bedoya, C. A. R. (2023). *Análisis comparativo para la determinación del grado de compactación empleando los métodos del cono de arena, deflectómetro liviano de impacto y GeoGauGe en la capa subbase de la construcción doble vía el alto - viacha.* <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/35009/PG-8777.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Borja, C. F. (2014). *Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados del pavimento flexible de la carretera Cañete-Lunahuaná.*
- Caballeros, T. E. A. (2006). *Utilización de la geomalla como refuerzo de la estructura del pavimento flexible.*
- Casco Guevara, J. M., & Salcan Leon, V. A. (2024). *Características Físicas, Mecánicas e Hidráulicas Evaluadas en el Pavimento Flexible del Corredor Vial Flores - Cebadas.*

- Ccosi, C. D. E. (2024). *Análisis comparativo entre pavimentos flexibles con el uso de geomallas multiaxiales en la Carretera Jantha Huencalla Distrito de Plateria.*
- Cepeda, D. la C. M. E., & Rosero, E. R. S. (2024). *Evaluación de las características hidráulicas y físicas del pavimento rígido en la Avenida 9 de Octubre ubicada en la ciudad de Riobamba.*
- Colmenares, V. D. M., & Salvador, V. J. J. (2019). *Diseño de la red de drenaje pluvial en los pueblos jóvenes San Lorenzo y Santa Ana - distrito de José Leonardo Ortiz -provincia de Chiclayo - región Lambayeque [Universidad Señor de Sipán].* <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/5309/Colmenares%20V%c3%a1squez%20%26%20Salvador%20Vasquez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Córdova, P. C. I. (2017). *Efecto del contenido de finos no plásticos en la compresibilidad y rotura de partículas de arena de relave.*
- Cuadros, S. C. M. (2017). *Mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante en una vía afirmada de la red vial departamental de la región Junín mediante la estabilización química con óxido de calcio-2016.* <https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/297/Cadros%20Surichahui%20Claudia%20Maria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Díaz, V. S. B. (2018). *Estudio hidrológico e hidráulico para el diseño del sistema de drenaje de la carretera departamental SM-110 Metal–Marcos, distrito Shunte, provincia Tocache–San Martín.*
- Figueroa, M. A. V. (2023). *Análisis estructural mediante el ensayo de viga benkelman aplicada en la sub base granular de la carretera dv. Cerro de Pasco–dv. Chacayan del km 181+ 000 al km 230+ 000, Pasco-2023.*
- Gallego, R. L. F. (2023). *Evaluación de la condición superficial del pavimento para análisis del estado de las vías sector norte barrio Guaimaral, comprendido entre las calles 7b norte–11a norte entre avenidas Guaimaral–13 este, ubicado en la comuna 5, San José de Cúcuta, Norte de Santander.*
- Garzón, J., & Baez, F. (2015). *Efectos del flujo del agua superficial y subterránea en la estructura de los pavimentos flexibles.* <https://repository.ugc.edu.co/handle/11396/3389>
- Giordani, C., & Leone, D. (2020). *Pavimentos.* [https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1\\_anio/civil1/files/IC%20I-Pavimentos.pdf](https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1_anio/civil1/files/IC%20I-Pavimentos.pdf)

- Grisi, B. S. (2017). *Deflexión y la capa de rodadura del pavimento flexible, en la avenida Santa Rosa-San Juan de Lurigancho-Lima*. 2016.
- Instituto Mexicano del Transporte. (1998). *Diagnóstico de las Carreteras Superficiales de los Pavimentos*.
- Jiménez, G. W. F., & Aucapiña, R. R. J. (2024). *Características físicas, mecánicas e hidráulicas evaluadas en el pavimento flexible del corredor vial Riobamba-Flores*.
- Jimenez Guayanay, W. F., & Aucapiña Rodriguez, R. J. (2024). *Características Físicas, Mecánicas e Hidráulicas Evaluadas en el Pavimento Flexible del Corredor Vial Riobamba-Flores*.
- Juanazo, C., & Saldivia, F. (2022). *Análisis y diseño estructural de pavimento flexible utilizando el método mecanista sobre una vía lateral a la altura del cantón Alfredo Baquerizo Moreno (Jujan), provincia del Guayas*. [Universidad de Guayaquil]. <https://repositorio.ug.edu.ec/items/61d7cf2e-5f75-4e8f-9ca6-b75d8880fbe2>
- Juárez, B. E., & Rodríguez, R. A. (2005). *Mecanica de suelos* (Limusa, Ed.; Vol. 1).
- Leiva Villacorta, F. (2012). *Desarrollo de una Guía de Diseño para Pavimentos de Bajo Volumen de Tránsito en Costa Rica*.
- Lopez, M. P. S., & Paredes, M. D. K. (2020). *Reutilización de hormigón asfáltico procedente de proyectos de recapeo para su uso como base y subbase en pavimentos flexibles*.
- Mendoza, R. G. A. (2020). *Evaluación del comportamiento mecánico de un sistema modular compuesto por materiales reciclados para uso en pavimentos de vías terciarias*.
- Minta Tenelema, O. E. (2022). *Correlación de la Macrotextura en la Superficie de Pavimentos con Marco Portátil de Textura en los Accesos Principales del Cantón Jipijapa*.
- MOP-001-F. (2002). *Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes*.
- MOP-001-F 2002. (2002). *Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes*.
- NEVI-12 - MTOP. (2013). *Norma Ecuatoriana Vial*. [https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013\\_Manual\\_NEVI-12\\_VOLUMEN\\_1.pdf](https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_1.pdf)
- Pacheco, C., & Pari, R. (2022). *Sistema de subdrenaje utilizando geodrén para captar y conducir el agua en una carretera de la selva peruana*. [https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/5904/T030\\_71335153\\_T%20ROGER%20RONALDO%20PARI%20PACHAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/5904/T030_71335153_T%20ROGER%20RONALDO%20PARI%20PACHAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Padilla, R. J. A. (2018). *Mejoramiento de la infraestructura vial a nivel de pavimento flexible de la calle Lauriama en la Provincia de Barranca–2018.*
- Paima, M. P. E., & Buendia, C. H. (2023). *Evaluación del costo y tiempo de ejecución entre los pavimentos, flexible y semirrígido, en el Jr. Ramón Castilla, CP Nueve de Abril, distrito de Tarapoto, provincia y departamento de San Martín.*
- Sierra, P. E., & Varela, P. M. (2012). *Correlación entre el método GeoGauGe y el método del cono de arena para determinar la densidad del suelo en campo.*
- Vasquez, B. B. M. (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.*
- Vera, T. J. C. (2015). *Mejoramiento con emulsiones asfálticas de bases granulares, para pavimento en la región Lambayeque.*

## ANEXOS



**Anexo 2.** *Ensayo de cono de arena IN SITU*



**Anexo 1.** *Análisis granulométrico por tamizado*



**Anexo 4.** *Copa de casa grande, Ensayo de limite liquido*



**Anexo 3.** *Ensayo límite plástico*



**Anexo 6.** *Ensayo Proctor Modificado, compactación*



**Anexo 5.** *Ensayo IN SITU GeoGauge*



**Anexo 8.** *Ensayo IN SITU Decímetro eléctrico*



**Anexo 7.** *Macrotextura de pavimento flexible*



**Anexo 9.** *Ensayo IN SITU Infiltrómetro de doble anillo*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		COORDENADAS					
		NORTE:	ESTE:				
9788592.112	761764.774						
HORA:	10:00						
ENSAYO:	DENSIDAD IN SITU - CONO DE ARENA						
PROYECTO:	TRABAJO DE TITULACION						
TESISTA:	PATIN PATIN EDGAR VINICIO						
TUTOR :	ING . PAZMIÑO CHILUISA HERNAN VLADIMIR						
MUESTRA Nº:	4/2/2024						
ABSCISA:	34+000 a 42+000	LOCALIZACIÓN:	CORREDOR VIAL CEBADAS - ATILLO				
DESCRIPCIÓN	BASE DE PAVIMENTO FLEXIBLE						
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL MATERIAL EXTRAÍDO BASE							
Muestra Nº	1	2	3	4	5		
Peso Recipiente+Muestra Húmeda (g)	5988.00	5545.00	5190.00	5121.70	5400.20		
Peso Recipiente+Muestra Seca (g)	5706.00	5325.00	4906.10	4905.50	5108.30		
Peso del Agua (g)	282.00	220.00	283.90	216.20	291.90		
Peso Recipiente (g)	612.00	498.00	613.40	619.50	607.10		
Peso Muestra Seca (g)	5094.00	4827.00	4292.70	4286.00	4501.20		
Contenido de Humedad W (%)	5.54	4.56	6.61	5.04	6.48		
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD SITU							
Ensayo Nº	1	2	3	4	5		
Densidad de la Arena (gr/cm3)	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300		
Peso Arena de Llenado hoyo (gr)	2984.000	2785.000	2995.000	2920.000	2820.000		
Volumen Excavacion (cm3)	2295.38	2142.31	2303.85	2246.15	2169.23		
Peso de Material Extraído Humedo (gr)	4956.00	4524.20	4576.60	4502.20	4793.10		
Peso Seco de Material Extraído (gr)	5094.00	4827.00	4292.70	4286.00	4501.20		
Densidad Humeda In-situ (gr/cm3)	2.16	2.11	1.99	2.00	2.21		
Densidad Seca In-Situ (gr/cm3)	2.05	2.02	1.86	1.91	2.08		

### Anexo 10. Método cono de arena IN SITU

**Proyecto:** Características físicas - mecánicas - hidráulicas del pavimento flexible del corredor vial Cebadas - Atillo con ensayos IN SITU utilizando equipos eléctricos.

**Localización:** \_\_\_\_\_

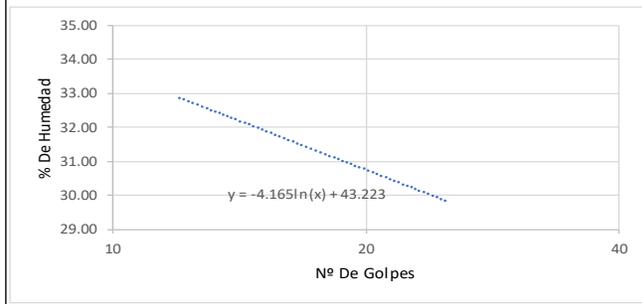
**Muestra:** 1 **Perforación:** \_\_\_\_\_

**Material:** SURASANTE \_\_\_\_\_

**Para Uso:** U **Fecha:** \_\_\_\_\_

**LIMITE LIQUIDO**

Nº DE CAPSULA	18J	16J	10F	19J
PESO DE CAPSULA grs	14.40	14.10	14.10	14.40
PESO DEL SUELO HUMEDO + CAPSULA grs	23.30	23.49	21.58	20.50
PESO DEL SUELO SECO + CAPSULA grs	21.10	21.20	19.80	19.10
PESO DEL AGUA grs	2.20	2.29	1.78	1.40
PESO DEL SUELO SECO grs	6.70	7.10	5.70	4.70
% DE HUMEDAD	32.84	32.25	31.23	29.79
NUMERO DE GOLPES	12	14	18	25

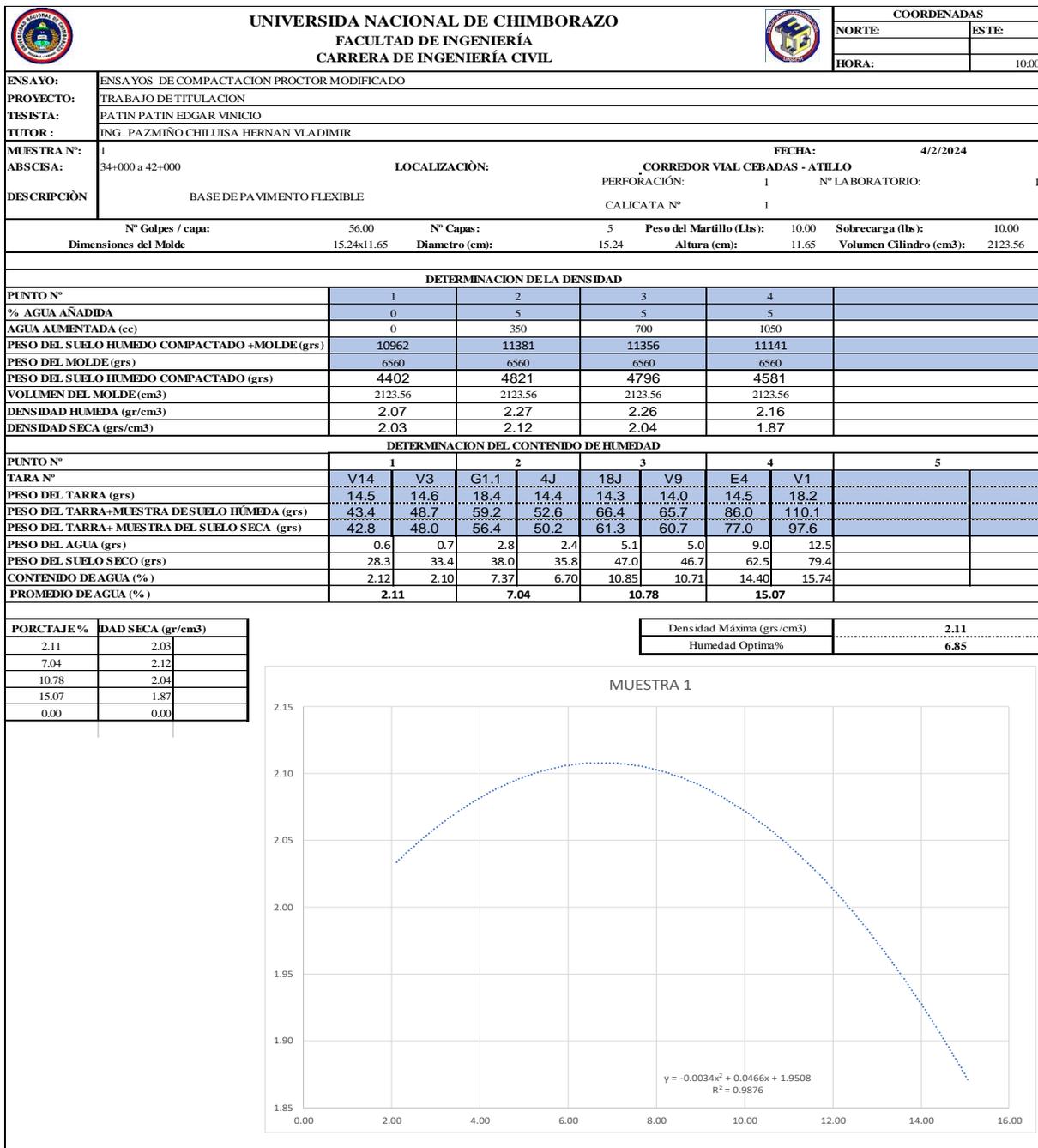


Límite Líquido (%)	29.82
Límite Plástico (%)	NP
Índice de Plasticidad Ip (%)	NP

**LIMITE PLASTICO**

Nº DE CAPSULA	1	2	3
PESO DE CAPSULA grs			
PESO DEL SUELO HUMEDO +CAPSULA grs			
PESO DEL SUELO SECO + CAPSULA grs			
PESO DEL AGUA grs			
PESO DEL SUELO SECO grs			
% DE HUMEDAD			
% PROMEDIO	#i DIV/0!		

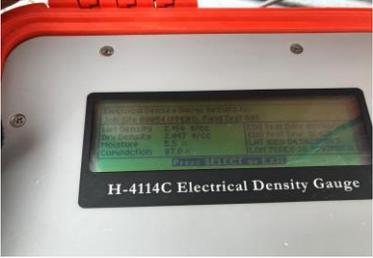
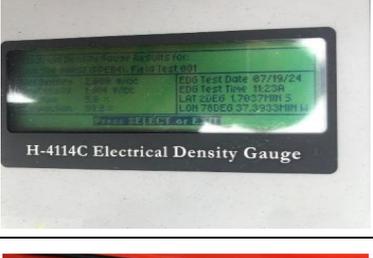
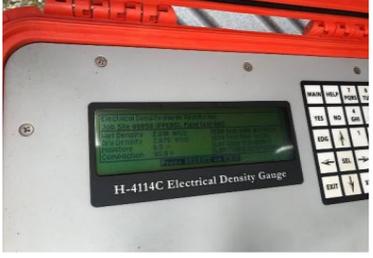
**Anexo 11. Límites de Atterberg (Muestra 1) Tipo - Subrasante**



Anexo 12. Resultados de Proctor Modificado (Muestra 1) Tipo - Base

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		COORDENADAS										
		NORTE:	ESTE:									
		HORA:	10:00									
ENSAYO:	ENSAYOS DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO											
PROYECTO:	TRABAJO DE TITULACION											
TESISTA:	PATIN PATIN EDGAR VINICIO											
TUTOR:	ING. PAZMIÑO CHILUISA HERNAN VLADIMIR											
MUESTRA N°:	1	FECHA:	4/2/2024									
ABSCISA:	34+000 a 42+000	LOCALIZACIÓN:	CORREDOR VIAL CEBADAS - ATILLO									
DESCRIPCIÓN	BASE DE PAVIMENTO FLEXIBLE	PERFORACIÓN:	1 N° LABORATORIO:									
		CALICATA N°	1									
N° Golpes / capa:		25.00	N° Capas:									
Dimensiones del Molde		Diametro (cm):	10.10									
		Peso del Martillo (Lbs):	10.00									
		Altura (cm):	10.64									
		Sobrecarga (H en Cilindro (t	10.00									
DETERMINACION DE LA DENSIDAD												
PUNTO N°	1	2	3	4	5	6						
% AGUA AÑADIDA	0	5	5	5	5	5						
AGUA AUMENTADA (cc)	0	350	700	1050	1400	1750						
PESO DEL SUELO HUMEDO COMPACTADO +MOLDE (grs)	5660	5735	5869	5964	5904	5801						
PESO DEL MOLDE (grs)	4207.9	4207.9	4207.9	4207.9	4207.9	4207.9						
PESO DEL SUELO HUMEDO COMPACTADO (grs)	1452	1527	1661	1756	1696	1593						
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)	852.12	852.12	852.12	852.12	852.12	852.12						
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)	1.704	1.792	1.949	2.061	1.990	1.870						
DENSIDAD SECA (grs/cm3)	1.620	1.607	1.673	1.691	1.568	1.419						
DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD												
PUNTO N°	1	2	3	4	5	6						
TARA N°	8J	G4	P41	IV6	1	M3	H3	81	18J	4	10	8F
PESO DEL TARRA (grs)	14.8	17.3	18.5	14.4	17.7	14.5	18.4	14.4	14.3	18.3	14.5	18.2
PESO DEL TARRA+MUESTRA DE SUELO HUMEDA (grs)	55.9	54.9	52.7	49.9	53.3	48.2	60.6	56.3	67.3	82.7	108.4	88.0
PESO DEL TARRA+ MUESTRA DEL SUELO SECA (grs)	53.9	53.0	49.2	46.2	48.4	43.3	53.1	48.7	56.1	69.0	85.7	71.2
PESO DEL AGUA (grs)	2.0	1.9	3.5	3.7	4.9	4.9	7.5	7.6	11.2	13.7	22.7	16.8
PESO DEL SUELO SECO (grs)	39.1	35.7	30.7	31.8	30.7	28.8	34.7	34.3	41.8	50.7	71.2	53.0
CONTENIDO DE AGUA (%)	5.12	5.32	11.40	11.64	15.96	17.01	21.61	22.16	26.79	27.02	31.88	31.70
PROMEDIO DE AGUA (%)	5.22		11.52		16.49		21.89		26.91		31.79	
PORCENTAJE % H2O SECA (gr/cm3)												
5.22	1.62											
11.52	1.61											
16.49	1.67											
21.89	1.69											
26.91	1.57											
31.79	1.419											
		Densidad Máxima (grs/cm3)		1.68								
		Humedad Optima%		15.28								
MUESTRA 1												

Anexo 13. Resultados de Proctor Normal (Muestra 1) Tipo - Subrasante

CAPA GRANULAR BASE			
PUNTO	DENSIMETREO ELECTRICO		
	GRADO COMPACTACION %	HUMEDAD %	IMAGEN
1	97	5.5	
2	95.2	4.6	
3	95.7	6.6	
4	89.8	5	
5	93.9	6.5	

**Anexo 14.** Extracción de Parámetros de Compactación y Humedad – EDG (Base)

DATOS DE CAMPO			
<b>Fecha:</b>	Martes, 14 de Enero de 2025		
<b>Ciudad:</b>	Riobamba-Chimborazo		
<b>Lugar:</b>	Tramo Cebadas - Atillo		
<b>Clima:</b>	Soleado	<b>Estado de la vía:</b>	Bueno
<b>Coordenada del punto:</b>	<b>NORTE</b>		9788592.11
	<b>ESTE</b>		761764.774
<b>INTERVALO</b>	<b>TIEMPO (Horas)</b>	<b>h (cm)</b>	
-	10:55 a. m.	0 Horas	0.59
10:55 a. m.	11:55 a. m.	1 Horas	1.80
11:55 a. m.	12:55 p. m.	1 Horas	3.10
12:55 p. m.	1:55 p. m.	1 Horas	4.20
1:55 p. m.	2:55 p. m.	1 Horas	5.00
2:55 p. m.	3:55 p. m.	1 Horas	5.80
3:55 p. m.	4:55 p. m.	1 Horas	6.50
4:55 p. m.	5:55 p. m.	1 Horas	7.20
5:55 p. m.	6:55 p. m.	1 Horas	7.70

**Observaciones:** El Infiltrómetro se colocó a un lado de la vía, con una ligera inclinación de la superficie debido al bombeo propio de la vía, el estado del asfalto era bueno.

<b>Tipo de pavimento</b>	Pavimento Asfáltico
--------------------------	---------------------



CÁLCULOS					
Diámetro interior del Infiltrómetro (cm) :					25
Área total interna (cm <sup>2</sup> ) :					490.87
Altura Total del infiltrómetro H (cm <sup>3</sup> ):					60.60
Altura del espejo de agua inicial (cm):					60.01
Volumen inicial de agua (cm <sup>3</sup> ):					29455.35
h	delta h	delta h acumulado	Tiempo	t acum	K
cm	cm	cm	hora	hora	cm/hora
0.59	0	0	0	0	0
1.80	1.2	1.206	1	1	1.2
3.10	1.3	2.506	1	2	1.3
4.20	1.1	3.606	1	3	1.1
5.00	0.8	4.406	1	4	0.8
5.80	0.8	5.206	1	5	0.8
6.50	0.7	5.906	1	6	0.7
7.20	0.7	6.606	1	7	0.7
7.70	0.5	7.106	1	8	0.5

<b>Sumatoria delta h (cm):</b>	7.11
<b>Volumen de Infiltración (cm<sup>3</sup>):</b>	3488.15
<b>Fración de infiltración (%):</b>	11.8%
<b>Coefficiente de escurrimiento C (%):</b>	<b>88.2%</b>



### Anexo 15. Resultados del Infiltrómetro (Muestra 1)