



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

**“CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, MECÁNICAS E HIDRÁULICAS  
EVALUADAS EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DEL CORREDOR  
VIAL FLORES - CEBADAS”**

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

**Autor:**

Casco Guevara, José Miguel  
Salcán León, Vinicio Alexander

**Tutor:**

Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluzza, MSc.

**Riobamba – Ecuador. 2024**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA

Nosotros, **Casco Guevara José Miguel**, con cédula de ciudadanía **1805081492** y **Salcán León Vinicio Alexander** con cédula de ciudadanía **0604254300**, autores del trabajo de investigación titulado: “**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, MECÁNICAS E HIDRÁULICAS EVALUADAS EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DEL CORREDOR VIAL FLORES- CEBADAS**”, 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 (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 02 de mayo de 2024.



---

José Miguel Casco Guevara

C.I: 1805081492



---

Vinicio Alexander Salcán León

C.I: 0604254300



## DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiliza, Mgs, catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: **"CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, MECÁNICAS E HIDRÁULICAS EVALUADAS EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DEL CORREDOR VIAL FLORES-CEBADAS"**, bajo la autoría de José Miguel Casco Guevara y Vinicio Alexander Salcán León, por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación. Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 23 días del mes de abril del 2024.



Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiliza, Mgs  
TUTOR(A)

## 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 E HIDRÁULICAS EVALUADAS EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DEL CORREDOR VIAL FLORES- CEBADAS", presentado por José Miguel Casco Guevara, con cédula de identidad número 1805081492 y Vinicio Alexander Salcán León, con cédula de identidad número 0604254300 bajo la tutoría de Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluzza, 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 02 de mayo de 2024.

Ing. Alfonso Arellano, Mgs.  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



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



Ing. César Mora, Mgs.  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO





Dirección  
Académica  
VICERRECTORADO ACADÉMICO

*en movimiento*



UNACH-RGF-01-04-08.15  
VERSIÓN 01: 06-09-2021

## CERTIFICACIÓN

Que, **CASCO GUEVARA JOSÉ MIGUEL** con CC: 1805081492, y **SALCÁN LEÓN VINICIO ALEXANDER** con CC: 0604254300 estudiantes de la Carrera **INGENIRÍA CIVIL**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, MECÁNICAS E HIDRÁULICAS EVALUADAS EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DEL CORREDOR VIAL FLORES-CEBADAS**", cumple con el 9 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **TURNITIN**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 24 de abril de 2024



Mgs. Vladimir Pazmiño  
TUTOR

## **DEDICATORIA**

*Quiero dedicar este trabajo a una persona extraordinaria que ha sido el pilar fundamental en mi camino académico y personal, mi madre Ximena, cuyo apoyo inquebrantable y su amor han sido mi fuerza motriz para superar desafíos y alcanzar mis metas con determinación.*

*Además, deseo extender mi gratitud a mis queridos familiares, especialmente a Karina, Carolina y Carlos quienes gracias a su colaboración y su aliento constante han enriquecido este proyecto de forma invaluable.*

*José M. Casco G.*

## **DEDICATORIA**

*Dedico mi trabajo de investigación a mis padres, Bolívar y Fabiola, quienes fueron mis guías para lograr llegar a la cumbre del éxito en todas mis metas, sus consejos, amor y dedicación en cada momento de mi vida fueron fundamentales para nunca darme por vencido.*

*También dedico este trabajo a mi hermana Betty, mi mayor confidente y amiga que siempre me apoya en cada paso que doy.*

*Finalmente, a mi abuelita Angelita que me cuida y vela por mí desde el cielo, que sus consejos me perduran en la mente siempre que los necesito.*

*Vinicio A. Salcán L.*

## AGRADECIMIENTOS

*Deseo expresar mi profundo agradecimiento a Dios, por ser mi guía y fortaleza durante todo este proceso académico. Su constante protección y orientación han sido fundamentales para alcanzar este logro*

*A la Universidad Nacional de Chimborazo por brindarme la oportunidad de formarme académicamente, su compromiso con la excelencia educativa y sus recursos han sido vitales para mi desarrollo profesional*

*Mi más sincero agradecimiento al Ing. Vladimir Pazmiño por su dedicación, paciencia, orientación y apoyo a lo largo de este proceso de investigación.*

*A los miembros del tribunal, Ing. Alfonso Arellano, Ing. César Mora e Ing. Ángel Paredes, por su tiempo, comentarios y valiosa contribución en este trabajo.*

*A mi compañero de tesis Vinicio por su dedicación, esfuerzo y colaboración y amistad, cuyo compromiso fue esencial para el desarrollo del presente proyecto.*

*Finalmente agradezco a mis compañeros de clase por su colaboración, compañerismo y apoyo mutuo durante el transcurso académico.*

*José M. Casco G.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*El agradecimiento es la mejor forma de demostrar gratitud por lo bueno y lo malo que nos brinda la vida.*

*Agradezco a Dios por darme la bendición de tener vida, salud y el mejor regalo que es tener a mis dos padres con vida, Bolívar y Fabiola dos seres valientes y perseverantes a quienes agradezco por darme su amor, tiempo y apoyo en todo lo que me proponga.*

*A mi hermana Betty por la brindarme el apoyo necesario para alcanzar mis metas.*

*Agradezco a mi compañero José Casco por la paciencia, empeño y sobre todo por la amistad que me brindo en todos los años de mi etapa universitaria.*

*A mi tutor Ing. Vladimir Pazmiño un profesional y persona que brindo su tutela y apoyo para que este trabajo se lleve a cabo.*

*Al Ing. Alfonso Arellano por brindar enseñanzas y una colaboración inmensa en la investigación.*

*Finalmente agradecer a todos mis amigos, familiares y aquellas personas que me apoyaron desde el primer momento que decidí proponer mi meta de ser un excelente profesional.*

*Salcán L. Vinicio A.*

## ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORIA.....	
DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR.....	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL.....	
CERTIFICACION ANTIPLAGIO.....	
DEDICATORIA.....	
AGRADECIMIENTOS.....	
ÍNDICE GENERAL.....	
ÍNDICE DE TABLAS.....	
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	
ÍNDICE DE ANEXOS.....	
RESUMEN.....	
ABSTRACT.....	
1. CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	20
1.1 Zona de Estudio.....	20
1.2 Antecedentes de investigación.....	20
1.3 Planteamiento del problema.....	23
1.4 Justificación.....	24
1.5 Objetivos.....	24
1.5.1 General.....	24
1.5.2 Específicos.....	24
2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	25
2.1 PAVIMENTO FLEXIBLE.....	25
2.1.1 Aspectos generales sobre las capas granulares del pavimento.....	25
2.1.2 Capa de rodadura asfáltica.....	25
2.1.3 Base.....	25
2.1.3.1 Clasificación de bases en pavimentos flexibles.....	25
2.1.4 Subbase.....	26
2.1.4.1 Clasificación de subbases en pavimentos flexibles.....	26
2.1.5 Subrasante.....	27
2.1.6 Caracterización del del terreno natural de la zona.....	27
2.2 PROPIEDADES FÍSICAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE.....	28
2.2.1 Granulometría.....	28

2.2.2 Estados de plasticidad del suelo .....	28
2.2.3 Plasticidad en la estructura de pavimentos flexibles.....	29
2.2.4 Clasificación del suelo .....	29
2.2.4.1 Clasificación SUCS.....	29
2.2.4.2 Clasificación AASHTO.....	29
2.2.5 Absorción de material granular .....	29
2.2.6 Compactación de materiales granulares de pavimentos flexibles.....	29
2.2.7 Densidad seca máxima.....	30
2.2.8 Humedad óptima .....	30
2.2.9 Densidad in situ.....	30
2.2.10 Densidad de capas del pavimento.....	30
2.2.11 Densidades en función al diseño transversal de la vía.....	30
2.2.12 Grado de compactación .....	31
2.2.13 Contenido de Humedad .....	31
2.3 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE.....	31
2.3.1 Rigidez de un material granular .....	31
2.3.2 Módulo de Young del suelo .....	31
2.3.3 Relación de Soporte de California (CBR).....	32
2.3.4 Relaciones para la estimación del CBR. ....	32
2.4 PROPIEDADES HIDRÁULICAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE .....	33
2.4.1 Infiltración de la capa de rodadura.....	33
2.4.2 Infiltración en función de los estratos del pavimento flexible .....	33
2.4.3 Permeabilidad del suelo .....	33
2.4.4 Tasa de infiltración.....	33
2.4.5 Coeficiente de escurrimiento.....	34
2.5 INVESTIGACIONES RECIENTES RELACIONADAS AL TEMA.....	34
3. CAPÍTULO III. METODOLOGIA.....	35
3.1 Tipo de Investigación.....	35
3.2 Diseño de la investigación .....	35
3.3 Definición de la muestra .....	35
3.3.1 Población.....	35
3.3.2 Muestra.....	35
3.3.3 Tipo de muestreo.....	35

3.3.4	Tamaño de la muestra .....	35
3.3.5	Ubicación de las muestras .....	36
3.3.1	Diagrama Metodológico.....	37
3.3.2	Criterios de selección .....	37
3.4	Procedimientos .....	37
3.4.1	Ensayos de laboratorio .....	37
3.4.1.1	Granulometría de materiales granulares.....	37
3.4.1.2	Límites de Atterberg.....	38
3.4.1.3	Compactación Proctor modificado .....	38
3.4.1.4	Densidad relativa y absorción de materiales granulares .....	38
3.4.2	Ensayos in situ .....	39
3.4.2.1	Densidad in situ – Método del cono de arena .....	39
3.4.2.2	Densidad in situ – Método Eléctrico .....	39
3.4.2.3	Elasticidad y rigidez in situ – Método “GeoGauge” .....	41
3.4.2.4	Infiltración y escurrimiento – Método del infiltrómetro de doble anillo (UNACH 2024) .....	42
4.	CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
4.1	PROPIEDADES FÍSICAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE .....	44
4.1.1	Terreno Natural: Comparativa con datos geológicos.....	44
4.1.2	Granulometría .....	45
4.1.3	Límites de Atterberg .....	48
4.1.4	Compactación Proctor modificado.....	50
4.1.5	Densidades .....	53
4.1.6	Humedades.....	55
4.1.7	Densidades y absorción de material granular.....	56
4.1.8	Grado de compactación.....	57
4.2	PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE.....	58
4.2.1	Resiliencia, Rigidez y CBR.....	58
4.3	PROPIEDADES HIDRÁULICAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE .....	59
4.3.1	Datos de las pruebas de infiltración .....	59
4.3.2	Resultados de las pruebas de infiltración .....	59
4.3.1	Comportamientos de las curvas de infiltración.....	62
4.3.1.1	Curvas de infiltración en pavimento en buenas condiciones .....	62

4.3.1.1	Curvas de infiltración en pavimento en malas condiciones .....	62
4.3.1	Análisis de los Coeficientes de Escorrentía .....	62
4.4	RELACIONES ENTRE PROPIEDADES FISICO-MECÁNICAS Y PROPIEDADES HIDRÁULICAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE.....	64
4.4.1	Relaciones de CBR vs Escurrimiento .....	64
4.4.2	Relación – Infiltración y CBR.....	65
4.4.3	Grado de compactación vs Escurrimiento.....	65
4.5	DISCUSIÓN .....	66
5.	CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	71
5.1	CONCLUSIONES .....	71
5.2	RECOMENDACIONES .....	73
	BIBLIOGRAFÍA .....	74
	ANEXOS .....	80

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Requisitos granulométricos para bases granulares de pavimento flexible. Adaptado de MTOP, 2002.....	26
<b>Tabla 2.</b> Requisitos granulométricos para subbases granulares de pavimento flexible. Adaptado de MTOP, 2002.....	26
<b>Tabla 3.</b> Rangos de densidades y absorciones ecuatorianas. Adaptado de Vinueza y Zurita, 2022. ....	34
<b>Tabla 4.</b> Comparación: Ensayos de laboratorio vs Datos ministeriales.....	44
<b>Tabla 5.</b> Resumen ensayo de granulometría – base.....	45
<b>Tabla 6.</b> Resumen ensayo de granulometría – subbase. ....	45
<b>Tabla 7.</b> Resumen ensayo de granulometría – subrasante. ....	46
<b>Tabla 8.</b> Resumen de plasticidad en las capas granulares del pavimento flexible. ....	49
<b>Tabla 9.</b> Resultados del ensayo Proctor modificado.....	50
<b>Tabla 10.</b> Resumen de densidades en las capas granulares del pavimento flexible. ....	54
<b>Tabla 11.</b> Resumen de humedades en las capas granulares del pavimento flexible.....	56
<b>Tabla 12.</b> Densidad y absorción del agregado fino y grueso – Base clase 2. ....	56
<b>Tabla 13.</b> Resumen de grados de compactación en las capas granulares del pavimento flexible. ....	58
<b>Tabla 14.</b> Resumen de los datos obtenidos a través del GeoGauge. ....	59
<b>Tabla 15.</b> Resultados del ensayo de infiltración. ....	60
<b>Tabla 16.</b> Escurrimiento y compactación - ensayos in situ. ....	65

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1.</b> Ubicación geográfica del tramo vial de análisis. Fuente Propia.....	20
<b>Ilustración 2.</b> Mapa de caracterización del suelo en el tramo vial. Adaptado de MAG et al. 2015 .....	27
<b>Ilustración 3.</b> Mapa de formación geológica en el tramo vial. Adaptado de MAG et al. 2015 .....	28
<b>Ilustración 4.</b> Perforaciones de extracción de muestras planificadas. Fuente Propia .....	36
<b>Ilustración 5.</b> Diagrama metodológico.....	37
<b>Ilustración 6.</b> Escala de colores para la distribución de tamaño de partículas.....	38
<b>Ilustración 7.</b> Esquema del dispositivo cono de arena. Fuente: Valle Rodas, 1982.....	39
<b>Ilustración 8.</b> Componentes del EDG. Adaptado de: Humboldt, 2008.....	40
<b>Ilustración 9.</b> Esquema gráfico del GeoGauge. Adaptado de: ASTM, 2007.....	41
<b>Ilustración 10.</b> Colocación del caucho en el infiltrómetro .....	43
<b>Ilustración 11.</b> Modo de ensamblaje .....	43
<b>Ilustración 12.</b> Caucho - Perfiles burletes alambrados 341.....	43
<b>Ilustración 13.</b> Esquema gráfico del infiltrómetro. Fuente Propia.....	43
<b>Ilustración 14.</b> Curvas Granulométricas - Base. ....	47
<b>Ilustración 15.</b> Curvas granulométricas - Subbase.....	47
<b>Ilustración 16.</b> Curvas Granulométricas – Subrasante.....	47
<b>Ilustración 17.</b> Límites de consistencia para los estratos del pavimento. ....	48
<b>Ilustración 18.</b> Carta de plasticidad para las muestras 2 y 4 en subrasante. ....	49
<b>Ilustración 19.</b> Curvas de compactación de la Base.....	51
<b>Ilustración 20.</b> Curvas de compactación de la Subbase. ....	51
<b>Ilustración 21.</b> Curvas de compactación de la Subrasante. ....	51
<b>Ilustración 22.</b> Densidades obtenidas de la base granular.....	53
<b>Ilustración 23.</b> Densidades obtenidas de la subbase granular. ....	53
<b>Ilustración 24.</b> Densidades obtenidas de la subrasante. ....	53
<b>Ilustración 25.</b> Humedades obtenidas de la base granular. ....	55
<b>Ilustración 26.</b> Humedades obtenidas de la subbase granular.....	55
<b>Ilustración 27.</b> Humedades obtenidas de la subrasante.....	55
<b>Ilustración 28.</b> Comparativa de metodologías – Grados de compactación en la base. ....	57
<b>Ilustración 29.</b> Comparativa de metodologías – Grados de compactación en la subbase..	57

<b>Ilustración 30.</b> Comparativa de metodologías – Grados de compactación en la subrasante. .....	57
<b>Ilustración 31.</b> Curvas de infiltración del tramo vial estudiado .....	61
<b>Ilustración 32.</b> Curvas de infiltración 1, 2 y 4.....	61
<b>Ilustración 33.</b> Curvas de infiltración 3 y 5.....	61
<b>Ilustración 34.</b> Coeficientes de escurrimiento en cada muestra. ....	63
<b>Ilustración 35.</b> Comparación entre coeficientes de escurrimiento normativos y reales.....	63
<b>Ilustración 36.</b> Comparación entre coeficientes de escurrimiento y los valores porcentuales de CBR. ....	64
<b>Ilustración 37.</b> Diagrama de Soporte de California (CBR) y escurrimiento de las muestras. .....	64
<b>Ilustración 38.</b> Diagrama de soporte de California (CBR) e infiltración promedio de las muestras. ....	65
<b>Ilustración 39.</b> Diagrama de grados de compactación in situ y coeficientes de escurrimiento - Base .....	66
<b>Ilustración 40.</b> Porcentajes de material gravas, arenas y finos en la base y subbase clase 2. .....	66

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Extracción de material de cada muestra. ....	80
<b>Anexo 2.</b> Etiquetado de muestras. ....	80
<b>Anexo 3.</b> Restauración de la perforación. ....	80
<b>Anexo 4.</b> Ensayo Granulométrico .....	80
<b>Anexo 5.</b> Ensayo Límite Líquido .....	80
<b>Anexo 6.</b> Límite Plástico-Subrasante .....	80
<b>Anexo 7.</b> Ensayo Proctor Modificado .....	80
<b>Anexo 8.</b> Absorción y densidad-material fino.....	80
<b>Anexo 9.</b> Absorción y densidad-material grueso .....	80
<b>Anexo 10.</b> Ensayo cono de arena. ....	81
<b>Anexo 11.</b> Ensayo Geo gauge en pavimentos en buenas condiciones. ....	81
<b>Anexo 12.</b> Ensayo Geo gauge en pavimentos en condiciones precarias.....	81
<b>Anexo 13.</b> Ensayo EDG-Instalación del equipo.....	81
<b>Anexo 14.</b> Ensayo EDG-Toma de datos .....	81
<b>Anexo 15.</b> Ensayo EDG-Ajustes de datos.....	81
<b>Anexo 16.</b> Ensayo Infiltrómetro de doble anillo en un pavimento en buenas condiciones. 81	
<b>Anexo 17.</b> Ensayo Infiltrómetro de doble anillo en un pavimento en malas condiciones. . 81	
<b>Anexo 18.</b> Toma de datos en campo del Infiltrómetro de doble anillo .....	81
<b>Anexo 19.</b> Formato de procesamiento de datos del ensayo de densidades y absorción. ....	82
<b>Anexo 20.</b> Formato de procesamiento de datos del ensayo granulométrico. ....	83
<b>Anexo 21.</b> Formato de procesamiento de datos del ensayo de límites de consistencia. ....	84
<b>Anexo 22.</b> Formato de procesamiento de datos del ensayo proctor modificado.....	85
<b>Anexo 23.</b> Formato de procesamiento de datos del ensayo cono de arena. ....	86
<b>Anexo 24.</b> Formato de procesamiento de datos del ensayo de infiltración.....	87
<b>Anexo 25.</b> Datos finales recolectados .....	88

## RESUMEN

El deterioro de los pavimentos flexibles se debe en medida a la acción del agua proveniente de las precipitaciones y sumado al uso de normativas desactualizadas para el diseño de sistemas de drenaje, circunstancias que representan un riesgo para la seguridad vial. Por lo expuesto, requiere generar información actual de las características hidráulicas en el tramo vial Flores - Cebadas. Esta investigación exhibe datos de estas propiedades y sus relaciones, tanto en laboratorio como in situ, utilizando de equipos eléctricos, demostrando que las propiedades físicas cumplen parcialmente con la normativa ecuatoriana para los materiales de las capas granulares de una base y subbase clase 2. Además, investigaciones recientes corroboraron que el material granular utilizado en estas capas granulares reflejan prácticas actuales de la construcción ecuatoriana. No obstante, se observan deficiencias en el comportamiento de las propiedades IN SITU derivados de los procesos constructivos en la estructura vial como el grado de compactación y CBR, mismos que no cumplen lo estipulado en la normativa. En el análisis de las propiedades hidráulicas se encontraron índices de escorrentía cercanos a los límites normativos para pavimentos flexibles en buen estado, para zonas que presentan fallas y agrietamientos los valores de escurrimiento son más bajos. Al relacionar las propiedades físicas y mecánicas IN SITU con las hidráulicas, se evidencia una disminución del CBR y grado de compactación en los lugares donde existía un bajo coeficiente de escurrimiento. Finalmente es necesario tener en cuenta que esta caracterización puede ser de utilidad para el mejoramiento en el diseño de sistemas de drenaje más adecuados a la situación actual de la localidad estudiada, así como la implementación de nuevos indicadores de deterioro.

**Palabras claves:** Pavimento flexible, características, físicas, mecánicas, hidráulicas, IN SITU, capas granulares.

## ABSTRACT

The deterioration of flexible pavements is caused, in part, to the action of water precipitation and the use of outdated regulations for the design of drainage systems, circumstances that represent a risk for road safety. Due to the above-mentioned causes, it requires generating current information on the physical, mechanical and hydraulic characteristics of Flores - Cebadas road. This research exhibits data on these properties and their relationships, both in the laboratory and in situ, using electrical equipment, demonstrating that the physical properties partially comply with the Ecuadorian regulations for the materials of the granular layers of a class 2 aggregate base and subbase. In addition, recent research corroborated that the granular material used in these granular layers reflects current Ecuadorian construction practices. However, deficiencies are observed in the behavior of the IN SITU properties derived from the construction processes in the road structure such as the degree of compaction and CBR, which do not comply with the regulations. In the analysis of the hydraulic properties, runoff ratings were found close to the regulatory limits for flexible pavements in good condition; for areas that present faults and cracks, the runoff values are lower. When relating the physical and mechanical properties IN SITU with the hydraulic ones, a decrease in CBR and degree of compaction is evident in places where there was a low runoff coefficient. Finally, it is necessary to take into account that this characterization can be useful for improving the design of drainage systems more appropriate to the current situation of the studied locality, as well as the implementation of new indicators of deterioration.

**Keywords:** Flexible pavement, characteristics, physical, mechanical, hydraulic, IN SITU, granular layers.

EDISON  
HERNAN  
SALAZAR  
CALDERON

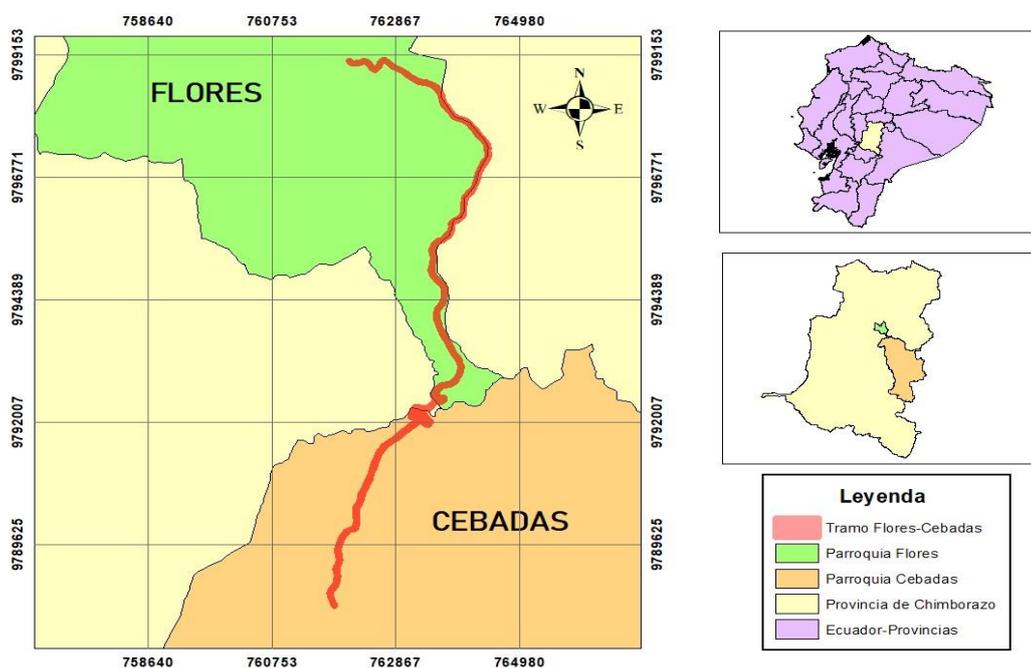
Firmado digitalmente  
por EDISON HERNAN  
SALAZAR CALDERON  
Fecha: 2024.04.30  
22:11:29 -05'00'

Reviewed by:  
Mgs. Edison Salazar Calderón  
ENGLISH PROFESSOR  
I.D. 0603184698

# 1. CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Zona de Estudio

El corredor vial Flores - Cebadas es uno de los tramos que comprende la vía Riobamba - Cebadas localizadas en la provincia de Chimborazo misma que en el año 2012 fue reconstruida y tuvo mantenimientos durante los 4 años posteriores (MTO, 2012), procesos que beneficiaron a varias parroquias como San Luis, Punín, Flores, Cebadas y Atillo, con una población estimada de 30.742 habitantes (INEC, 2010).



**Ilustración 1.** Ubicación geográfica del tramo vial de análisis. Fuente Propia.

El tramo vial de análisis conecta a las parroquias rurales de Flores y Cebadas con una longitud de 15.1 Km, según estudios realizados por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) circulan alrededor de 600 vehículos entre livianos y de carga pesada al día.

## 1.2 Antecedentes de investigación

En el panorama global de la infraestructura vial, es posible observar una variedad considerable de caminos construidos con diferentes tipos de pavimentos, de las cuales se destacan primordialmente los pavimentos flexibles ya que cuentan con una configuración estratificada, compuesta por una serie de capas granulares, mismas que se encuentran recubiertas por una capa de ligante asfáltico (Wright y Paquette, 1987). En Ecuador y en diversos países en desarrollo, los pavimentos flexibles son comunes en las redes de

comunicación vial. La ejecución de obra de este tipo de pavimentos se apoya en una serie de consideraciones económicas y técnicas las cuales abarcan una amplia gama de aspectos tales como las características del suelo, la estimación del tráfico de diseño esperado, la comodidad y serviciabilidad al usuario, entre otros.

Sin embargo, cabe destacar que uno de los aspectos más significativos a considerar es el impacto de las condiciones climáticas en el pavimento, particularmente de las precipitaciones. Este aspecto meteorológico se convierte en uno de los enfoques principales en la presente investigación, ya que en la actualidad la correcta ejecución de pavimentos viales con el tiempo se ha vuelto cada vez más desafiante para los constructores debido al impacto del clima (Sánchez et al., 2018); dichos pavimentos cuentan con pendientes transversales que facilitan el drenaje de las precipitaciones hacia las cunetas localizadas a los laterales de la vía, mismas que desempeñan un papel esencial en el drenaje vial. Durante episodios de lluvia intensas, la escorrentía arrastra escombros y residuos. Según Vélez et al (2013), estas obstrucciones pueden provocar desbordamientos, afectando la seguridad vial a través de derrapes de vehículos y daños en la infraestructura.

La mayoría de los problemas en las superficies de pavimento flexible surgen durante o inmediatamente después de la temporada de lluvias (Bandyopadhyay y Frantzen, 1983), por lo que la apropiada comprensión de este fenómeno sobre las redes viales resultará ser crucial para garantizar la eficiencia y durabilidad de los pavimentos en los diversos entornos climáticos. Optimizar las prácticas ingenieriles en la etapa de vial es esencial para mitigar los riesgos consecuentes de las precipitaciones promoviendo así la seguridad y bienestar de los usuarios.

La insuficiencia en el sistema de drenaje implica anegación de agua, aumentando costos de mantenimiento y reparación, resultando en la disminución de la vida útil de la infraestructura y con repercusiones negativas en las comunidades locales y el medio ambiente. (Griffiths, et al., 2000). Por otro lado, las intervenciones en las vías experimentan retrasos significativos, consecuencia de procedimientos administrativos prolongados y a la persistente escasez de presupuesto (Parra, 2023). En áreas urbanas lejanas a las instalaciones de producción de asfalto el proceso de relleno de baches toma más tiempo que en las ciudades que cuentan con dichas instalaciones.

El factor demográfico actúa como desencadenante primordial de las inundaciones debido a la transformación de la vegetación natural por superficies pavimentadas impermeables. La población presenta una demanda significativa en cuanto a la provisión

de agua, la cual en algunas instancias se concede a través de la extracción de acuíferos subterráneos, cuya utilización conduce a la escorrentía superficial en donde el líquido vital no es reintegrado al suelo alterando así el ciclo hidrológico natural. Implementar políticas de gestión de recursos naturales que faciliten la redistribución de agua hacia su ciclo natural puede contribuir de forma significativa al logro de un desarrollo sustentable, esta acción es crucial considerando que los resultados derivados del escurrimiento superficial culminan en la ocurrencia de diversos eventos perjudiciales tales como inundaciones, degradación y erosión del suelo, reducción en la recarga de acuíferos, así como también el transporte de contaminantes hacia las fuentes receptoras de la escorrentía (Sambito et al., 2021).

La variabilidad de los materiales de construcción, intrínseca a las características regionales, es de significativa importancia debido a que en diseño de pavimentos se tiende a no considerar la diversidad de estos materiales asumiéndolos como homogéneos (Brandão, 2021), entonces se presentan variaciones que resaltan la importancia de comprender propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas del pavimento para adaptar el diseño y la construcción de manera efectiva a cada ubicación. Las propiedades físicas se refieren a la composición y estructura del pavimento, en donde se incluyen la densidad de los materiales utilizados, el espesor y caracterización de sus estratos, (Menéndez, 2013). Mientras que, por otro lado, las propiedades mecánicas se relacionan con la capacidad del pavimento para resistir cargas y deformaciones inducidas por condiciones climáticas y tráfico vehicular aquí se incluyen resistencia, módulo de elasticidad y capacidad de soporte (Anguas y Martínez, 2002). Las propiedades hidráulicas en cambio hacen referencia a la capacidad del pavimento de gestionar el flujo de agua superficial y subterránea, a estas características se incluyen atributos como la permeabilidad, textura superficial, saturación, capacidad de infiltración y pendientes (Zepeda, 1989).

En el diseño de sistemas de drenaje, se siguen las pautas estipuladas por las “Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes” (INEN, 1992) una normativa que ha pasado por un extenso período carente de actualizaciones, misma que genera incertidumbre al emplear valores referenciales que probablemente no reflejan la realidad actual de la construcción ecuatoriana. Esta regularización propone la determinación del caudal de escurrimiento a través del método racional, procedimiento que involucra el

coeficiente de escorrentía, la intensidad de las precipitaciones área inundada recubierta por superficies pavimentadas.

Es crucial entender las propiedades permeables de los pavimentos actuales para contrastarlas con materiales impermeables y nuevas metodologías, y así comprender el escurrimiento y la infiltración. La implementación de pavimentos permeables puede reducir la escorrentía superficial y permitir la infiltración en el suelo, lo que sería beneficioso en áreas con suelos permeables.

Este estudio se forma parte en una serie de investigaciones orientadas a compilar datos acerca de la estructura de los pavimentos de los principales corredores viales de la provincia de Chimborazo, enmarcándose en una línea de investigación con el objetivo a largo plazo desarrollar un pavimento permeable a partir del uso de materiales andinos.

### **1.3 Planteamiento del problema**

El pavimento flexible puede enfrentar varios problemas relacionados con las características hidráulicas que guardan una estrecha relación con el manejo y drenaje del agua en la superficie de la carretera. Estos problemas pueden afectar la seguridad vial y la durabilidad del pavimento. La evaluación del estado, erosión y degradación de los materiales granulares, así como la disminución de la resistencia estructural del pavimento, pueden llevarse a cabo mediante la determinación de sus propiedades físicas y mecánicas; sin embargo, la infiltración de agua en las capas granulares del pavimento puede provocar los problemas mencionados anteriormente. Aunque el pavimento flexible es relativamente impermeable, las juntas y grietas pueden desarrollarse con el tiempo debido al envejecimiento, las cargas del tráfico, las condiciones climáticas y la falta de un sistema de drenaje adecuado. Esto puede ocasionar que el agua se infiltre en las capas inferiores del pavimento causando deformaciones, hundimientos y pérdida de capacidad portante. Por lo tanto, el desafío radica en encontrar un equilibrio entre la impermeabilidad del pavimento, buscando la infiltración adecuada y la capacidad de escurrimiento que permita que el agua se aleje rápidamente de la superficie. Por tales motivos, se ha planteado la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo se relaciona las características físico-mecánicas en pavimentos flexibles en el corredor vial Flores - Cebadas con el comportamiento de las propiedades hidráulicas de escorrentía y tiempos de infiltración evaluadas en campo y laboratorio con el uso de procedimientos de laboratorio y equipos eléctricos?

## **1.4 Justificación**

Las propiedades físico-mecánicas influyen en el comportamiento estructural y la durabilidad del pavimento, mientras que las características hidráulicas afectan la capacidad del pavimento para manejar el agua y evitar problemas asociados. La evaluación de estas características, tanto en campo como en laboratorio con el uso de aparatos manuales y eléctricos, proporciona información crucial para comprender y gestionar adecuadamente los pavimentos flexibles.

El patrón de la escorrentía en un pavimento flexible está influenciado por las características físico-mecánicas. Una superficie rugosa y porosa, combinada con una adecuada capacidad de drenaje permite que el agua fluya más rápidamente a través del pavimento y se dirija hacia los sistemas de drenaje correspondientes, reduciendo así la acumulación de agua en la superficie de la vía, estos valores de escorrentía datan de décadas pasadas, por lo que se ha visto con la necesidad de actualizarlos en el tramo vial Flores-Cebadas considerando que dicho parámetro podría estar asociado a las características físicas y mecánicas investigadas de la base, subbase y subrasante. Al investigar y obtener nuevos coeficientes de escurrimiento específicos para pavimentos flexibles, se puede generar información que permita mejorar el diseño hidráulico de las carreteras, permitiendo así mayor precisión en las obras e intensificando ventajas como: la protección contra el deterioro causado por el agua, la mejora de la estabilidad estructural, la reducción del riesgo de accidentes, un menor mantenimiento y beneficios ambientales.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 General**

- Determinar las características físicas, mecánicas e hidráulicas del pavimento flexible realizando sondeos en campo con equipos eléctricos y valoración en laboratorio.

### **1.5.2 Específicos**

- Medir en laboratorio características físicas del pavimento flexible.
- Evaluar IN SITU las características mecánicas e hidráulicas usando equipos eléctricos.
- Establecer la relación de las características físico-mecánicas en pavimentos flexibles con el comportamiento hidráulico.

## **2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.**

### **2.1 PAVIMENTO FLEXIBLE**

#### **2.1.1 Aspectos generales sobre las capas granulares del pavimento**

Las capas del pavimento son componentes fundamentales en la construcción de carreteras y otras superficies de rodadura. Estos estratos están compuestos por materiales granulares, como grava y arena, que proporcionan un soporte resistente y estable. La función principal de las capas granulares es distribuir las cargas del tráfico vehicular de manera uniforme, evitando deformaciones y asentamientos prematuros. La calidad de las capas granulares influyen directamente en la resistencia, drenaje y capacidad de soporte de la estructura vial. En un pavimento flexible, las capas asfálticas desempeñan una función estructural crucial, que en conjunto con las capas granulares, permite que la estructura sea capaz de soportar las cargas del tráfico rodante (Lizcano & Quintana, 2007).

#### **2.1.2 Capa de rodadura asfáltica**

La capa de rodadura de un pavimento flexible consiste en una delgada capa en contraste con las capas subyacentes, pero a su vez de mayor resistencia, compuesta de mezcla bituminosa que recubre los agregados pétreos, proporcionando durabilidad, resistencia al desgaste y deslizamiento. (Huang, 1993).

#### **2.1.3 Base**

Esta estratificación se encuentra constituida a partir de materiales granulares dispuestos sobre la subbase y en algunos casos sobre la subrasante. En pavimentos flexibles, esta capa cumple la función de transferir as cargas generadas por el tráfico con intensidades apropiadas hacia las capas inferiores (Lizcano y Quintana, 2015).

##### **2.1.3.1 Clasificación de bases en pavimentos flexibles**

Según el MTOP (2002), existen cuatro clases de bases, para las clases 1, 2 y 3 contienen 100, 50 y 25% de material triturado respectivamente, todas realizadas en una planta centralizada. Para la clase 4 el material se obtiene a través del cribado de agregados.

Los requisitos granulométricos para las distintas clases de bases existentes en el pavimento flexible constan en la tabla 1.

**Tabla 1.** Requisitos granulométricos para bases granulares de pavimento flexible. Adaptado de MTOP, 2002.

Tamiz ASTM	Abertura en [mm]	Porcentaje que pasa el tamiz [%]				
		Clase 1		Clase 2	Clase 3	Clase 4
		Tipo A	Tipo B			
2"	50.000	100 máx.	100 máx.	-	-	100
1" 1/2"	38.100	70 a 100	70 a 100	-	-	-
1"	25.000	55 a 85	55 a 85	100	-	60 a 90
3/4"	19.000	50 a 80	60 a 90	70 a 100	100	-
3/8"	9.500	35 a 70	45 a 75	50 a 80	-	-
No. 4	4.750	25 a 50	30 a 60	35 a 65	45 a 80	20 a 50
No. 10	2.000	20 a 40	20 a 50	25 a 30	30 a 60	-
No. 40	0.425	10 a 25	10 a 25	15 a 30	20 a 35	-
No. 200	0.075	2 a 12	2 a 12	2 a 12	3 a 15	0 a 15

#### 2.1.4 Subbase

La subbase granular se posiciona debajo la base y se dispone sobre la subrasante, afirmado o terraplén. Al igual que la base, está compuesta de materiales pétreos de menor costo y su función principal es transferir las cargas del tráfico manteniendo niveles de presión tolerables para la subrasante (Lizcano y Quintana, 2015).

##### 2.1.4.1 Clasificación de subbases en pavimentos flexibles

Según el MTOP (2002), la subbase tiene 3 clases, mismas que se diferencian por el proceso de obtención del material, para la subbase clase 1 se obtiene por el triturado de piedras y gravas, la clase 2 por cribado y para la clase 3 se aprovecha el material proveniente de la excavación destinada a la plataforma. Los requisitos granulométricos para las distintas clases de subbases existentes en el pavimento flexible constan en la tabla 2.

**Tabla 2.** Requisitos granulométricos para subbases granulares de pavimento flexible. Adaptado de MTOP, 2002.

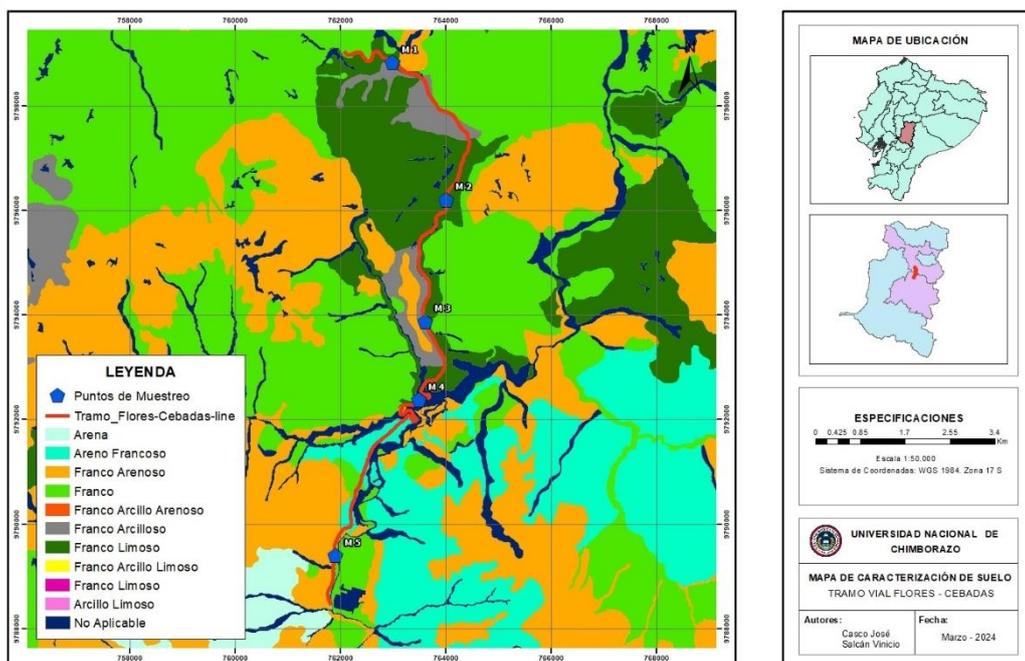
Tamiz ASTM	Abertura en [mm]	Porcentaje que pasa el tamiz [%]		
		Clase 1	Clase 2	Clase 3
3"	75.000	-	-	100
2"	50"	-	100	80 a 100
1" 1/2"	38.100	100	70 a 100	-
No. 4	4.750	30 a 70	30 a 70	30 a 70
No. 40	0.425	10 a 35	15 a 40	15 a 45
No. 200	0.075	0 a 15	0 a 20	0 a 20

### 2.1.5 Subrasante

Constituye el estrato o cimiento fundamental sobre el cual se asienta toda la estructura del pavimento, en la mayoría de las ocasiones la subrasante hace referencia al terreno natural de la vía, Lizcano y Quintana (2015), señalan que la evaluación de la calidad de esta estratificación resultará determinante en el proceso de establecer el espesor total del pavimento.

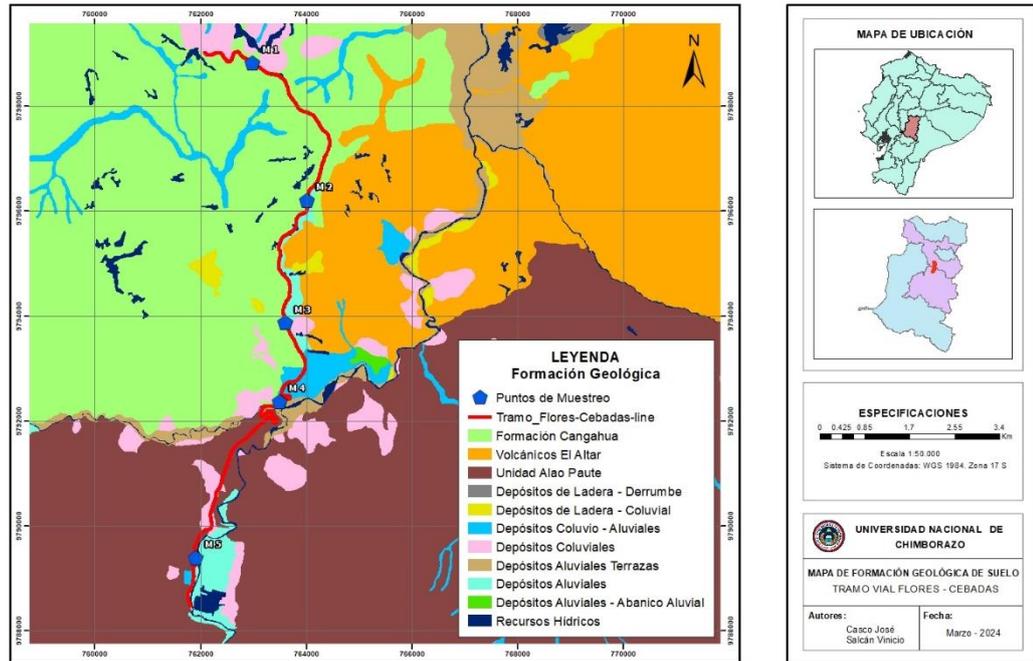
### 2.1.6 Caracterización del del terreno natural de la zona

Con el propósito de llevar a cabo un análisis comparativo de suelo extraído in situ para el desarrollo de los ensayos de laboratorio de la subrasante o terreno natural, la ilustración 2 exhibe la caracterización detallada del suelo, en función a la información proporcionada por el Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador MAG et al. (2015), destacando la predominancia de componentes arenosos y limosos en las proximidades de la infraestructura vial.



**Ilustración 2.** Mapa de caracterización del suelo en el tramo vial. Adaptado de MAG et al. 2015

La ilustración 3 también evidencia la formación geológica del terreno en donde se localiza el tramo de estudio, resaltando la presencia de tres formaciones geológicas sobre la vía.



**Ilustración 3.** Mapa de formación geológica en el tramo vial. Adaptado de MAG et al. 2015

## 2.2 PROPIEDADES FÍSICAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

### 2.2.1 Granulometría

La granulometría hace referencia a la distribución de tamaños de partículas en las capas granulares del pavimento. Una granulometría adecuada facilita el drenaje y previene inundaciones optimizando la resistencia ante cargas vehiculares y condiciones ambientales, prolongando así la vida útil y reduciendo el desgaste del pavimento (Yang et al., 2022).

### 2.2.2 Estados de plasticidad del suelo

Las propiedades de plasticidad del suelo corresponden a las características físicas de los suelos que demuestran su comportamiento frente a la presencia de humedad (Casagrande, 1932).

Los estados del suelo varían desde el líquido, donde carece de una morfología estable bajo esfuerzos con partículas suspendidas; pasando por semilíquido, una transición entre el plástico y el líquido con características de fluidos viscosos; plástico, capaz de deformarse sin fluir reteniendo su forma al ser deformado; semisólida, con apariencia sólida pero que reduce su volumen al secarse; hasta sólido, mostrando una resistencia significativa a la deformación sin reducir su volumen al secarse.

### **2.2.3 Plasticidad en la estructura de pavimentos flexibles**

La presencia de plasticidad en las capas granulares de los pavimentos flexibles debe ser equilibrada con el fin de garantizar la capacidad de deformación sin que se produzcan deformaciones permanentes excesivas (Gupta y Rastogi, 1996), por ello se establece que la baja plasticidad es un atributo deseado en la estructura de pavimentos flexibles de modo que se asegura un comportamiento adecuado.

### **2.2.4 Clasificación del suelo**

Las diferentes clasificaciones incluyen el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS y sistema de la American Association of State Highway & Transportation Officials AASHTO (Santamarina & Narsilio, s. f.).

#### **2.2.4.1 Clasificación SUCS**

La clasificación de suelos mediante SUCS, es el de uso más extendido en la práctica geotécnica. Fue inicialmente propuesto por Arthur Casagrande en 1932, procedimiento basado en el análisis granulométrico y en los límites de plasticidad de los suelos (Santamarina & Narsilio, s. f.).

#### **2.2.4.2 Clasificación AASHTO**

El sistema de la AASHTO fue originalmente desarrollado en los años 1929. Basado en características de estabilidad de suelos empleados en la construcción de caminos. Se fundamenta en distribución granulométrica, límite líquido y límite plástico (Santamarina & Narsilio, s. f.).

### **2.2.5 Absorción de material granular**

La absorción del material granular se define como el aumento de su masa a causa de la penetración de agua en los poros de sus partículas, excluyendo la cantidad de agua adherida a la superficie externa de las partículas en cuestión; esta variación de masa se expresa como un valor porcentual relativo a la masa seca (INEN, 2010).

### **2.2.6 Compactación de materiales granulares de pavimentos flexibles**

Este procedimiento geotécnico busca optimizar las características físicas del suelo a través de la reducción de vacíos y el aumento de la densidad, asegurando así

la durabilidad y resistencia en las carreteras. Esta establecido que la capacidad que posee el suelo para resistir estáticas y dinámicas depende significativamente de su densidad y contenido de humedad, (Braja M, 2001).

### **2.2.7 Densidad seca máxima**

Corresponde al "peso unitario máximo" que se logra compactando en el laboratorio una muestra de suelos, o agregados, de acuerdo con un método de ensayo establecido (Proctor, Estándar o Modificado) y que sirve como referencia para el control de la compactación en el campo del mismo material (MTOPE, 2013).

### **2.2.8 Humedad óptima**

La humedad óptima se refiere al contenido de agua en un material granular logrando la máxima densidad y resistencia mecánica. Es el punto en el que el material alcanza sus mejores características de compactación y rendimiento bajo carga. En el contexto de pavimentos flexibles, la determinación de la humedad óptima es crucial para garantizar la calidad y durabilidad del pavimento (Zhu et al., 2017).

### **2.2.9 Densidad in situ**

La "densidad in situ" representa la masa del suelo por unidad de volumen, medida directamente en el área de trabajo específica. Este indicador ofrece visión detallada de la disposición de partículas del suelo en su entorno nativo (Terzaghi, Peck y Mesri, 1996).

### **2.2.10 Densidad de capas del pavimento**

La densidad del pavimento se alcanza mediante la compactación. Al comprimir los agregados, se aumenta el contacto entre las superficies y la fricción aumentando la cantidad de partículas en un menor volumen, mejorando la estabilidad, resistencia, adherencia entre los materiales y la capacidad de soporte del pavimento (Zambrano et al., 2020).

### **2.2.11 Densidades en función al diseño transversal de la vía.**

Durante la etapa de diseño vial, se realiza un análisis topográfico para identificar tramos que requieren excavación (tramos de corte) y tramos que necesitan relleno con material granular (terraplenes), existiendo además tramos

pueden requerir tanto excavación como relleno (Grisales, 2015). En consideración a lo expuesto, la densidad del material granular de la subrasante variará según el tipo de tramo, siendo crucial garantizar la calidad del material y su proceso de compactación en áreas de relleno o terraplenes implicando densidades más altas. (Rojo, 1998).

#### **2.2.12 Grado de compactación**

El grado de compactación de un material granular hace referencia a la relación porcentual entre la densidad seca lograda durante la ejecución en campo y la máxima densidad seca obtenida en condiciones de laboratorio (Mendoza, 2021).

La Normativa Ecuatoriana Vial, MTOP (2013), establece los rangos de compactación IN SITU correspondientes a las capas de pavimento flexible deben estar entre el 95 al 100% de la densidad máxima obtenida en el ensayo Proctor modificado realizado en el laboratorio.

#### **2.2.13 Contenido de Humedad**

El contenido de agua de un material es la relación de la masa de agua contenida en los espacios porosos del suelo o material de roca, a la masa sólida de partículas, expresada como un porcentaje (ASTM, 2019).

### **2.3 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE**

#### **2.3.1 Rigidez de un material granular**

La rigidez se refiere a la capacidad de un cuerpo para resistir deformaciones en el rango elástico, según Rincón et al., (2022) este comportamiento está ligado al comportamiento resiliente, donde el material absorbe y libera energía de cargas externas sin sufrir deformaciones irreversibles. En el contexto de pavimentos, el módulo de rigidez es un indicador fundamental que ofrece información crucial sobre la capacidad del suelo para resistir cargas externas.

#### **2.3.2 Módulo de Young del suelo**

El módulo de Young, conocido también como módulo de elasticidad o módulo resiliente en ingeniería vial, se define como la relación entre el esfuerzo aplicado y la deformación unitaria experimentada por el material dentro de su rango elástico bajo tensión uniaxial. Este parámetro proporciona información

fundamental para comprender la respuesta de los materiales ante fuerzas externas longitudinales describiendo la resistencia del material ante las deformaciones elásticas (Hibbeler, 2007).

### **2.3.3 Relación de Soporte de California (CBR)**

La valoración de la calidad del suelo se realiza mediante relación de soporte de california (CBR) (Pardave, 2023). El CBR se representa como un porcentaje y se define, indica la carga unitaria necesaria para una penetración específica de un pistón en una muestra compactada de suelo, considerando condiciones de humedad y densidad. Este valor se compara con la carga unitaria de referencia requerida para alcanzar la misma profundidad en una muestra estándar de material triturado (Bowles, 1981).

### **2.3.4 Relaciones para la estimación del CBR.**

Los valores de CBR pueden ser estimados a partir de las mediciones del GeoGauge con el uso de ecuaciones que se presentan a continuación:

Establecida por Abu-Farsakh et al. (2004) junto al Departamento de Transporte y Desarrollo de Carreteras de Luisiana, haciendo uso del equipo GeoGauge, concluyeron que el CBR puede estimarse mediante la aplicación de la ecuación 1, en donde el CBR es expresado de forma porcentual (%), y  $K_G$  representa la rigidez del material granular en (MN/m) determinada por instrumento.

$$CBR = 0.0039(8.672 K_G)^2 - 5.75 \quad [1]$$

Para Urquizo (2019), después de realizar un análisis de los materiales para base, subbase y subrasante de la cantera San Joaquín ubicado en la provincia de Cotopaxi, obtuvo la siguiente ecuación que correlaciona de mejor manera el CBR con el módulo resiliente, el instrumento proporciona datos del módulo de Young (Resiliente) en MPa, sin embargo, la fórmula requiere el módulo resiliente en psi. Cuenta con una desventaja, la ecuación es aplicable para datos mayores a 7138.8 [psi], datos menores arrojan valores negativos por esta razón se recomienda que su aplicabilidad se dé solo en capas granulares como la base y subbase excluyendo a las capas de subrasante.

$$MR (psi) = 7138.8e^{0.0203(\%CBR)} \quad [2]$$

Poulsen & Stubstad (1980) propusieron una fórmula para caracterizar subrasantes en Dinamarca, para suelos con contenido de arenas, limos y arcillas, buscando un CBR en campo el cual ayude a generar un proceso estandarizado de mejoramiento de suelos. La ecuación 3 utiliza el módulo resiliente en MPa.

$$MR (Mpa) = 10 * CBR^{0.73} \quad [3]$$

## 2.4 PROPIEDADES HIDRÁULICAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

### 2.4.1 Infiltración de la capa de rodadura

La infiltración en la capa de rodadura se refiere al proceso en el que el agua penetra en la superficie del pavimento. Este fenómeno puede tener efectos negativos en la durabilidad y estabilidad del pavimento, especialmente en climas lluviosos. La capacidad de infiltración del pavimento depende de factores como estado de conservación, diseño y material usado en la construcción de la vía (Rebolledo, 2010).

### 2.4.2 Infiltración en función de los estratos del pavimento flexible

La importancia de la infiltración del agua de lluvia en el estrato granular de la base de un pavimento flexible subraya la necesidad de comprender su dinámica. Según Martínez (2009), la infiltración en conjunto con las cargas vehiculares provoca deformaciones en la base cuando el agua atraviesa la capa de rodadura, resultando en la acumulación de agua estancada. Cedergren (1974) estimó una permeabilidad de  $6.2 \times 10^{-4}$  cm/seg en estas circunstancias.

### 2.4.3 Permeabilidad del suelo

La permeabilidad es la capacidad que posee una roca para permitir el paso de un fluido y la estimación de su coeficiente puede obtenerse a partir de su medición in situ y en laboratorio (Camacho et al., 2020).

### 2.4.4 Tasa de infiltración

Dentro del ámbito hidrológico, se denomina tasa de infiltración como la medida de la rapidez con que el agua infiltra en el suelo. Este índice alcanza su valor máximo al considerar la conductividad hidráulica del suelo en estado de

saturación, por ende, es relevante destacar que, en suelos en estado de saturación, la velocidad de infiltración es inferior en comparación con la observada en suelos secos (Linsley et al., 1977).

#### 2.4.5 Coeficiente de escurrimiento

El escurrimiento se define como la circulación del agua sobre la superficie del suelo (Linsley et al., 1977). El índice de escorrentía denota la proporción de agua proveniente de las precipitaciones que se desplaza sobre las superficies generando escurrimiento.

### 2.5 INVESTIGACIONES RECIENTES RELACIONADAS AL TEMA.

En la investigación de Urquizo (2019), estableció una relación entre el ensayo de C.B.R. (California Bearing Ratio) y el módulo resiliente para las capas de base y subbase conformadas con material proveniente de la Cantera San Joaquín, situada en la provincia de Cotopaxi, Ecuador. Para lograr este propósito, se llevó a cabo una caracterización del material extraído de la cantera mediante una serie de ensayos de laboratorio, incluyendo análisis granulométricos, densidades máximas, humedades óptimas, determinación de absorción y medición de densidades aparentes del material. Además, se evaluó el comportamiento de las densidades in situ utilizando un densímetro nuclear, y se compararon estos valores con los obtenidos en los ensayos de laboratorio. Posteriormente, se determinó el módulo resiliente mediante el uso de GeoGauge, y se estimó el porcentaje de CBR para cada una de las capas de base y subbase, dichos ensayos se los realizaron para las diferentes clases de bases y subbases que expone la norma MTOP (2002).

Por otro lado, en la investigación de Vinueza y Zurita (2022), caracterizaron los materiales granulares de diversas canteras, destinadas a proveer materiales para la construcción de carreteras en el Ecuador, obteniendo así para la tabla 3 los siguientes rangos de densidades y absorciones:

**Tabla 3.** Rangos de densidades y absorciones ecuatorianas. Adaptado de Vinueza y Zurita, 2022.

<b>Densidades y absorciones de diversas canteras en el Ecuador</b>							
<b>Gravedad específica - Agregado Grueso [-]</b>		<b>Gravedad específica - Agregado Fino [-]</b>		<b>Absorción - Agregado Grueso [%]</b>		<b>Absorción - Agregado Fino [%]</b>	
<b>Lím Sup</b>	<b>Lim Inf</b>	<b>Lím Sup</b>	<b>Lim Inf</b>	<b>Lím Sup</b>	<b>Lim Inf</b>	<b>Lím Sup</b>	<b>Lim Inf</b>
2.70	2.33	2.76	2.27	5.20	0.90	5.93	1.94

### **3. CAPÍTULO III. METODOLOGIA.**

#### **3.1 Tipo de Investigación.**

Para la presente investigación se seleccionó un tipo de investigación de enfoque cuantitativo, debido a la obtención de datos numéricos mediante ensayos in situ y de laboratorio de la estructura de un pavimento flexible.

#### **3.2 Diseño de la investigación**

El diseño de la investigación es de tipo descriptivo, se describen características físicas, mecánicas e hidráulicas del pavimento flexible, mismas que se detallan mediante la recolección, tabulación y análisis con gráficos de datos obtenidos in situ y laboratorio.

#### **3.3 Definición de la muestra**

##### **3.3.1 Población**

La población de interés en este estudio hace referencia a las capas granulares que componen el pavimento flexible de un tramo vial, que conecta los poblados de Flores y Cebadas de la provincia de Chimborazo.

##### **3.3.2 Muestra**

La muestra seleccionada representa el material granular correspondiente a las capas base, subbase y subrasante extraída a través de cinco perforaciones en la vía. Estas perforaciones se llevaron a cabo en áreas consideradas como las más accesibles y seguras para la obtención de las muestras especificadas.

##### **3.3.3 Tipo de muestreo**

Se ha desarrollado un muestreo sistemático estratificado, sistemático al realizar perforaciones regulares a lo largo del tramo vial y estratificado considerando la uniformidad del material a lo largo del tramo vial.

##### **3.3.4 Tamaño de la muestra**

El tramo vial Flores – Cebadas es de aproximadamente 15 kilómetros, las perforaciones muestrales son cada tres kilómetros de calzada en cinco ubicaciones a lo largo del tramo, de estas se tomaron muestras correspondientes al material granular de las tres capas del pavimento (base, subbase y subrasante), con el fin de desarrollar los ensayos pertinentes de acuerdo con la metodología establecida.

### 3.3.5 Ubicación de las muestras

En la ilustración 4 se indican las respectivas localizaciones correspondientes a las perforaciones en los procesos de muestreo.

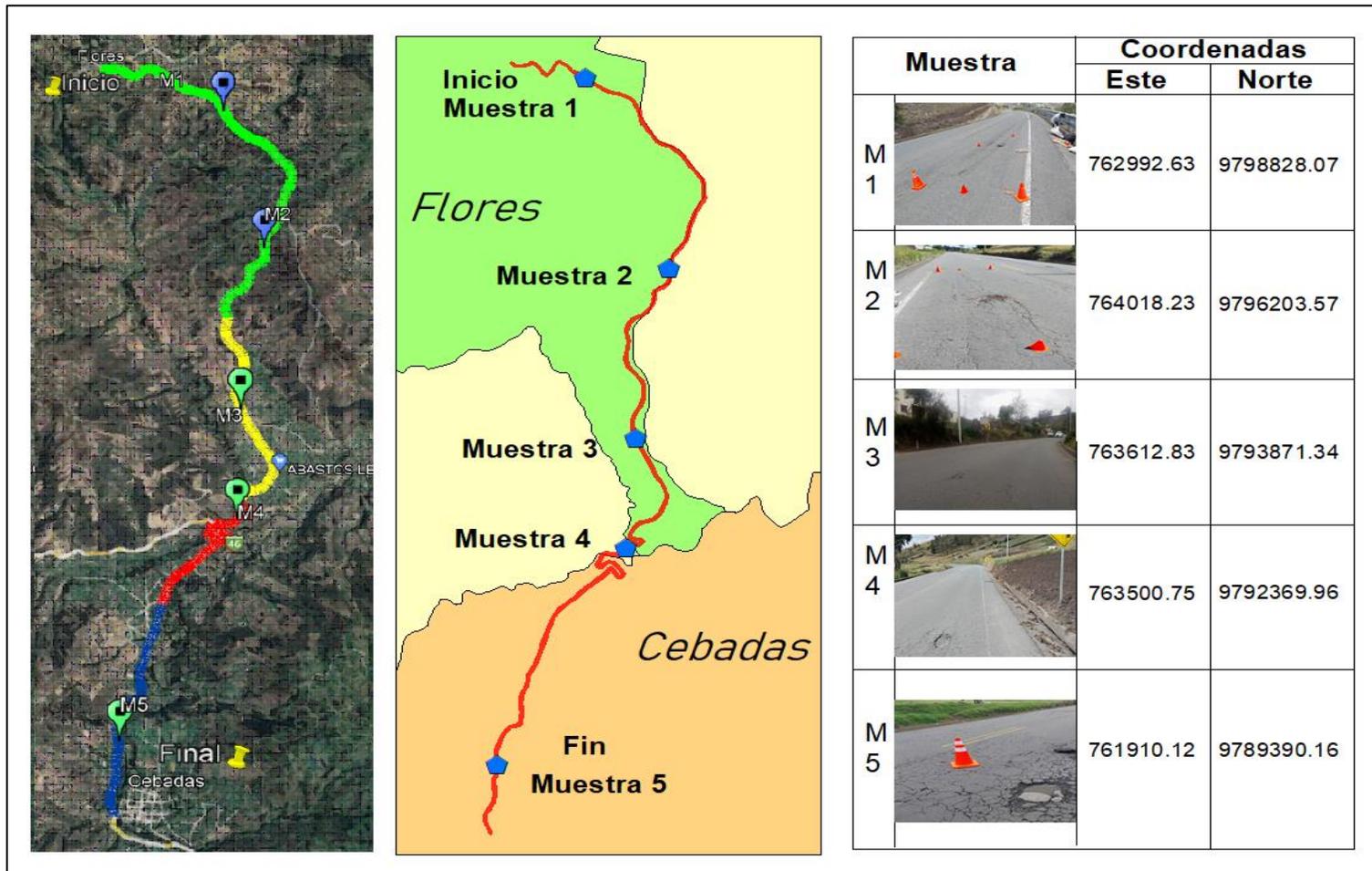


Ilustración 4. Perforaciones de extracción de muestras planificadas. Fuente Propia

### 3.3.1 Diagrama Metodológico

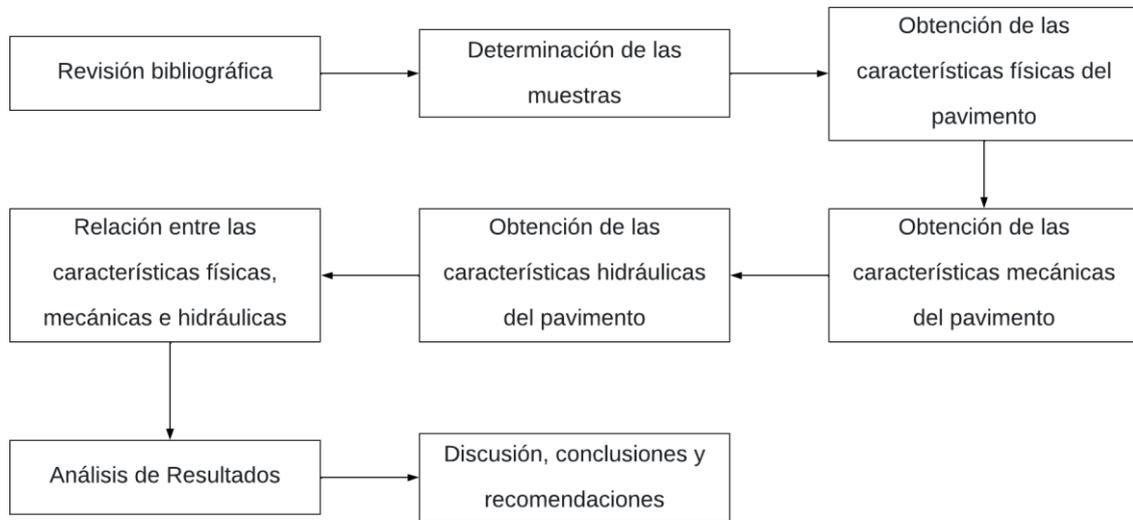


Ilustración 5. Diagrama metodológico.

### 3.3.2 Criterios de selección

Se consideraron zonas propensas a fallas, como agujeros o grietas, para facilitar el análisis. También se tuvo en cuenta el tráfico al implementar estrategias adecuadas para la seguridad. Se sensibilizó a las comunidades indígenas y se tomaron medidas para evitar molestias, realizando muestreos en áreas alejadas de viviendas. El proceso de obtención de las muestras granulares se pueden observar en los **Anexos 1, 2 y 3**.

## 3.4 Procedimientos

### 3.4.1 Ensayos de laboratorio

#### 3.4.1.1 Granulometría de materiales granulares

La granulometría es un método para analizar la distribución de tamaños de partículas en una muestra seca de material granular mediante tamices con aberturas descendentes (INEN, 2011).

Se propuso una escala de colores que clasifica los diferentes tipos de material granular presentes en la vía de acuerdo con sus dimensiones.

<b>Gravas Gruesas</b>	<b>Gravas Finas</b>	<b>Arenas Gruesas</b>	<b>Arenas Finas</b>	<b>Material Fino</b>
Todo lo retenido entre el tamiz 1" 1/2 al 3/4"	Todo lo retenido entre el tamiz 1/2" al N° 4	Todo lo retenido entre el tamiz N° 10 al N° 40	Todo lo retenido entre el tamiz N° 100 al N° 200	Todo lo que pasa el tamiz N° 200

**Ilustración 6.** Escala de colores para la distribución de tamaño de partículas.

### **3.4.1.2 Límites de Atterberg**

La caracterización de plasticidad de un suelo implica la comprensión de cantidades determinadas de humedad necesarias para que el suelo experimente las transiciones entre los distintos estados, estos puntos de transición son denominados límites.

Para determinar los límites líquido y plástico de un suelo se utilizó la norma NTE INEN 0691 (1982a) y NTE INEN 0692 (1982b) respectivamente.

### **3.4.1.3 Compactación Proctor modificado**

Según el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO, 2002), recomienda usar la norma ASTM D – 1557, Proctor modificado para obtener los valores de densidad máxima en laboratorio mismo que sirve como referencia para el control de la compactación en el campo del mismo material, proceso se puede visualizar en el **Anexo 7**.

### **3.4.1.4 Densidad relativa y absorción de materiales granulares**

Este procedimiento de análisis se emplea con la finalidad de calcular la densidad y absorción de materiales granulares ya sean finos o gruesos. Para agregados finos se sigue la norma INEN 856 (2010a), y para agregados gruesos se realiza conforme a la norma INEN 857 (2010b), mismos que en los **anexos 8 y 9** se pueden apreciar de mejor manera.

El ensayo en cuestión se lo realizó únicamente en la base debido a que este estrato del pavimento es el más susceptible a la presencia de agua debido a la infiltración en pavimentos en mal estado.

### 3.4.2 Ensayos in situ

#### 3.4.2.1 Densidad in situ – Método del cono de arena

Este método se utiliza con el propósito de determinar la densidad de los suelos en su ubicación original (in situ), en donde se realiza mediciones directas en el terreno a través del dispositivo denominado cono de arena.

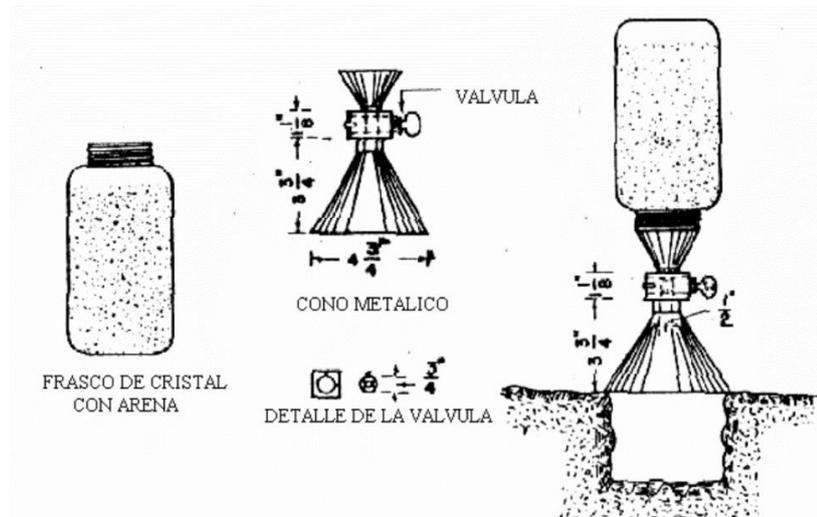


Ilustración 7. Esquema del dispositivo cono de arena. Fuente: Valle Rodas, 1982.

#### 3.4.2.2 Densidad in situ – Método Eléctrico

El método eléctrico hace referencia a la obtención de la densidad directamente en el terreno de estudio a través del densímetro eléctrico (EDG), modelo H-4114C de la marca Humboldt, un dispositivo portátil cuyo uso ha adquirido notoriedad en los últimos años como una metodología no invasiva para evaluar la densidad, contenido de humedad y grado de compactación de suelos compactados en la industria de la construcción. Este equipo es capaz de adquirir de manera más segura las propiedades físicas mencionadas en el suelo.

Dentro de los elementos que componen el EDG constan:



**Ilustración 8.** Componentes del EDG. Adaptado de: Humboldt, 2008.

Este aparato emplea la propagación de ondas electromagnéticas mediante el uso de los dardos metálicos en el suelo, el procedimiento otorga mediciones precisas de hasta 30 cm de profundidad, basándose en el cálculo promedio de al menos tres “firmas eléctricas” (lecturas) almacenadas en un “modelo estadístico de suelo”, estas firmas eléctricas se obtienen a través de la determinación de la densidad in situ por el método del cono de arena, a partir del modelo de suelo y un ensayo Proctor modificado es posible crear en el dispositivo portátil un “sitio de trabajo” con el fin de determinar las propiedades buscadas en cualquier suelo con condiciones y características similares.

Para el ensayo, se identifican zonas adecuadas y se genera un modelo de suelo en el equipo. Se instalan los dardos en el suelo para la captura de firmas eléctricas, con el plato de soporte y sensor de medición. Se conectan los cables al sensor y a la sonda de temperatura en la consola, verificando la inserción correcta de la sonda. Se intercambian las pinzas durante las descargas eléctricas, como se muestra en los **anexos 13y 14**. Se crean al menos 3 conos de arena para el modelo de suelo y se realiza la prueba de compactación proctor en la muestra representativa. Los datos se ingresan en la consola, verificando el ajuste y asegurando que el FIT sea mayor a 0.70; de lo contrario, se repiten las tomas de datos. Se establece un nuevo sitio de trabajo en la consola asociado al modelo de suelo previamente realizado, repitiendo los pasos para las descargas eléctricas,

donde el dispositivo adquiere las características físicas del suelo basándose en los datos eléctricos registrados.

### 3.4.2.3 Elasticidad y rigidez in situ – Método “GeoGauge”

El GeoGauge destaca como una herramienta para medir propiedades mecánicas In Situ de terrenos compactados en construcciones como cimentaciones o pavimentos. Utiliza desplazamientos oscilatorios de magnitudes mínimas en un espectro de 25 frecuencias. Este equipo arroja resultados de rigidez, módulo de elasticidad promedio y desviación estándar de las capas base, subbase y subrasante del pavimento flexible.

- **Características del equipo GeoGauge**

Es un dispositivo con un cilindro de 28 cm de diámetro y 25,4 cm de altura, pesando 10 kg, diseñado para asentarse en la superficie de material granular mediante una base anular. Con capacidad para almacenar hasta 100 mediciones en su memoria, opera con 6 pilas D-cell estándar de tipo desechable como fuente de energía.

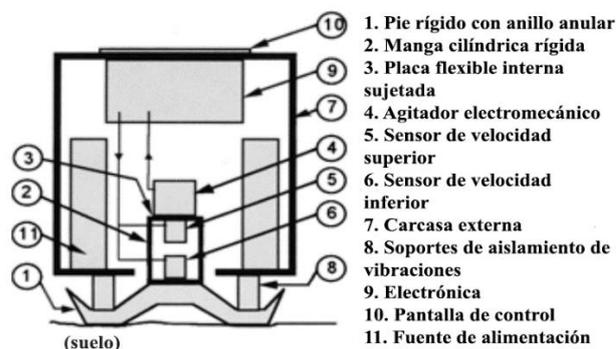


Ilustración 9. Esquema gráfico del GeoGauge. Adaptado de: ASTM, 2007.

Se explica la secuencia de pasos de la metodología empleada para la obtención de las propiedades mecánicas del pavimento en cuestión a través del equipo GeoGauge

- Se limpia el área de ensayo, y se nivela si es necesario con una pala.
- Se aplica una capa de arena húmeda de 5 a 20 mm para evitar raspaduras por material granular grueso.
- Se alinea y se enciende el equipo, asegurándose de que la base esté en contacto con el suelo y nivelada.

- Para iniciar la toma de datos, se presiona el botón "Measure" el equipo tarda aproximadamente un minuto para finalizar el proceso.
- El dispositivo despliega en pantalla valores como ruido ambiental (Snr) y desviación estándar de frecuencias (Sd).
- Para alternar entre la visualización del módulo de Young (Resiliente) y el módulo de rigidez, presionar "Test", estas magnitudes estarán expresadas en MPa y MPA/m respectivamente.

Los **anexos 11 y 12** muestran el funcionamiento del equipo.

#### **3.4.2.4 Infiltración y escurrimiento – Método del infiltrómetro de doble anillo (UNACH 2024)**

El procedimiento en cuestión es expuesto en la norma ASTM (2003), sin embargo, el método fue adaptado de acuerdo con las necesidades de la investigación.

A continuación, se describen todas las características presentes en el infiltrómetro utilizado:

- Los cilindros se encuentran confeccionados en acero galvanizado de 1.5 mm de espesor, presentando un peso total de 22.5 kg
- Las dimensiones de los cilindros se establecieron de la siguiente manera, el diámetro del cilindro exterior es de 45 cm mientras que el diámetro del cilindro interior corresponde a 250 cm, ambos cilindros poseen una altura de 600 cm.
- En la parte inferior del infiltrómetro, se incorporaron anillos de caucho (burlate) impermeabilizante con alma metálica con el propósito de limitar el flujo de agua hacia el entorno circundante del suelo, garantizando así la hermeticidad del dispositivo, la elección del caucho se basó en su facilidad para adaptarse y ajustarse al entorno circular de la base del infiltrómetro.



**Ilustración 12.** Caucho -  
Perfiles burletes alambrados 341

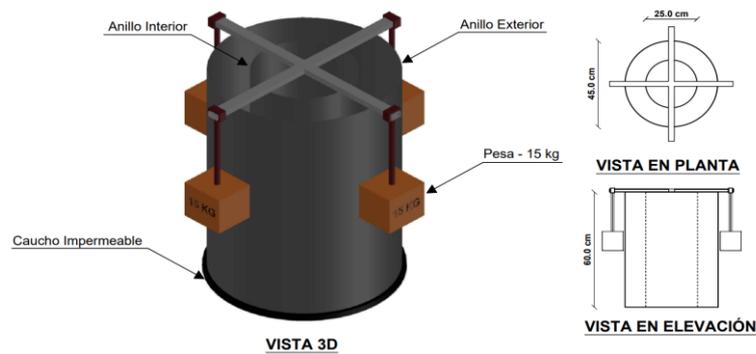


**Ilustración 11.** Modo de  
ensamblaje



**Ilustración 10.** Colocación del  
caucho en el infiltrómetro

- Como medidas de precaución ante eventuales pérdidas de agua en el contorno de la base, se adoptó la utilización de silicona, además, en los extremos la cruz metálica situada en la parte superior del infiltrómetro, se dispusieron contrapesos de 15 kg con el fin de asegurar la estabilidad y ejercer presión en el caucho para que impida la fuga lateral de agua.



**Ilustración 13.** Esquema gráfico del infiltrómetro. Fuente Propia.

La metodología del ensayo se encuentra alineada a los objetivos específicos propuestos, se instala infiltrómetro asegurándose de nivelar correctamente los anillos. Para prevenir fugas, se aplica silicona alrededor de la base, luego se colocan pesas de 15 kg en los extremos superiores. Posteriormente, se llena parcialmente el infiltrómetro con agua y se registra el tiempo inicial. Finalmente utilizando un cronómetro, se monitorea el descenso del nivel del agua en intervalos específicos. Al relacionar el volumen de agua que se infiltra en el pavimento con el volumen inicial en el cilindro interno, se obtendrá la proporción de infiltración, y simultáneamente, el volumen que residual en el cilindro tras la realización del ensayo, en relación con el volumen inicial, se identificará como el índice de escorrentía.

## 4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 PROPIEDADES FÍSICAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

#### 4.1.1 Terreno Natural: Comparativa con datos geológicos

Los datos recolectados en este estudio acerca de la caracterización del terreno natural se contrastan con aquellos registrados en la base de datos de cartografía nacional, siendo estas coincidencias y diferencias evidenciadas en la tabla 4.

**Tabla 4.** Comparación: Ensayos de laboratorio vs Datos ministeriales.

Muestra	Clasificación SUCS	Caracterización del suelo (MAG, 2015)	Formación Geológica (MAG, 2015)	Descripción de la Formación (IGM, 2022)
1	SP	Franco Limoso	Formación Cangahua Andina Ecuatoriana	Recubierta por depósitos volcánicos resultantes de una serie de erupciones volcánicas, posiblemente cientos e inclusive miles, emanadas de la región Sierra Centro Norte del Ecuador, regiones que van desde Carchi hasta Alausí en Chimborazo, este depósito denominado comúnmente como suelo negro andino consiste en un tipo de molisol caracterizado por un elevado contenido de arcilla. Su espesor puede variar en función de la topografía de la zona de estudio.
2	SP – SM			
3	SP			
4	SP – SM			
5	SP	Areno Francoso	Unidad Alao Paute	Consta de una secuencia de rocas verdes andesíticas que se extienden desde el Río Pastaza hacia el norte del Río Paute. Su mineralogía principal es de esquistos verdes con clorita, albita, cuarzo y epidota. También se encuentran esquistos derivados de meta basaltos esquistos pelíticos, rocas grafitosas y mármoles oscuros.

#### 4.1.2 Granulometría

En las tablas 5 y 6 se muestran los porcentajes de material que pasan por cada tamiz, su clasificación SUCS y AASHTO, la clase de material y el análisis de cara fracturadas de la base y subbase del pavimento flexible respectivamente:

**Tabla 5.** Resumen ensayo de granulometría – base.

Tamiz	Abertura en [mm]	MUESTRAS					Denominación
		Porcentaje que pasa [%]					
		M1	M2	M3	M4	M5	
2"	50.400	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
1" 1/2"	38.100	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	GRAVA GRUESA
1"	25.000	100.00	100.00	100.00	100.00	97.49	
3/4"	19.000	100.00	97.30	100.00	98.10	96.69	GRAVA FINA
1/2"	12.500	86.69	85.39	88.20	75.25	90.78	
3/8"	9.500	79.38	77.58	81.60	64.33	82.26	
No. 4	4.750	60.76	59.66	68.20	44.89	62.93	
No. 10	2.000	44.44	43.54	53.20	31.96	43.79	ARENA GRUESA
No. 40	0.425	24.32	22.32	28.50	17.74	21.94	ARENA FINA
No. 100	0.150	12.41	9.71	10.60	6.11	9.12	
No. 200	0.075	6.11	4.00	3.00	1.10	1.10	LIMOS
<b>Coefficiente de Uniformidad (CU)</b>		39.65	31.33	20.85	38.31	25.83	
<b>Coefficiente de Curvatura (CC)</b>		0.82	0.75	0.52	1.51	0.84	
<b>Clase de base</b>		Clase 2	Clase 2	Clase 2	Clase 2	Clase 2	
<b>Mas de dos caras fracturadas</b>		SI	SI	SI	SI	SI	
<b>Clasificación SUCS</b>		SP	SP	SP	GW	SP	
<b>Clasificación AASHTO</b>		A-3	A-3	A-3	A-3	A-3	

**Tabla 6.** Resumen ensayo de granulometría – subbase.

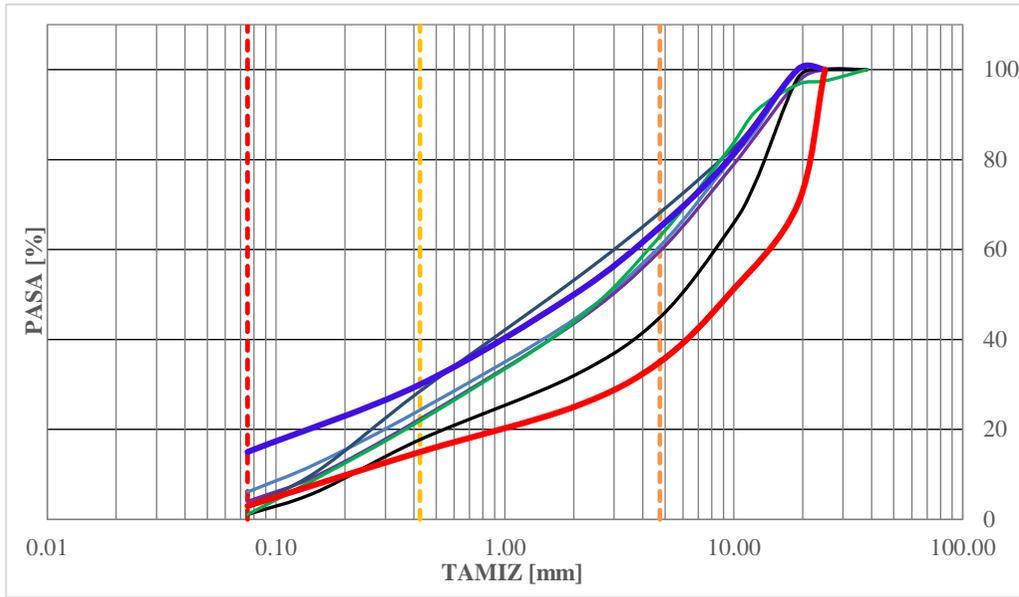
Tamiz	Abertura en [mm]	MUESTRAS					Denominación
		Porcentaje que pasa [%]					
		M1	M2	M3	M4	M5	
2"	50.400	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
1" 1/2"	38.100	86.49	88.30	88.82	86.09	100.00	GRAVA GRUESA
1"	25.000	72.87	70.90	77.85	80.08	93.79	
3/4"	19.000	71.77	68.10	70.93	78.38	91.28	GRAVA FINA
1/2"	12.500	63.06	54.60	63.31	70.97	86.37	
3/8"	9.500	59.26	49.50	59.04	67.17	83.67	
No. 4	4.750	50.55	36.90	48.68	53.25	73.15	
No. 10	2.000	39.34	26.70	39.74	37.84	59.82	ARENA GRUESA
No. 40	0.425	21.32	15.00	27.24	19.02	43.69	ARENA FINA
No. 100	0.150	11.01	6.10	17.68	6.31	21.24	
No. 200	0.075	4.90	2.10	7.42	1.80	4.31	LIMOS
<b>Coefficiente de Uniformidad (CU)</b>		74.94	62.42	113.14	32.75	21.37	
<b>Coefficiente de Curvatura (CC)</b>		0.60	2.00	0.40	0.82	0.26	
<b>Clase de subbase</b>		Clase 2	Clase 2	Clase 2	Clase 2	Clase 3	
<b>Mas de dos caras fracturadas</b>		SI	SI	SI	SI	NO	
<b>Clasificación SUCS</b>		SP	GW	GP	SP	SP	
<b>Clasificación AASHTO</b>		A-3	A-3	A-3	A-3	A-3	

En la tabla 7 se muestran los porcentajes de material que pasan por cada tamiz, su clasificación SUCS y AASHTO de las muestras de subrasante del tramo vial en estudio:

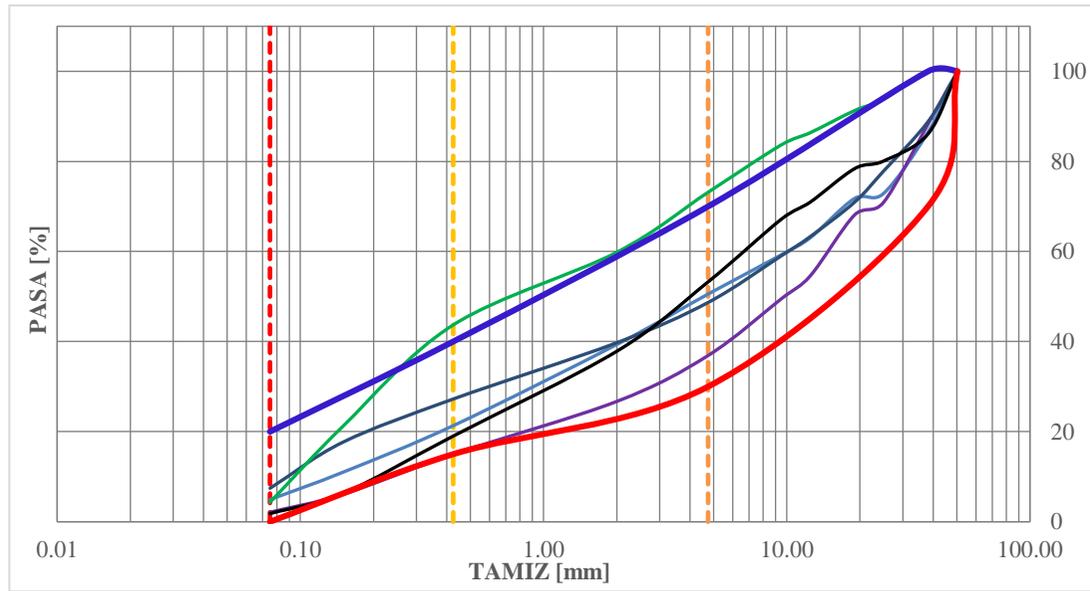
**Tabla 7.** Resumen ensayo de granulometría – subrasante.

Tamiz	Abertura en [mm]	MUESTRAS					Denominación
		Porcentaje que pasa [%]					
		M1	M2	M3	M4	M5	
2"	50.400	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	GRAVA GRUESA
1" 1/2"	38.100	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
1"	25.000	95.20	100.00	100.00	100.00	100.00	
3/4"	19.000	92.19	100.00	100.00	98.19	95.60	
1/2"	12.500	87.39	97.60	98.19	97.39	88.30	
3/8"	9.500	84.68	96.10	96.69	95.79	83.70	GRAVA FINA
No. 4	4.750	74.37	91.89	90.47	90.97	70.90	ARENA GRUESA
No. 10	2.000	56.66	78.08	73.02	78.54	58.30	
No. 40	0.425	25.53	49.65	40.52	60.98	38.10	ARENA FINA
No. 100	0.150	10.91	26.23	17.05	26.38	13.60	
No. 200	0.075	5.11	9.81	4.01	3.81	3.30	LIMOS
<b>Coefficiente de Uniformidad (CU)</b>		17.50	9.88	10.43	4.55	19.09	
<b>Coefficiente de Curvatura (CC)</b>		0.89	0.56	0.64	0.75	0.34	
<b>Clasificación SUCS</b>		SP	SP-SM	SP	SP-SM	SP	
<b>Clasificación AASHTO</b>		A-3	A-2-4	A-3	A-2-4	A-3	

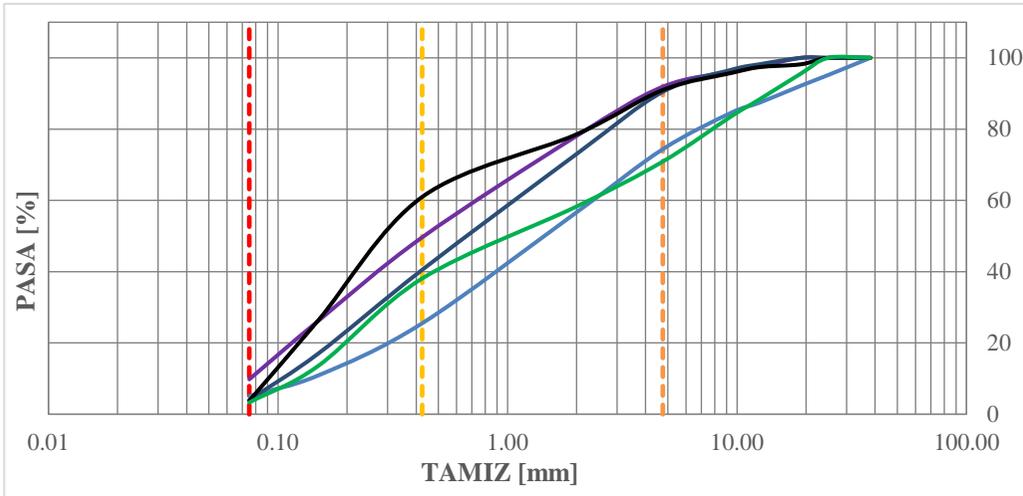
Se presentan las curvas granulométricas de cada muestra analizada en todo el tramo vial para la base, subbase y subrasante



**Ilustración 14.** Curvas Granulométricas - Base.



**Ilustración 15.** Curvas granulométricas - Subbase.



**Ilustración 16.** Curvas Granulométricas – Subrasante.

- Tamiz No. 4 (Separa Arenas de Gravas)
- Tamiz No. 40 (Separa Arena Gruesa de Fina)
- Tamiz No. 200 (Separa Arena Fina de Limos)
- M1
- M2
- M3
- M4
- M5
- Lim. Superior
- Limite Inferior

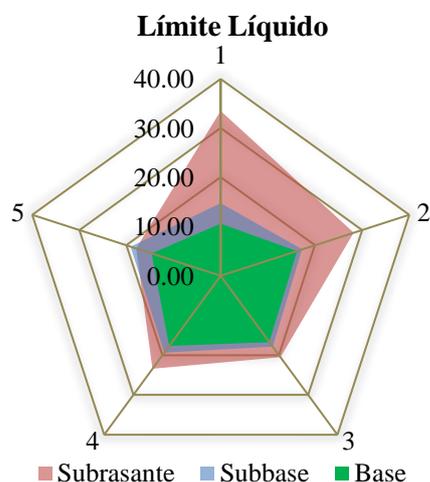
Leyenda de las Curvas Granulometricas

En las ilustraciones 14 y 15 se observan las curvas granulométricas de la base y subbase. En la ilustración 14 todas las muestras de base están dentro de los límites superior e inferior que deben cumplir para ser catalogadas como clase 2, a pesar de que en la curva M3 hay puntos que sobresalen de los límites, más de la mitad de la curva se encuentra dentro del rango especificado, siendo aceptable. En la ilustración 14, la curva M5 de la subbase excede los límites establecidos, lo que la clasifica como subbase clase 3, mientras que las muestras restantes cumplen con los criterios para ser clasificadas como clase 2.

En la base predomina las partículas de arena, al examinar el tamiz N°4 que distingue entre arenas y gravas, se evidencia que más del 50% del material pasa este tamiz. En la subbase menos del 50% pasa el tamiz de control evidenciando una mayor presencia de gravas en la subbase que en la base.

En el análisis granulométrico de la subrasante, muestran variaciones en las curvas de las 5 muestras ensayadas, debido a la diversidad de suelos presentes, a pesar de ello se identifica un patrón común: más del 60% del material pasa a través del tamiz N° 4, esto sugiere la ausencia de gravas en este estrato.

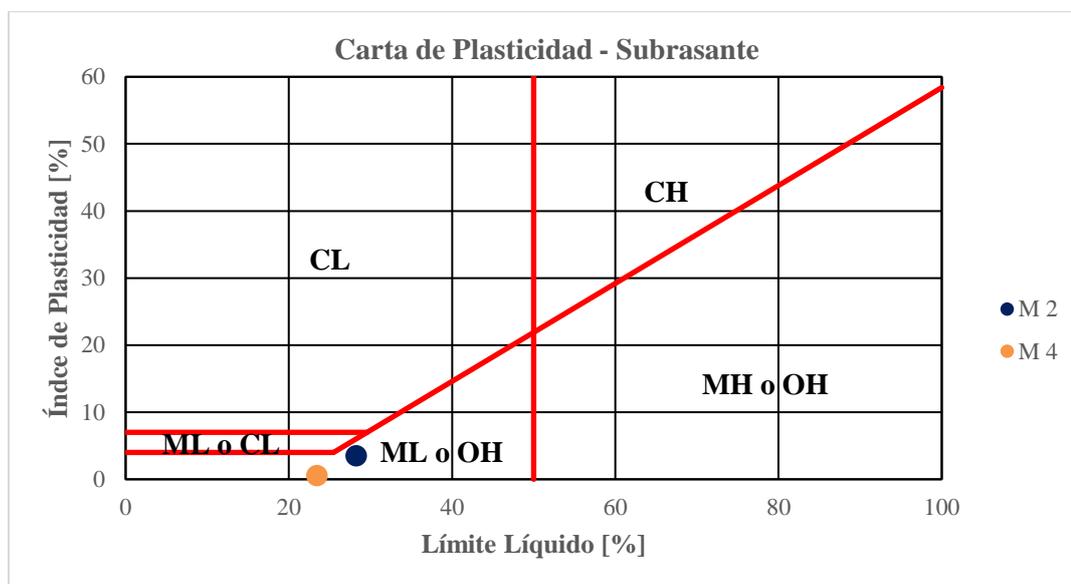
#### 4.1.3 Límites de Atterberg



**Ilustración 17.** Límites de consistencia para los estratos del pavimento.

Al analizar los límites de consistencia, en la ilustración 17 se observa únicamente la presencia de límite líquido, teniendo mayores valores en las capas más profundas y menos resistencia. La ausencia de límite plástico se debe a que no se logró el objetivo del ensayo plástico que fue formar cilindros con 3 mm de diámetro con el material resultando en valores nulos, caracterizando a la base y

subbase granular como un material no plástico (NP). La subrasante, siendo representativo de un terreno natural estabilizado para la colocación de las capas superiores del pavimento flexible, expresa características análogas a los dos estratos analizados previamente, no obstante, en el caso de las muestras 2 y 4 de la subrasante se hizo uso de la carta de plasticidad con la finalidad de caracterizar el tipo de material fino presente en el terreno natural, como resultado de este análisis, se determinó la presencia de limos de baja plasticidad, tal y como se observa en la ilustración 18.



**Ilustración 18.** Carta de plasticidad para las muestras 2 y 4 en subrasante.

La tabla 8 proporciona un compendio numérico de los fenómenos de plasticidad analizados:

**Tabla 8.** Resumen de plasticidad en las capas granulares del pavimento flexible.

Resumen Límites de Atterberg [%]					
Número de Muestra	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Presencia de Plasticidad	
<b>Base</b>	1	10.56	-	-	NP
	2	16.18	-	-	NP
	3	16.69	-	-	NP
	4	17.67	-	-	NP
	5	14.68	-	-	NP
<b>Subbase</b>	1	14.74	-	-	NP
	2	17.25	-	-	NP
	3	17.84	-	-	NP
	4	19.35	-	-	NP
	5	19.12	-	-	NP
<b>Subrasante</b>	1	33.50	-	-	NP

	2	28.21	24.66	3.55	SI
	3	20.50	-	-	NP
	4	23.41	22.83	0.58	SI
	5	17.94	-	-	NP

#### 4.1.4 Compactación Proctor modificado

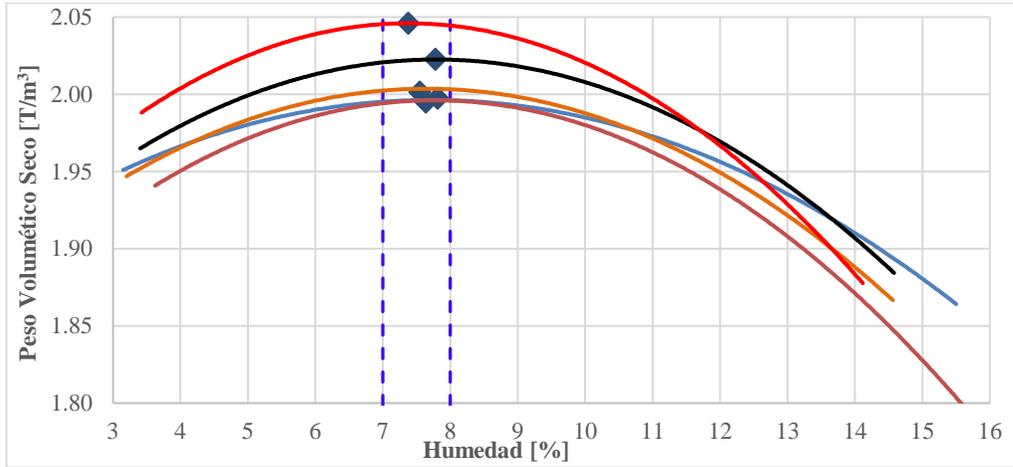
En el ensayo Proctor se muestran las curvas de compactación de las 5 muestras de las 2 capas granulares y subrasante del pavimento flexible en el tramo de estudio.

En la tabla 9 se presenta el resumen de resultados del ensayo Proctor de las muestras en la base, subbase y subrasante.

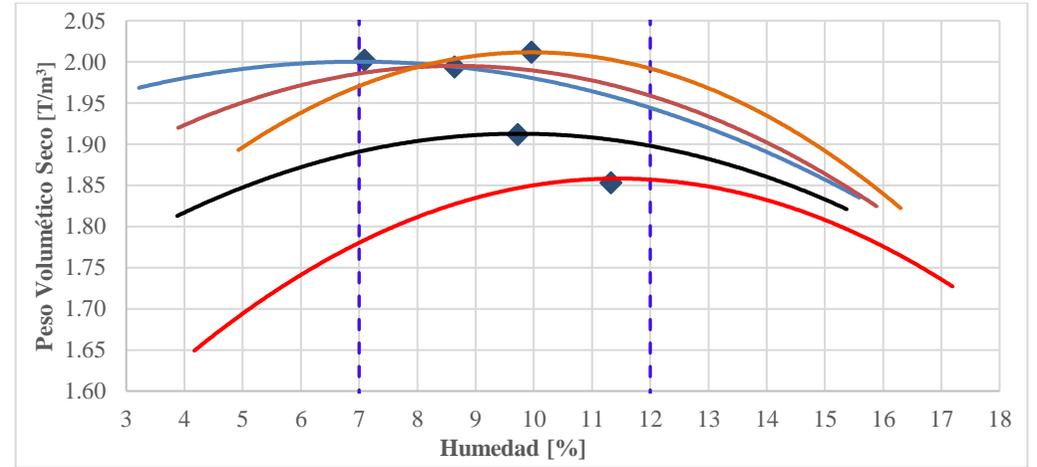
**Tabla 9.** Resultados del ensayo Proctor modificado.

<b>Densidad Máxima Seca y Humedad Óptima</b>						
<b>Características</b>	<b>Estrato</b>	<b>Muestras</b>				
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Humedad Óptima [%]	Base	7.636	7.813	7.783	7.552	7.378
Densidad Máxima Seca [T/m <sup>3</sup> ]		1.995	1.997	2.023	2.001	2.046
Humedad Óptima [%]	Subbase	7.091	8.636	9.724	9.957	11.325
Densidad Máxima Seca [T/m <sup>3</sup> ]		2.002	1.994	1.912	2.012	1.853
Humedad Óptima [%]	Subrasante	20.045	16.722	18.682	17.118	12.225
Densidad Máxima Seca [T/m <sup>3</sup> ]		1.549	1.720	1.505	1.690	1.8412

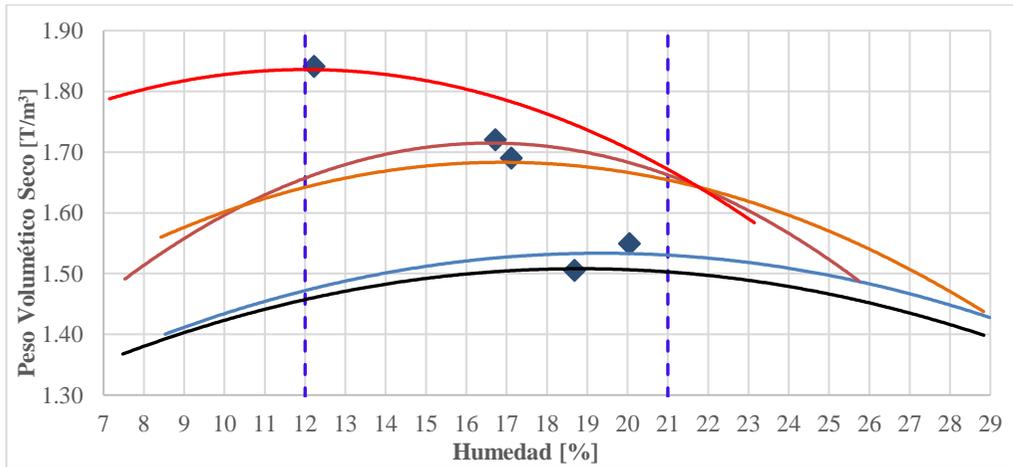
En las siguientes ilustraciones se muestran las curvas de compactación de las capas granulares y la subrasante.



**Ilustración 19.** Curvas de compactación de la Base



**Ilustración 20.** Curvas de compactación de la Subbase.



**Ilustración 21.** Curvas de compactación de la Subrasante.

- ◆ Densidad Seca Maxima
- - - Rango de Humedades Optimas
- M1
- M2
- M3
- M4
- M5

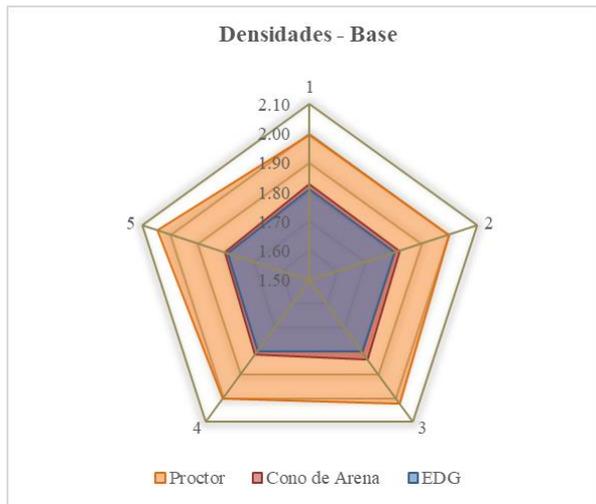
Leyenda de las curvas de compactación-ensayo Proctor modificado

**Análisis:** En el análisis de las gráficas de compactación de las muestras de base - subbase y subrasante utilizadas en la vía Flores - Cebadas, se observa una notable disparidad en los requerimientos de contenido de humedad para alcanzar la densidad máxima seca entre las capas de subbase, base y subrasante. Las capas de subbase presentan mayores contenidos de humedad, oscilando entre el 7-12%, en comparación con la base que requiere niveles de humedad de 7-8%. Por otro lado, las subrasantes, al contener más material fino y, en algunos casos, presencia de limos según el análisis granulométrico, demandan mayores contenidos de humedad debido a la capacidad de retención de agua por parte de sus partículas finas. Estos contenidos de humedad en la subrasante varían significativamente, fluctuando entre el 12-21%. Las curvas de compactación en la base reflejan un comportamiento similar, dado que el material era homogéneo en todo el tramo; sin embargo, en la subbase, las variaciones en humedad y densidad seca máxima indican la diversidad del material a lo largo de la vía. En la subrasante el tipo de suelo cambia según su ubicación geográfica, existiendo suelos arenosos y limosos lo que varía su humedad óptima y densidad máxima seca.

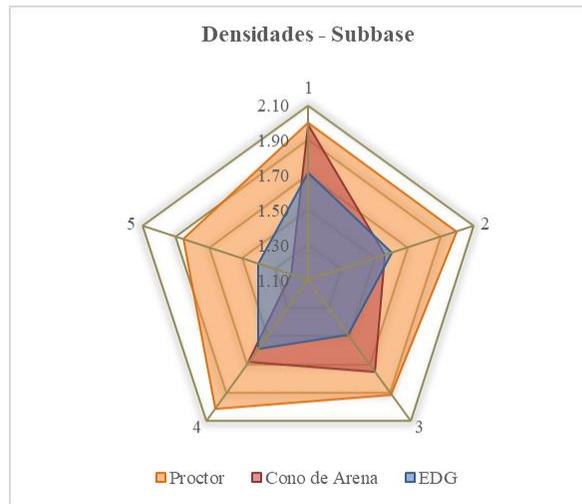
#### 4.1.5 Densidades

Las densidades de los estratos del tramo analizado fueron obtenidas mediante diversas metodologías expuestas en el marco referencial, con el ensayo proctor modificado se determinó la densidad máxima de compactación alcanzable por el material granular. Asimismo, a través de los procedimientos del cono de arena y el densímetro eléctrico (EDG), se obtuvieron las densidades in situ de dichos estratos, en las ilustraciones 22, 23 y 24 se evidencian de forma gráfica la distribución de densidades obtenidas, así como variación entre los dos métodos in situ implementados.

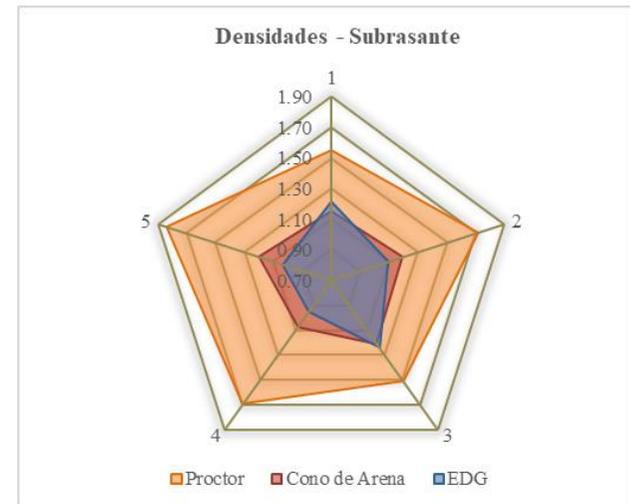
#### Densidades in situ – Cono de Arena vs EDG



**Ilustración 22.** Densidades obtenidas de la base granular.



**Ilustración 23.** Densidades obtenidas de la subbase granular.



**Ilustración 24.** Densidades obtenidas de la subrasante.

En tabla 10, se exhibe una síntesis de los valores numéricos obtenidos para las densidades en las distintas capas del pavimento flexible objeto de análisis.

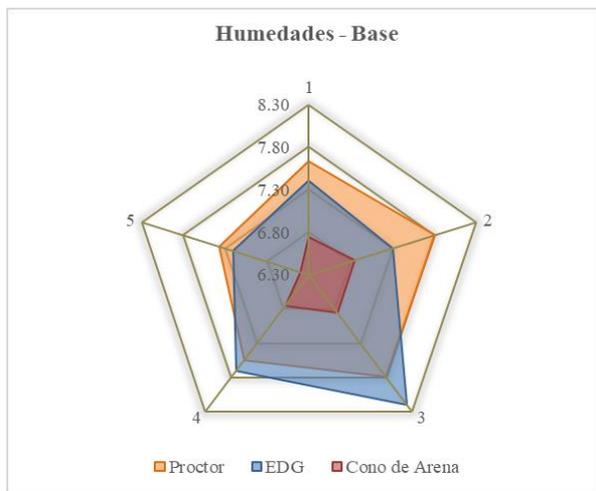
**Tabla 10.** Resumen de densidades en las capas granulares del pavimento flexible.

<b>Resumen Densidades [gr/cm<sup>3</sup>]</b>				
<b>Muestra</b>		<b>EDG</b>	<b>Cono de Arena</b>	<b>Proctor</b>
<b>Base</b>	<b>1</b>	1.81	1.83	1.99
	<b>2</b>	1.80	1.82	2.00
	<b>3</b>	1.80	1.84	2.02
	<b>4</b>	1.80	1.82	2.00
	<b>5</b>	1.79	1.80	2.05
<b>Subbase</b>	<b>1</b>	1.72	1.99	2.00
	<b>2</b>	1.61	1.56	1.99
	<b>3</b>	1.49	1.75	1.91
	<b>4</b>	1.59	1.68	2.01
	<b>5</b>	1.40	1.20	1.85
<b>Subrasante</b>	<b>1</b>	1.22	1.15	1.55
	<b>2</b>	1.10	1.20	1.72
	<b>3</b>	1.24	1.21	1.51
	<b>4</b>	0.95	1.07	1.69
	<b>5</b>	1.04	1.20	1.84

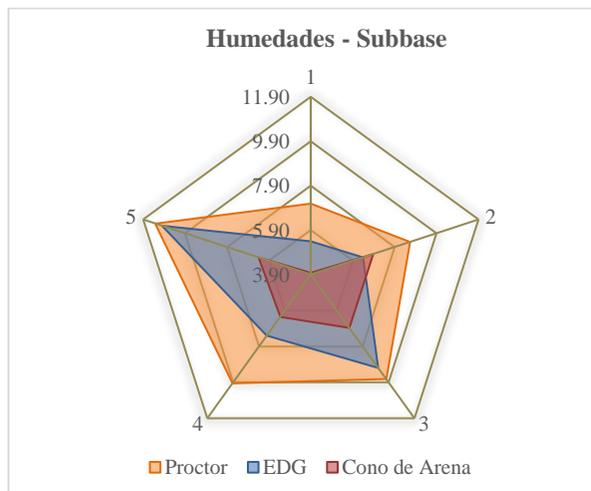
#### 4.1.6 Humedades

Así como en el caso de las densidades, las humedades fueron determinadas a partir del uso de las metodologías previamente mencionadas. Las ilustraciones 25, 26 y 27 ofrecen una comparativa gráfica de los porcentajes de agua presentes en las capas granulares sometidas a estudio mediante dichos procedimientos, destacando la observación de fenómenos tales como humedades in situ mayores a las óptimas definidas en el ensayo proctor, esta situación se presenta debido a las condiciones climáticas presentes durante el desarrollo del ensayo en donde se observó un suelo en condiciones de humedad comunes en un día lluvioso, esto implica que las densidades secas resultantes serán relativamente reducidas con en relación con otras muestras.

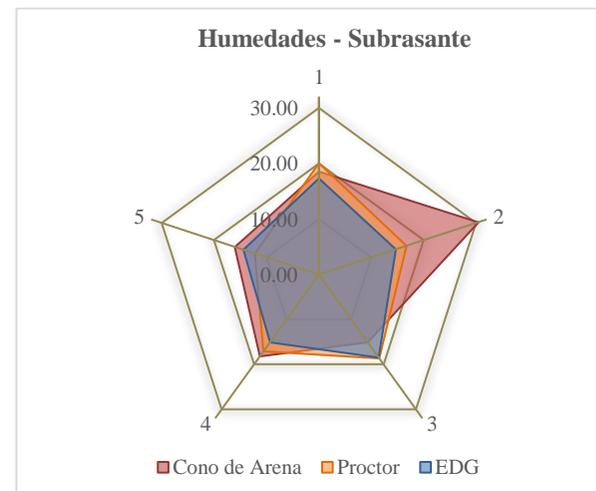
#### Humedades in situ – Cono de Arena vs EDG



**Ilustración 25.** Humedades obtenidas de la base granular.



**Ilustración 26.** Humedades obtenidas de la subbase granular.



**Ilustración 27.** Humedades obtenidas de la subrasante.

En tabla 11, se presentan los valores numéricos obtenidos para las humedades en los tres estratos del tramo vial analizado.

**Tabla 11.** Resumen de humedades en las capas granulares del pavimento flexible.

<b>Resumen Humedades [%]</b>				
<b>Muestra</b>		<b>EDG</b>	<b>Cono de Arena</b>	<b>Proctor</b>
<b>Base</b>	1	7.40	6.75	7.64
	2	7.30	6.85	7.81
	3	8.20	6.86	7.78
	4	7.70	6.76	7.55
	5	7.20	6.40	7.38
<b>Subbase</b>	1	5.40	3.97	7.09
	2	6.39	6.88	8.64
	3	9.10	6.87	9.72
	4	7.30	6.26	9.96
	5	11.00	6.39	11.33
<b>Subrasante</b>	1	17.30	18.53	20.05
	2	14.70	30.48	16.72
	3	18.50	15.08	18.68
	4	15.10	18.24	17.12
	5	14.40	16.05	12.23

#### 4.1.7 Densidades y absorción de material granular

Se evaluaron las densidades y absorción de agua en la capa base, identificada como la más vulnerable a la infiltración superficial en pavimentos flexible. En conformidad con los estudios expuestos por Martínez et al. (2009) y Cedergren (1974), se establece que el agua infiltrada atraviesa la capa de rodadura y se retiene exclusivamente en la capa base del pavimento durante la duración del ensayo de infiltración. Se realizó el ensayo de una sola muestra debido a que en el análisis granulométrico la clase de base era la misma para todo el tramo vial. La tabla 12, evidencia los valores para el material fino y grueso respectivamente.

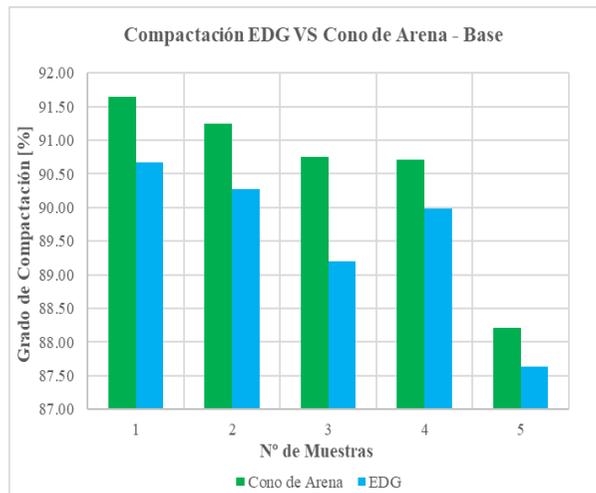
**Tabla 12.** Densidad y absorción del agregado fino y grueso – Base clase 2.

<b>Densidades y Absorciones</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Variable</b>	<b>Material Fino</b>	<b>Material Grueso</b>	<b>Unidad</b>
<b>Gravedad específica seca al horno</b>	SG <sub>SH</sub>	2.438	2.466	[-]
<b>Gravedad específica saturada superficialmente seca</b>	SG <sub>SSS</sub>	2.461	2.539	[-]
<b>Gravedad específica aparente</b>	SG <sub>A</sub>	2.495	2.661	[-]
<b>Densidad seca al horno</b>	DS <sub>H</sub>	2431.406	2459.660	[kg/m <sup>3</sup> ]
<b>Densidad saturada superficialmente seca</b>	D <sub>SSS</sub>	2454.478	2532.873	[kg/m <sup>3</sup> ]
<b>Densidad aparente</b>	D <sub>A</sub>	2488.976	2654.491	[kg/m <sup>3</sup> ]
<b>Absorción del material</b>	ABS	0.38145	2.977	[%]

#### 4.1.8 Grado de compactación

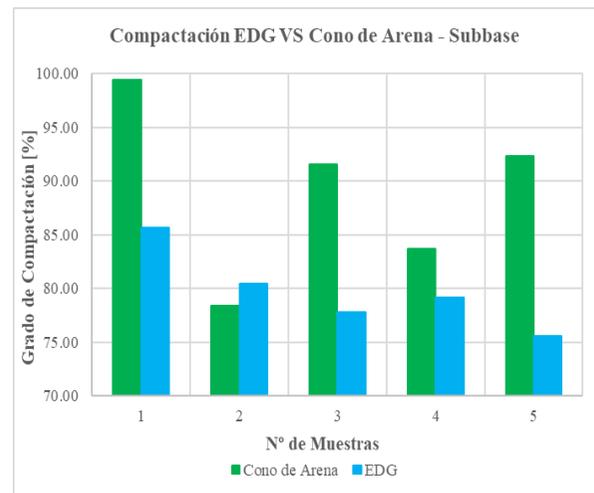
La evaluación del grado de compactación de las capas granulares se realiza a partir de las densidades máximas y las densidades in situ; las ilustraciones 28, 29 y 30 presentan una comparación de grados de compactación derivadas de las dos metodologías para la obtención de densidades in situ utilizadas en esta investigación. Este análisis tiene como objetivo proporcionar una percepción del nivel de cierre y proximidad de los vacíos en los estratos del pavimento.

**Base**



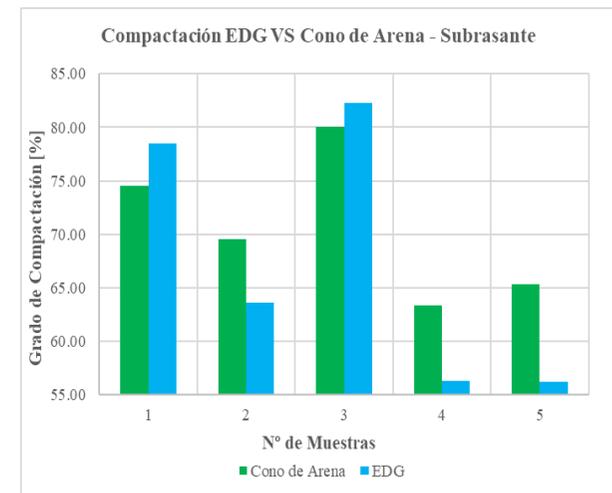
**Ilustración 28.** Comparativa de metodologías – Grados de compactación en la base.

**Subbase**



**Ilustración 29.** Comparativa de metodologías – Grados de compactación en la subbase.

**Subrasante**



**Ilustración 30.** Comparativa de metodologías – Grados de compactación en la subrasante.

La tabla 13 expone de forma cuantitativa los grados de compactación en cada una de las muestras, considerando sus tres estratos de análisis.

**Tabla 13.** Resumen de grados de compactación en las capas granulares del pavimento flexible.

<b>Grados de Compactación [%]</b>						
<b>Método</b>		<b>MUESTRA</b>				
		<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>M4</b>	<b>M5</b>
<b>Base</b>	Cono de Arena	91.64	91.25	90.75	90.72	88.22
	EDG	90.68	90.27	89.19	89.99	87.63
<b>Subbase</b>	Cono de Arena	99.45	78.36	91.54	83.74	92.31
	EDG	85.67	80.49	77.83	79.14	75.54
<b>Subrasante</b>	Cono de Arena	74.54	69.50	80.06	63.34	65.29
	EDG	78.49	63.65	82.24	56.32	56.21

Es esencial que los ingenieros geotécnicos y laboratorios especializados examinen y midan las densidades óptimas de compactación a través de pruebas in situ, ya que el contenido de humedad adecuado es fundamental para lograr la máxima densidad. Si el suelo está demasiado seco o muy húmedo, no alcanzará el 95% del Proctor Estándar (Romero & Sañac, 2016).

## **4.2 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE**

### **4.2.1 Resiliencia, Rigidez y CBR**

La tabla 14 exhibe las lecturas obtenidas mediante el uso del equipo GeoGauge, en donde constan el módulo resiliente y de rigidez, adicionalmente a partir de estos datos se determinó el porcentaje de CBR estimado con el uso de correlaciones de varios autores, que plantearon ecuaciones para determinar la relación existente entre el CBR y el módulo resiliente y de rigidez, en donde se observa que la muestra 1 posee valores superiores de resistencia y calidad, esto se debe a que en este punto se utilizó el equipo debajo de una capa de rodadura en buenas condiciones, a diferencia de las otras muestras las cuales se evaluaron debajo de fallas con presencia de humedad.

**Tabla 14.** Resumen de los datos obtenidos a través del GeoGauge.

<b>Propiedades Mecánicas del Pavimento Flexible</b>								
<b>Muestra No.</b>	<b>Módulo de Rigidez [MN/m]</b>	<b>Módulo de Young [MPa]</b>	<b>Módulo de Young [PSI]</b>	<b>Desviación Estándar [-]</b>	<b>CBR Ec. [1] [%]</b>	<b>CBR Ec. [2] [%]</b>	<b>CBR Ec. [3] [%]</b>	
<b>Base</b>	1	17.54	130.07	18819.07	1.37	84.48	47.75	33.59
	2	10.65	78.95	11422.82	1.23	27.52	23.16	16.95
	3	8.29	61.49	8896.63	1.51	14.41	10.84	12.04
	4	8.68	64.34	9308.98	1.97	16.35	13.08	12.81
	5	7.39	54.83	7933.03	1.09	10.27	5.20	10.29
<b>Subbase</b>	1	16.07	119.18	17243.46	1.21	69.99	43.44	29.80
	2	10.19	75.63	10942.47	1.35	24.70	21.04	15.98
	3	8.17	60.57	8763.52	1.71	13.83	10.10	11.79
	4	7.82	58.07	8401.81	1.12	12.19	8.02	11.13
	5	7.33	54.33	7860.69	1.09	10.01	4.75	10.16
<b>Subrasante</b>	1	6.68	49.52	7164.76	1.23	7.34	0.18	8.95
	2	4.78	35.43	5126.16	1.10	0.95	-	5.66
	3	5.53	41.02	5934.95	1.29	3.22	-	6.91
	4	6.86	50.85	7357.19	1.26	8.05	1.48	9.28
	2	5.93	44.00	6366.10	1.08	4.56	-	7.61

### 4.3 PROPIEDADES HIDRÁULICAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

#### 4.3.1 Datos de las pruebas de infiltración

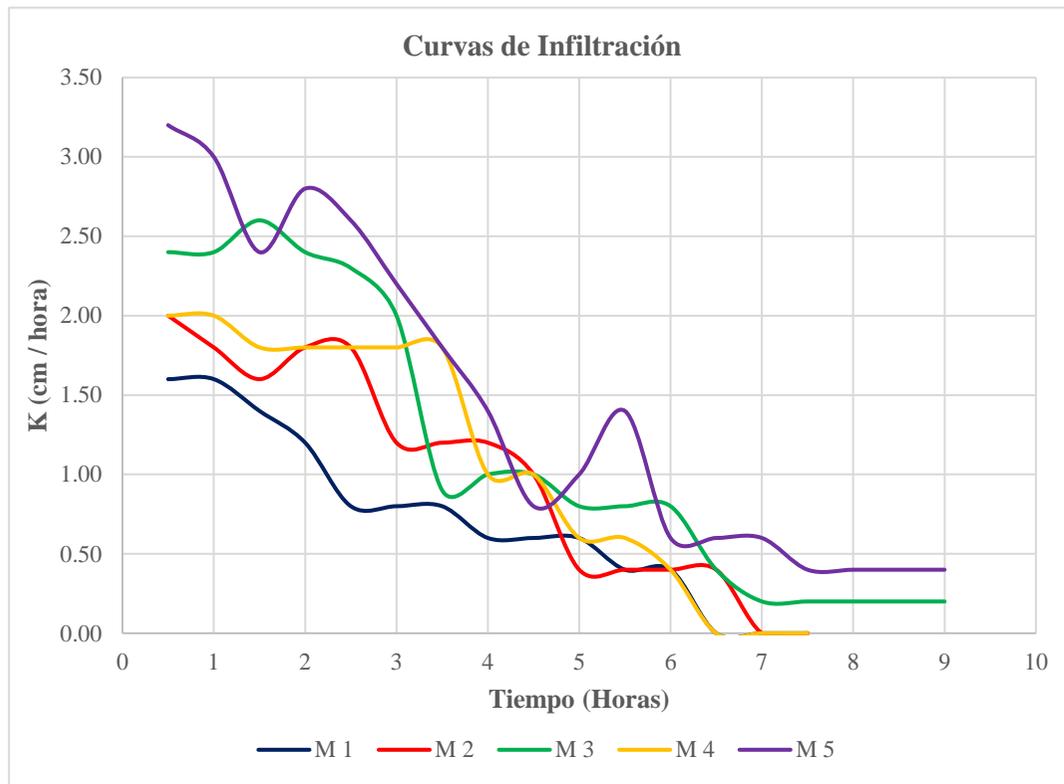
La metodología empleada para la obtención de las propiedades hidráulicas del pavimento se deriva de las pautas establecidas por la normativa ASTM, siendo modificada por la Universidad Nacional de Chimborazo con el propósito de recolectar los datos pertinentes, por esta razón resulta necesario comprender las condiciones y características bajo las cuales se llevaron a cabo dichas pruebas, el **anexo 24** contiene toda la información necesaria para la realización efectiva del ensayo de infiltración.

#### 4.3.2 Resultados de las pruebas de infiltración

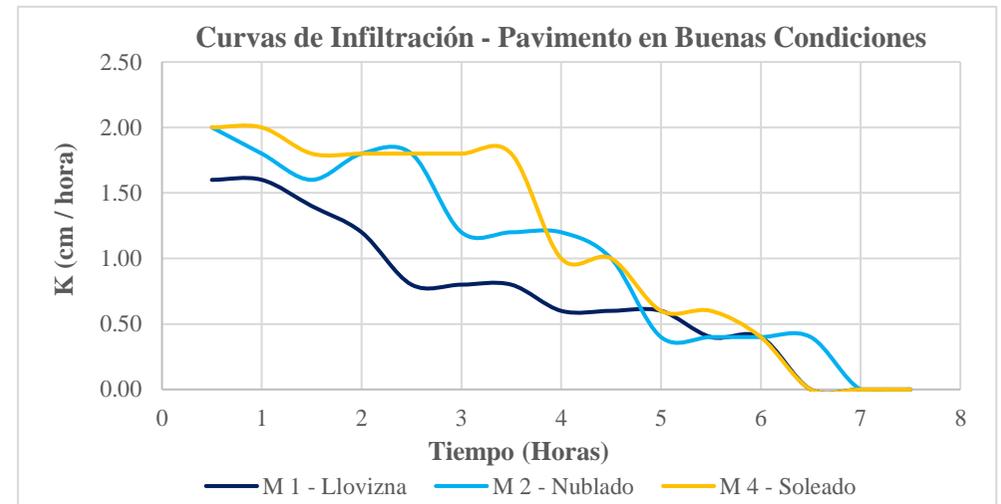
Se muestran los hallazgos provenientes de las pruebas de infiltración, en la tabla 15 constan los valores numéricos de la evolución temporal de la tasa de infiltración (K), para cada uno de los puntos ensayados.

**Tabla 15.** Resultados del ensayo de infiltración.

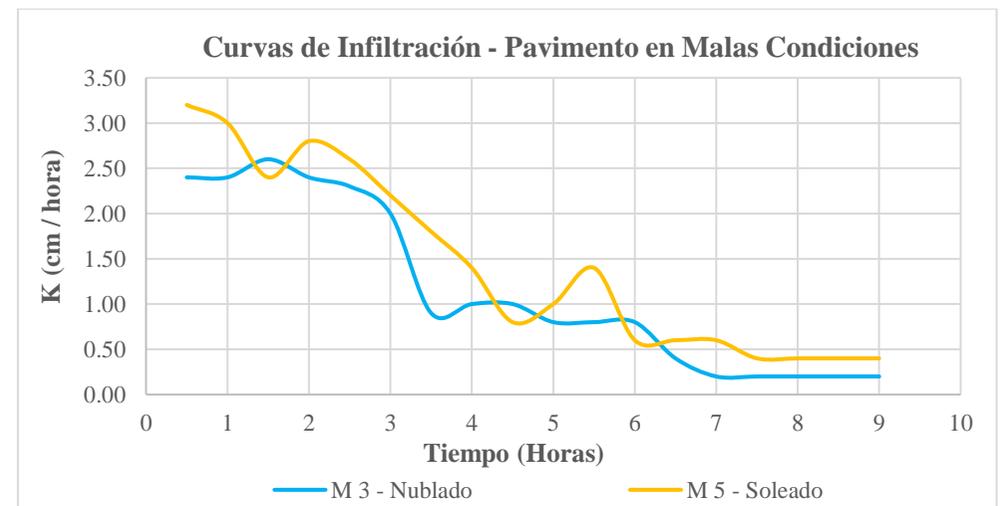
<b>Velocidades de Infiltración vs Tiempo</b>					
<b>Tiempo Acumulado [Horas]</b>	<b>Velocidad de infiltración K [cm/hora]</b>				
	<b>Muestras</b>				
	<b>M 1</b>	<b>M 2</b>	<b>M 3</b>	<b>M 4</b>	<b>M 5</b>
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	1.60	2.00	2.40	2.00	3.20
1	1.60	1.80	2.40	2.00	3.00
1.5	1.40	1.60	2.60	1.80	2.40
2	1.20	1.80	2.40	1.80	2.80
2.5	0.80	1.80	2.30	1.80	2.60
3	0.80	1.20	2.00	1.80	2.20
3.5	0.80	1.20	0.90	1.80	1.80
4	0.60	1.20	1.00	1.00	1.40
4.5	0.60	1.00	1.00	1.00	0.80
5	0.60	0.40	0.80	0.60	1.00
5.5	0.40	0.40	0.80	0.60	1.40
6	0.40	0.40	0.80	0.40	0.60
6.5	0.00	0.40	0.40	0.00	0.60
7	0.00	0.00	0.20	0.00	0.60
7.5	0.00	0.00	0.20	0.00	0.40
8	-	-	0.20	-	0.40
8.5	-	-	0.20	-	0.40
9	-	-	0.20	-	0.40
<b>Estado del pavimento</b>	Bueno	Bueno	Malo	Bueno	Malo
<b>Clima</b>	Llovizna	Nublado	Nublado	Soleado	Soleado
<b>Observaciones</b>	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.	El infiltrómetro se colocó a un costado de la vía, el estado del asfalto era bueno.	El día anterior al ensayo hubo lluvias en la zona, el suelo se encontraba semi saturado, El infiltrómetro se colocó encima de una falla del pavimento “piel de cocodrilo” con una severidad alta.	El infiltrómetro se colocó a un lado de la vía, cercano a una zanja de desagüe, el estado del asfalto era bueno.	El infiltrómetro se colocó encima de pequeñas grietas a simple vista de severidad baja.



**Ilustración 31.** Curvas de infiltración del tramo vial estudiado



**Ilustración 32.** Curvas de infiltración 1, 2 y 4.



**Ilustración 33.** Curvas de infiltración 3 y 5.

### **4.3.1 Comportamientos de las curvas de infiltración**

Las curvas de infiltración vs tiempo obtenidas de los puntos evaluados se exhiben en la ilustración 31, cuyo comportamiento dependerá de las condiciones climáticas de la zona y la calidad de la capa de rodadura.

#### **4.3.1.1 Curvas de infiltración en pavimento en buenas condiciones**

Las curvas M1, M2 y M4 mostradas en la ilustración 32 se derivaron de la recopilación de datos emanados de un pavimento en condiciones óptimas. Estas curvas al no exhibir asíntotas y alcanzar una velocidad de infiltración de cero, indican que el equipo fue emplazado en un pavimento en excelente estado, caracterizado por una superficie prácticamente impermeable luego de varias horas de estar en contacto con el agua obstaculizando el paso de esta hacia las capas granulares subyacentes. Se observa una disminución en la curva M1, registrada en un día lluvioso, a comparación con la obtenida en una jornada soleada. Este fenómeno se atribuye a velocidades de infiltración inferiores durante días lluviosos, atribuibles al estado saturado previo del suelo.

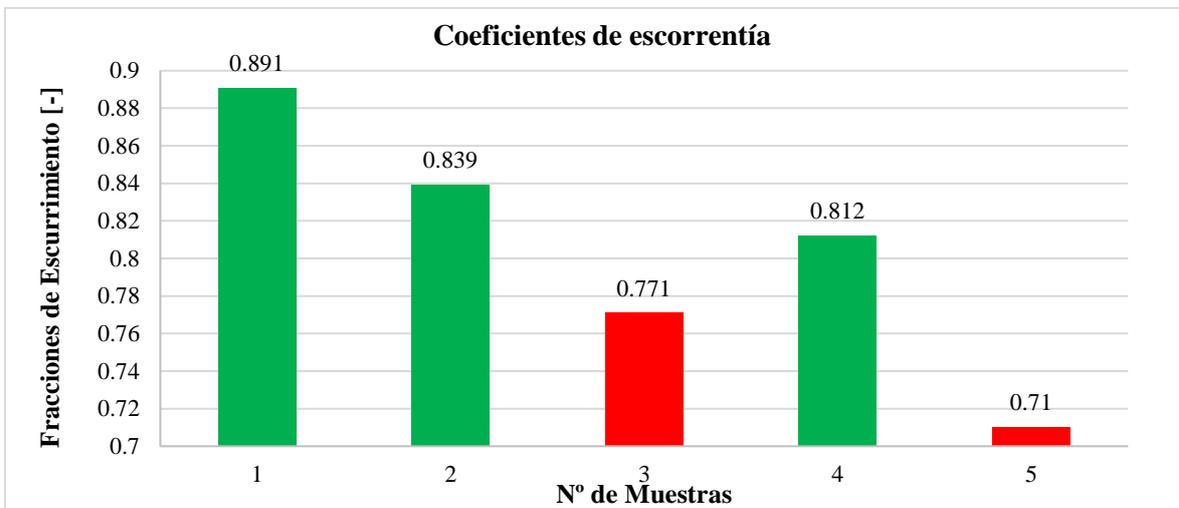
#### **4.3.1.1 Curvas de infiltración en pavimento en malas condiciones**

Las curvas M3 y M5, presentes en la ilustración 33, se basan en datos recopilados en un pavimento en estado de deterioro. Estas curvas manifiestan velocidades constantes y estables en las últimas horas del período de recopilación de datos, reflejando una infiltración continua, aunque a tasas mínimas y constantes, a pesar del estado de saturación del suelo. En relación con el factor climático, se observan similitudes con las curvas M1, M2 y M4, donde las condiciones climáticas, particularmente días soleados en contraste con los días lluviosos, inciden en las velocidades de infiltración, siendo estas últimas más elevadas durante condiciones meteorológicas favorables.

### **4.3.1 Análisis de los Coeficientes de Escorrentía**

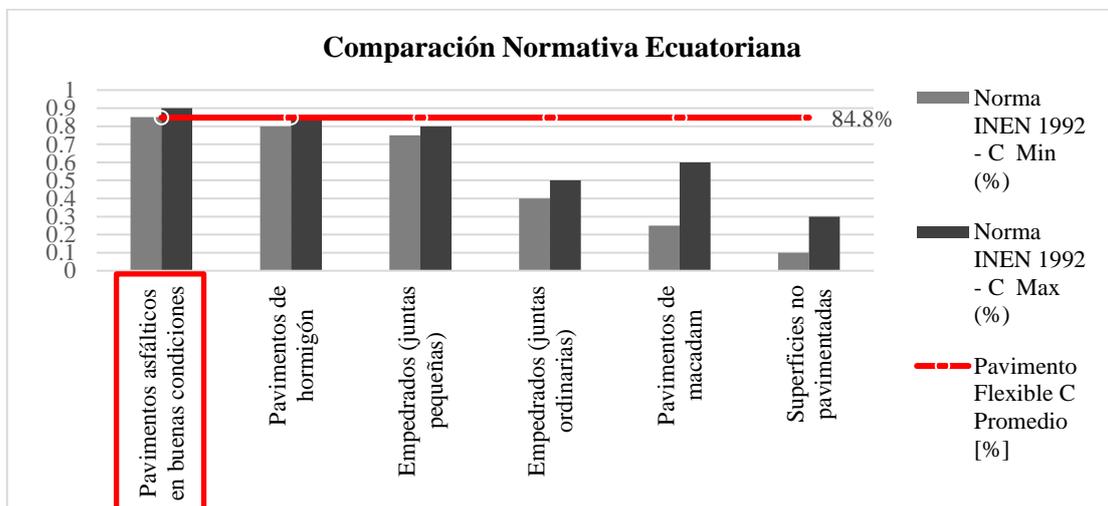
Adicionalmente, otro de los resultados provenientes de las pruebas de infiltración corresponde a los coeficientes de escurrimiento. Dichos valores para cada punto examinado se pueden visualizar en la ilustración 34. Es importante señalar que los puntos 3 y 5 se sometieron a pruebas sobre una capa de rodadura

que no se encontraba en óptimas condiciones, dado que exhibía fallas agrietamiento que facilitaban la infiltración del agua a los estratos granulares del pavimento.



**Ilustración 34.** Coeficientes de escurrimiento en cada muestra.

En la ilustración 35 constan los valores referenciales de escurrimiento para diversas superficies. Dichos valores fueron obtenidos de normativa ecuatoriana INEN, (1992), contrastadas con el promedio de los coeficientes de escurrimiento obtenidos mediante las pruebas de infiltración sobre pavimento asfáltico en óptimas condiciones.

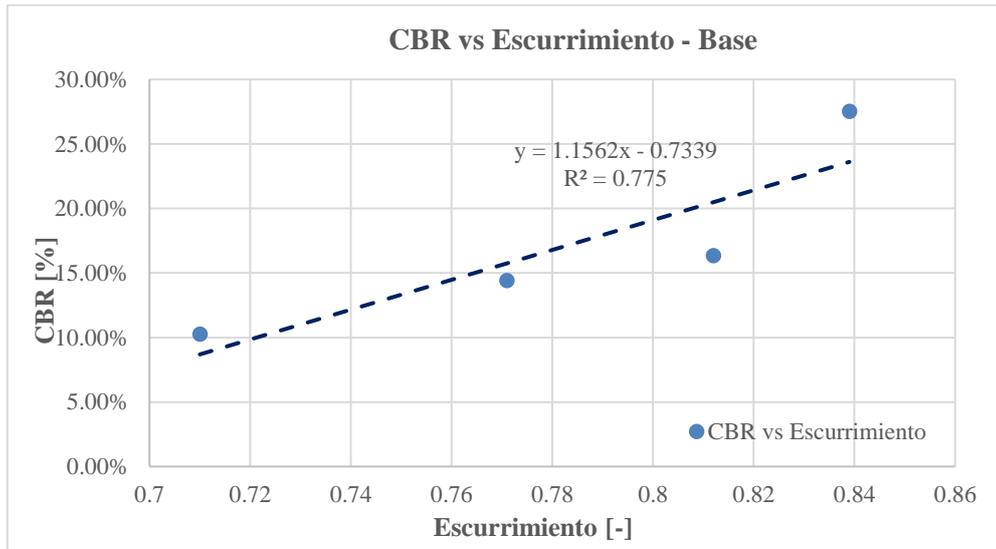


**Ilustración 35.** Comparación entre coeficientes de escurrimiento normativos y reales.

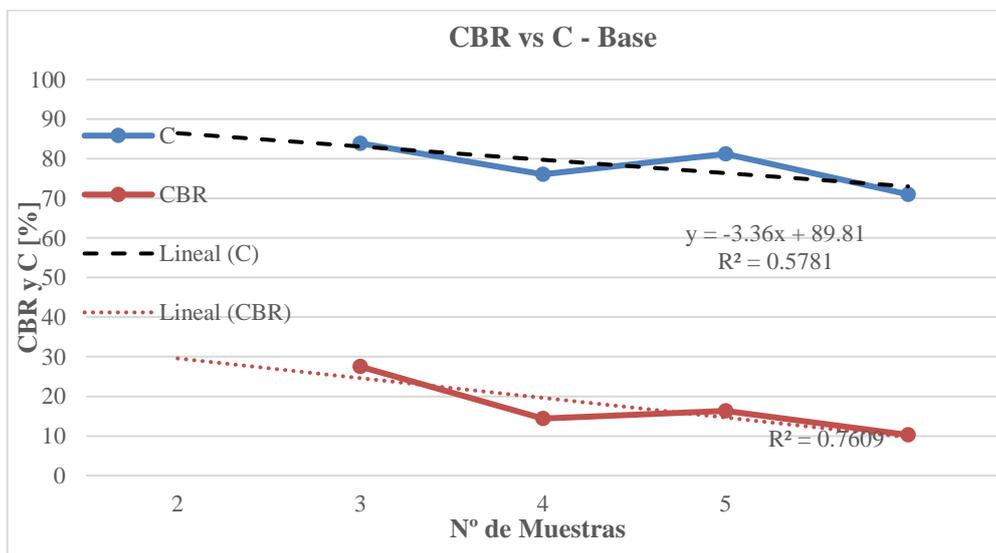
## 4.4 RELACIONES ENTRE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y PROPIEDADES HIDRÁULICAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

### 4.4.1 Relaciones de CBR vs Esgurrimiento

Se determinó una correlación de importancia significativa entre los índices de CBR y los niveles de esgurrimiento, la ilustración 36 ilustra la dispersión de estos valores en conjunto con una función de ajuste de datos.



**Ilustración 36.** Comparación entre coeficientes de esgurrimiento y los valores porcentuales de CBR.



**Ilustración 37.** Diagrama de Soporte de California (CBR) y esgurrimiento de las muestras.

Después de observar la linealidad existente entre ambas variables de interés mostrada en la ilustración 37, resulta esencial señalar que el punto 1 fue excluido debido a las circunstancias en las que fue ensayado, este punto se encontraba en un rango atípico debido a que al colocar el equipo GeoGauge en la base, se perforó una

capa de rodadura en buenas condiciones, lo que resultó así en un suelo casi inalterado. En contraste, los demás ensayos implicaron la perforación de una capa de rodadura en malas condiciones, donde se evidenciaban estratos granulares debilitados.

#### 4.4.2 Relación – Infiltración y CBR

Se determinó una relación inversamente proporcional entre la velocidad de infiltración promedio y el CBR en las muestras analizadas, Este hallazgo se refleja en el descenso de los valores del CBR a medida que aumentan los valores de la tasa de infiltración, como se evidencia en la representación gráfica de los datos mostrada en la ilustración 38.

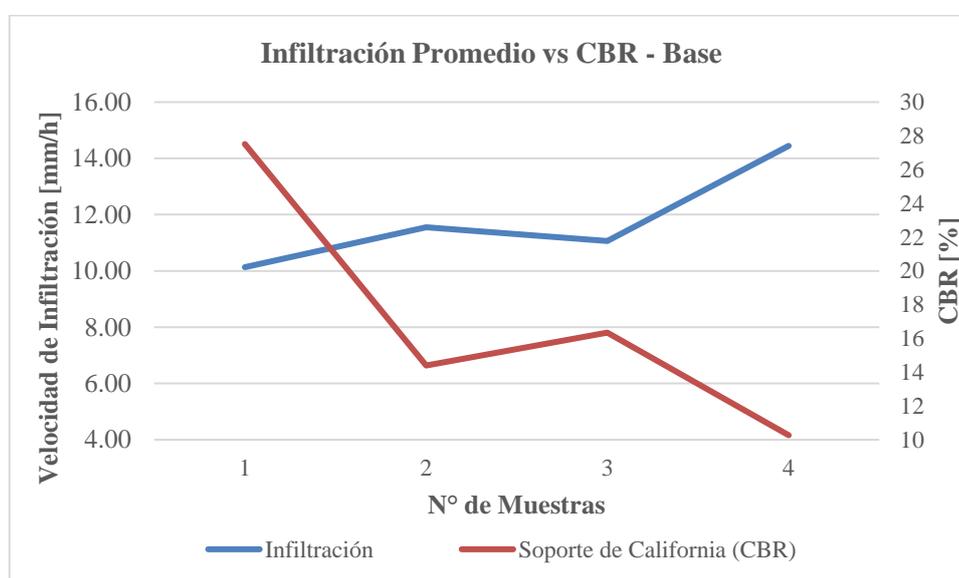


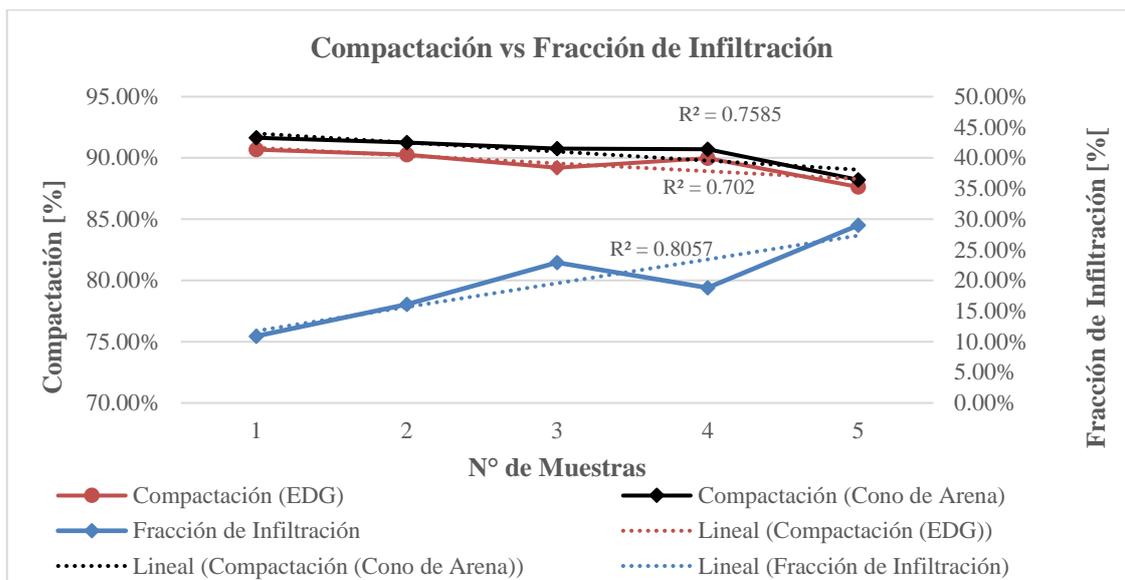
Ilustración 38. Diagrama de soporte de California (CBR) e infiltración promedio de las muestras.

#### 4.4.3 Grado de compactación vs Escurrimiento

En la tabla 16 y en la ilustración 39 se evidencian los porcentajes o grados de compactación, obtenidos de los ensayos in situ, junto a el coeficiente de escurrimiento para realizar una relación entre los datos conseguidos.

Tabla 16. Escurrimiento y compactación - ensayos in situ.

N° de Muestra	C	Compactación [%]	
		Cono de Arena	EDG
1	0.891	91.64	90.60
2	0.839	91.25	90.20
3	0.771	90.75	89.10
4	0.812	90.72	89.90
5	0.710	88.22	87.60



**Ilustración 39.** Diagrama de grados de compactación in situ y coeficientes de escurrimiento - Base

**Análisis:** En la gráfica se puede apreciar el comportamiento de la fracción de agua infiltrada en la capa base en las 5 muestras de análisis y como dicho desempeño es inversamente proporcional a los resultados de grados de compactación obtenidos con los ensayos in situ, cono de arena y densímetro eléctrico (EDG). Los puntos más bajos de compactación corresponden a puntos donde existen fallas en el pavimento como grietas, baches y piel de cocodrilo mientras que los puntos más altos en la gráfica se realizaron en sitios donde las fallas en el pavimento eran mínimas.

## 4.5 DISCUSIÓN

### Propiedades Físicas

En la ilustración 40 se presentan una comparativa de resultados.

	BASE - CLASE 2		SUBBASE - CLASE 2	
	Casco & Salcán (2024)	Urquizo (2019)	Casco & Salcán (2024)	Urquizo (2019)
% Gravas Gruesas	1.58	3.80	23.91	29.8
% Gravas Finas	39.13	43.80	23.59	24.70
% Arenas Gruesas	36.32	26.90	27.25	22.60
% Arenas Finas	19.90	15.60	21.15	14.5
% Material Fino	3.06	9.90	4.11	8.40

**Ilustración 40.** Porcentajes de material gravas, arenas y finos en la base y subbase clase 2.

Para Urquizo (2019), en bases y subbases extraídas de la cantera San Joaquín (Cotopaxi), la granulometría de una base clase 2, las gravas finas no alcanzan más del 50% en toda la muestra, al igual que en el material extraído del tramo vial Flores-Cebadas. Para subbases clase 2 no existe un material predominante, las gravas y arenas son menores al 30% en toda la muestra. Cabe recalcar que el porcentaje de material fino en la cantera San Joaquín (Cotopaxi) es mayor en las dos capas granulares al utilizado en la construcción de la vía en análisis.

En la vía Flores - Cebadas se obtuvo un límite líquido promedio de 15.16% para base y 17.66 para subbase los cuales son menores al 35% que indica el MTOP (2002). Por otro lado, en el índice plástico la norma indica que debe estar entre 6-9 sin embargo con los ensayos realizados todas las muestras en la base y subbase a lo largo de todo el tramo vial presentaron índices plásticos nulos. Por lo tanto, los materiales de la base clase 2 y subbase clase 2 empleado para la construcción de la carretera Flores Cebadas cumple de forma parcial con las especificaciones técnicas establecidas en la normativa vial para los límites de Atterberg.

La capa granular es particularmente propensa a la penetración del agua superficial que la subbase y subrasante por ende se analizó la densidad y absorción solo para el material de la base. Urquizo (2019) muestra valores de gravedad específica aparente y el porcentaje de absorción para el material grueso de 2.66 y 2.98 % respectivamente mientras que para el material analizado en la investigación son 2.51 y 2.997 %, indicando una menor capacidad de absorción en el tramo vial Flores-Cebadas debido a diferencias en la estructura del material, influenciadas no solo por su densidad, sino también por su tamaño, forma, textura y origen de extracción.

Con respecto al agregado fino, se han obtenido resultados de 2.49 y 0.38 % para la gravedad específica aparente y el porcentaje de absorción respectivamente; por otro lado, Urquizo (2019) ha registrado valores de 2.50 de gravedad específica y 2.23 % para la absorción.

Las densidades y absorción de la base granular del pavimento flexible Flores-Cebadas están mayormente dentro de los rangos establecidos por Vinueza y Zurita (2022), reflejando las características típicas de los materiales obtenidas de la región centro del Ecuador, utilizados en la construcción actual. La absorción de los agregados finos en la presente investigación está por debajo del rango mencionado por el autor. Esta discrepancia no es significativa, ya que el estudio se enfoca en el diseño de un pavimento

permeable con materiales andinos, buscando minimizar la retención de agua para favorecer la recarga de acuíferos y mitigar los problemas de deterioro del pavimento debido a la presencia de agua.

Urquiza (2019) muestra que las densidades in situ con el densímetro nuclear son muy cercanas a las obtenidas en el ensayo Proctor modificado en laboratorio, con un grado de compactación de base clase 2 de 90.76 a 100 % y la subbase clase 2 de 91.59 a 99.973 % recalando que fueron ensayos realizados en una cantera. Las densidades In Situ en la vía Flores-Cebadas con el densímetro eléctrico (EDG) y cono de arena son notablemente menores a las obtenidas en el ensayo de laboratorio, con un grado promedio de compactación en la base de 88.22 a 91.64 % con cono de arena y 87.63 a 90.68 % con EDG para la base y para subbase de 78.36 a 99.45 en cono de arena y 75.54 a 85.67% en EDG incumpliendo la norma MTOP (2002) pero con valores menores a Urquiza (2019).

Los datos obtenidos a través del densímetro eléctrico, denominados comúnmente como como factor interno de ajuste (FIT), corresponden a 0.797 para la base, 0.744 para la subbase y 0.911 para la subrasante, siendo estos valores considerados como aceptables de acuerdo con lo señalado por Segura (2010), quien establece un valor mínimo de 0.7 con la finalidad de garantizar la confiabilidad de los resultados proporcionados con el equipo.

Para la subrasante, determinó una clasificación de material granular, que mayoritariamente corresponde a suelos arenosos, con presencia de limos. Estos hallazgos que coinciden parcialmente con lo expuesto por el Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador (MAG et al., 2015), en donde a través de su caracterización de suelo, indicaron que en los sectores adyacentes al tramo vial de estudio prevalecen los suelos de tipo franco, franco-limoso, arenoso franco. Las discrepancias pudieron surgir debido al tratamiento preliminar de mejora al que se sometió el terreno natural para ser utilizada como soporte para la estructura del pavimento flexible. Por otro lado, la geología estructural que predomina en el tramo corresponde a la formación de Cangahuas y la Unidad Alao Paute, las cuales presentan diferencias significativas con los resultados de este estudio, ya que, de estas formaciones, el IGM ha registrado la presencia notable de arcillas.

### **Propiedades Mecánicas**

La muestra ensayada en un pavimento en óptimas condiciones, se logró alcanzar módulo de Young de 130 MPa junto a un CBR de 84.48% y para subbase de 119 Mpa un CBR de 70 %, este resultado garantiza el cumplimiento de la normativa ecuatoriana, así como también corroborando con lo expuesto por Brown, (1994) quien indicaba que los materiales granulares de buena calidad so obtendrían valores de módulo resiliente mayores a 100 MPa. Por otro lado, para las demás muestras evaluadas en un pavimento deteriorado, con capas granulares deficientes las propiedades mecánicas son bajas para la base como para la subbase y como señalan Brown, esta deficiencia se atribuye a la colocación del equipo GeoGauge debajo de una capa de rodadura asfáltica en condiciones precarias.

Aunque los resultados obtenidos concuerdan en gran medida con investigaciones previas realizadas en Ecuador, existe una diferencia significativa de datos referentes a las correlaciones entre CBR y módulo de resiliencia, En particular, al utilizar la correlación establecida por Urquiza, en donde se evidenciaron valores notablemente bajos de CBR. Por consiguiente, para estos resultados, se dio preferencia al trabajo realizado por Abu-Farsakh et al. (2004) en colaboración con el Departamento de Transporte y Desarrollo de Carreteras de Luisiana, quienes siguieron una metodología similar a la empleada en la presente investigación, lo que se reflejó en valores de CBR que se aproximan más a la realidad de lo observado durante los ensayos de campo.

### **Propiedades Hidráulicas**

Al examinar las propiedades hidráulicas del pavimento flexible, se obtuvo un coeficiente de escurrimiento promedio para una capa de rodadura en condiciones favorables de 84.8%. Este valor que al ser comparado con la normativa ecuatoriana (INEN, 1992), difiere en 0.02% al mínimo expresado en dicha norma. Este hallazgo implica que pavimento posee características de permeabilidad prácticamente similares a las requeridas en la normativa para tramo vial estudiado. Por consiguiente, el riesgo de inundaciones y desvío de caudal proveniente de las precipitaciones en áreas adyacentes a la vía es reducido. Esto contrasta con las expectativas iniciales que sugerían la posibilidad de que los sistemas de drenaje estuvieran subdimensionados debido al uso de coeficientes de escurrimiento muy bajos. A pesar de ello, esta situación puede ser así en todos los casos, en áreas urbanas cercanas a la zona de estudio, como es el caso de la ciudad de Riobamba, las observaciones realizadas por Rosero y Cepeda (2024), han revelado coeficientes de escurrimiento considerablemente más elevados a los expuestos en la normativa en

pavimentos rígidos. En estas zonas, la presencia de inundaciones debido a las precipitaciones es evidente, lo que subraya la necesidad de considerar las condiciones específicas a cada ubicación para evaluar los riesgos hidráulicos asociados al pavimento.

En las relaciones de infiltración y soporte de california (CBR) se obtiene una relación inversamente proporcional, en donde a medida que crece la presencia de humedad debido a la infiltración, el CBR disminuye, un fenómeno que es respaldado por las observaciones de Garnica et al. (2001), en donde afirman que el módulo de resiliencia y por ende el CBR disminuye conforme el contenido de agua se incrementa, un hallazgo obtenido después estimar el módulo resiliente el alrededor de 43 especímenes con diferentes contenidos de humedad.

## 5. CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

Después de la caracterización de las propiedades físicas se observó que la base y subbase presentes en la vía Flores-Cebadas corresponden a una clase 2, con la clasificación SUCS se determinó que existen suelos tipo SP y GW en la base y en subbase SP, GW y GP mientras que en la subrasante existen suelos con presencia de limos. Los resultados del ensayo de absorción indican que el material fino y grueso exhiben capacidades de absorción de agua de 0.381% y 2.977% respectivamente y las gravedades específicas secas corresponden a 2.438 y 2.466 [-]. Las densidades secas máximas obtenidas con el EDG varían de 1.81 a 1.79 T/m<sup>3</sup> para base, de 1.72 a 1.40 T/m<sup>3</sup> en subbase y 1.24 a 0.95 T/m<sup>3</sup> en subrasante datos similares son dados con el ensayo cono de arena, datos obtenidos IN STU, que al ser comparadas con los resultados de laboratorio los grados de compactación son inferiores al 95%. Al comparar las propiedades físicas de los materiales utilizados en las capas granulares obtenidas en esta investigación con estudios contemporáneos realizados en el país, se infiere de que los materiales granulares que integran la estructura del pavimento en el tramo vial Flores – Cebadas son representativos de las prácticas constructivas viales actuales en Ecuador.

Con el equipo Geo gauge se obtuvieron datos in situ del módulo de Young y rigidez, propiedades mecánicas de las capas granulares del pavimento flexible, con dichos valores se estimó el CBR mediante correlaciones, mismos que en las zonas con pavimento deteriorado sus valores fueron mucho menores a los evaluados en zonas con pavimentos en buenas condiciones.

Se propone una nueva metodología para emplear el infiltrómetro de doble anillo en pavimentos flexibles que facilite la medición no solo de la infiltración, sino también del escurrimiento. Se observó que los índices de escurrimiento se encuentran cercanos a límites establecidos por normativa para pavimentos flexibles en buenas condiciones; no obstante, el pavimento en el tramo vial Flores-Cebadas presenta fallas y agrietamientos lo que ocasiona valores de escurrimiento más bajos.

Después del análisis de las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas del pavimento flexible en el tramo vial Flores-Cebadas se estableció una relación directamente proporcional entre el CBR y el C (Coeficiente de escurrimiento), es decir, un CBR bajo indica que el coeficiente de escurrimiento se reduce, mientras que un alto valor de CBR

asociado con una calidad óptima del pavimento, se relaciona con un índice de escorrentía elevado. Un comportamiento inversamente proporcional se observa con el grado de compactación y CBR en función a la fracción de infiltración, cuando la compactación es menor, existe un aumento de infiltración a las capas granulares, aumentando la humedad y variando la densidad máxima seca de los materiales granulares.

Finalmente se concluye que los materiales empleados en la construcción del pavimento flexible en el pavimento Flores-Cebadas cumplen parcialmente con las normas e investigaciones recientes con respecto a las características físicas obtenidas en laboratorio, sin embargo las propiedades mecánicas y físicas IN SITU derivadas de los procesos constructivos se desapegan de manera significativa a lo expuesto en las normas viales esto debido a la relación e influencia que tiene el coeficiente de escorrentía en dichas propiedades, dicho parámetro puede aumentar o disminuir su valor dependiente el estado del pavimento.

## 5.2 RECOMENDACIONES

Se sugiere proporcionar una protección al infiltrómetro frente a las variaciones climáticas, con el fin de prevenir la evaporación de agua durante los días extremadamente soleados, así como evitar el ingreso de agua no deseada en días lluviosos, resultarán en la alteración del valor del coeficiente de escurrimiento debido a los cambios volumétricos de agua dentro del infiltrómetro, lo que, a su vez, reduce la precisión del equipo.

Es recomendable seguir monitoreando el estado vial considerando las relaciones que existen entre las variables del comportamiento hidráulico del pavimento con las variables físicas y mecánicas para generar datos que aporten a la gestión vial.

Para mejorar la evaluación de las propiedades hidráulicas del pavimento flexible, se recomienda considerar la posible influencia de otros factores y variables como el tráfico vehicular en la zona, la ubicación del equipo infiltrómetro de doble anillo de acuerdo a la localización transversal y longitudinal en la vía para así contribuir a una caracterización más completa y precisa del comportamiento hidráulico.

Para finalizar, es importante destacar que hay numerosas relaciones adicionales que podrían derivarse de las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas recopiladas; sin embargo, esta investigación únicamente analizó aquellas que son más evidentes en función a los datos obtenidos, se recomienda tener una mayor cantidad de datos que proporcionará relaciones y tendencias más notables, lo que resultará en una mejor comprensión en el funcionamiento de la estructura del pavimento flexible.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abu-Farsakh, M. Y., Alshibli, K., Nazzal, M., & Seyman, E. (2004). Assessment of in-situ test technology for construction control of base courses and embankments (No. FHWA/LA. 04/389). Louisiana Transportation Research Center.
- American Association of State Highway Officials. AASHTO. (1961) The classification of soils and soil-aggregate mixtures for highway construction purposes. Highway Materials, Part 1, Specifications.
- American Association of state Highway Transportation Officials – AASHTO-93. (sf). Guide for design of pavement Structures. Washington D.C.
- American Society for Testing and Materials. ASTM. (2019). Métodos de prueba estándar para la determinación de laboratorio del contenido de agua (humedad) del suelo y la roca en masa. (ASTM 2216-19)
- American Society of Testing Materials. ASTM. (2007). " Standard Test Method for Measuring Stiffness and Apparent Modulus ' of Soil and Soil Aggregate In-Place by an Electro-Mechanical Method". (ASTM D6758-07)
- American Society of Testing Materials. ASTM. (2017). Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils. (ASTM D4318-17)
- American Society of Testing Materials. ASTM. (2008). Standard Test Method for Infiltration Rate of Soils in Field Using Double-Ring Infiltrometer (ASTM D-3385)
- Badillo, E. J. (1974). *Mecánica de suelos* (Vol. 1). Editorial Limusa.
- Bandyopadhyay, S. S., & Frantzen, J. A. (1983). Investigation of moisture-induced variation in subgrade modulus by cross-correlation method (No. 945).
- Bowles, Joseph E. (1981), “Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil”. Mc Graw-Hill Book Company.
- Braja, M. D. (2001). Fundamentos de ingeniería geotécnica. Thomson y Learning, 580.
- Brandão Ticianelli, M. (2021). Estudio de la variabilidad de los parámetros de diseño y sus efectos en el desempeño de los pavimentos urbanos.
- Brown, S.F., (1994). “Behavior of Layered Systems Under Repetitive Loading”. XIII ICSMFE. New Delhi, India, pp. 321-325.
- Camacho López, C. O., Zabala-Alarcón, N. V., & Flores Carpio, Y. G. (2020). Estimación del coeficiente de permeabilidad del suelo en la ciudad de Macas - Ecuador utilizando permeámetro de carga variable. *Dominio de las Ciencias*, 6(3), 78-94. <https://doi.org/10.23857/dc.v6i3.1275>

- Casagrande, A. (1932). Research on the Atterberg limits of soils. *Public Roads*, 13(1), 121-136.
- Cedergren, H. R. (1974). Drainage of highway and airfield pavements.
- D'Ercole, R., & Trujillo, M. (2003). Amenazas, vulnerabilidad, capacidades y riesgo en el Ecuador.
- Duque Escobar, G., & Escobar Potes, C. E. (2016). Geomecánica. *Ingeniería Civil*.
- Garnica Anguas, P., & Sesma Martínez, J. A. (2002). Mecánica de materiales para pavimentos. *PUBLICACION TECNICA*, (197).
- Garnica, P. A., Pérez, G. N., & Gomes, L. A. (2001). Módulo de resiliencia en suelos finos y materiales granulares. *Publicación técnica*, (142), 58.
- Griffiths, P. J., Hird, A. B. & Tomlinson, P., 2000. Rural Road Protection Drainage Design for Environmental Protection. Londres: TRL Limited.
- Grisales, J. C. (2015). *Diseño geométrico de carreteras*. ECOE ediciones.
- Gupta, A., Kumar, P., & Rastogi, R. (2014). Critical review of flexible pavement performance models. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18, 142-148.
- Hibbeler, R. C. (2006). *Mecánica de materiales*. Pearson educación.
- Huang, Y. H. (2004). Pavement analysis and design (Vol. 2, pp. 401-409). Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
- Humboldt (2008). Electrical Density Gauge H-4114C Manual Product. H-4114C\_EDG\_SoftwareManual.indd (mltest.com)
- INEC. (2010). Base de Datos Censo de Poblacion y Vivienda 2010. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/base-de-datos-censo-de-poblacion-y-vivienda-2010/>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. INEN. (2010a). 856 Áridos: Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino. (NTE INEN 0856)
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. INEN. (2010b). 857 Áridos: Determinación de la densidad, densidad relativa y absorción del árido grueso. (NTE INEN 0857)
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1992). Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes. *Código Ecuatoriano de la construcción*. (CPE INEN 005-9-1)
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. INEN. (1982a). Mecánica de Suelos. Determinación del Límite Líquido Método de Casa Grande. (NTE INEN 0691)

- Obtenido de:  
<https://archive.org/details/ec.nte.0691.1982/mode/2up?view=theater&ui=embed&w rapper=false>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. INEN. (1982b). Mecánica de Suelos. Determinación del Límite Plástico. (NTE INEN 0692) Obtenido de:  
<https://archive.org/details/ec.nte.0692.1982/page/n1/mode/2up>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. INEN. (2011). Áridos. Análisis Granulométrico En los Áridos, Finos y Gruesos. (NTE INEN ISO 696) Obtenido de:  
<https://ia802909.us.archive.org/25/items/ec.nte.0696.2011/ec.nte.0696.2011.pdf>
- Instituto Geográfico Militar (IGM), (2022). Suelos del Ecuador: Clasificación, uso y manejo. Primera edición.
- Linsley, R. K., Kohler, M. A., Paulhus, J. L., Deeb, A., & Ordoñez, J. I. (1977). *Hidrología para ingenieros* (No. 551.48 L5H5 1977).
- Lizcano, F. R., & Quintana, H. R. (2015). *Pavimentos: materiales, construcción y diseño*. ECOE ediciones.
- Martínez, F. L. C., Betín, J. M. H., Sáenz, J. N. G., & Lizcano, F. R. (2009). Análisis cualitativo del flujo de agua de infiltración para el control del drenaje de una estructura de pavimento flexible en la ciudad de Bogotá DC. *Infraestructura Vial*, 11(22), 20-25.
- Mendoza Guerrero, H. M. (2021). Caracterización de los tipos de estabilización de suelos utilizados para el mejoramiento de las propiedades físicas en subrasantes, Cajamarca 2020.
- Mendoza Sánchez, Juan Fernando, y Omar Marcos Palomares. (2018). El efecto del cambio climático en los pavimentos carreteros.
- Menéndez, José. (2013) *Ingeniería de pavimentos: materiales y variables de diseño*. 43. Lima, Perú: ICG
- Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador (MAG), Instituto de Estudios Ecuatorianos (IEE) y Secretaría Nacional de Planificación (SENPLADES). (2015). Proyecto de Servicio de Información Agropecuaria del Ministerio de Agricultura y Ganadería, Obtenido de:  
<http://geoportal.agricultura.gob.ec/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/0a26e971-5722-4a10-8a5e-d04298b0f017>

- Moreno, O. Z. Congreso Latinoamericano y Caribeño de Ciencias Sociales – FLACSO 50 años.
- MTOP. (2002). Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes. Obtenido de: [https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR\\_Chimborazo\\_Cumanda\\_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf](https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR_Chimborazo_Cumanda_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf)
- MTOP. (2013). Volumen No 3. Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes. Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. Obtenido de: [https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013\\_Manual\\_NEVI-12\\_VOLUMEN\\_3.pdf](https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_3.pdf)
- Pardave Ames, E. R. (2023). Influencia de gravas de sobre tamaño de canteras distintas en el grado de compactación de suelos, Huancayo–Junín–2023.
- Parra, I. M. M. (2023). Paradoja de los megaproyectos y gestión presupuestaria vial en Ecuador 2002-2006. *Infraestructura Vial*, 25(44), 1-17.
- Poulsen, A., & Stubstad, R. N. (1980). Fastlæggelse af E-moduler for Underbundsmaterialer ved Målinger i Marken. Interne Notater, 108.
- Rebolledo, R. (2010). Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos. Universidad Austral de Chile.
- Rincón-Morantes, J. F., Álvarez, A. E., & Reyes-Ortiz, O. J. (2022). Estimación de la rigidez de materiales granulares marginales no ligados mediante ensayo CBR dinámico. *Ingeniería y Desarrollo*, 40(1), 92-113.
- Rojo, J. (1998). Teoría y práctica de la compactación. (I) Suelos.
- Romero Romero, R., & Sañac Vilca, C. (2016). Evaluación comparativa mediante la capacidad de soporte y densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentajes de 0.5%, 1%, 2% y 3% frente a un suelo natural para subrasante de pavimento rígido de la Urb. San Judas Chico-Cu.
- Rosero Esparza, R. S., & Cepeda De la Cruz, M. E. (2024). Evaluación de las características hidráulicas y físicas del pavimento rígido en la Avenida 9 de Octubre ubicada en la ciudad de Riobamba (Bachelor's thesis, Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo).

- Sambito, M., Severino, A., Freni, G., & Neduzha, L. (2021). A systematic review of the hydrological, environmental and durability performance of permeable pavement systems. *Sustainability*, 13(8), 4509.
- Santamarina, J. C., & Narsilio, G. A. (s. f.). Clasificación de suelos: fundamento físico, prácticas actuales y recomendaciones. Research Gate. Obtenido de: [https://www.researchgate.net/publication/267203656\\_CLASIFICACION\\_DE\\_SUELOS\\_FUNDAMENTO\\_FISICO\\_PRACTICAS\\_ACTUALES\\_Y\\_RECOMENDACIONES](https://www.researchgate.net/publication/267203656_CLASIFICACION_DE_SUELOS_FUNDAMENTO_FISICO_PRACTICAS_ACTUALES_Y_RECOMENDACIONES)
- Segura-Calderón, D. (2010). Validación del método para medición de densidades de materiales compactados mediante el uso del densímetro eléctrico.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil mechanics in engineering practice*. John Wiley & sons.
- Urquiza López, P. G. (2019). Comparación técnica entre los ensayos de laboratorio de Módulo de Young y CBR para bases y subbases, caso de estudio: Cantera San Joaquín (provincia de Cotopaxi, sector Santa Rita) (Bachelor's thesis, PUCE-Quito).
- Valle Rodas, R. (1982). Carreteras, calles y aeropistas: Principios generales de la mecánica de suelos aplicados a la pavimentación y métodos para el cálculo de pavimentos flexibles. El Ateneo, Argentina, 476.
- Velez, J. J., Botero, B. A., Parra, J. C., Aristizabal, V. M., & Marulanda, A. (2013). Diseño hidráulico e hidrológico de obras de ingeniería para proyectos viales.
- Vinueza Gallegos, B. F., & Zurita Durán, M. A. (2022). Diseño del pavimento flexible, empleando las propiedades mecánicas de bases y subbases de catorce diferentes minas de materiales pétreos del Ecuador.
- Wright, P. H. and Paquette, R. J. (1987) Highway Engineering, New York: John Wiley & Sons
- Yang, J., Chen, B., Su, J., Xu, G., Zhang, D., & Zhou, J. (2022). Effects of fibers on the mechanical properties of UHPC: A review. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 9(3), 363–387. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2022.05.001>
- Zambrano Mesa, I., Tejada Piusseaut, E., & Aaenlle, A. (2020). Materiales granulares mejorados con emulsión asfáltica catiónica para subbases de pavimentos. *Infraestructura Vial*, 22(39), 29-42.

- Zepeda G. A. (1989). *Propiedades Mecánicas e Hidráulicas en Suelos no Saturados*. Curso Internacional de Mecánica de Suelos Arcillosos. Universidad Autónoma de Querétaro. México
- Zhu, Y., Xie, K., Ozbay, K., Zuo, F., & Yang, H. (2017). Data-Driven spatial modeling for quantifying networkwide resilience in the aftermath of Hurricanes Irene and Sandy. *Transportation Research Record*, 2604(1), 9-18. <https://doi.org/10.3141/2604-02>

## ANEXOS



**Anexo 1.** Extracción de material de cada muestra.



**Anexo 2.** Etiquetado de muestras.



**Anexo 3.** Restauración de la perforación.



**Anexo 4.** Ensayo Granulométrico



**Anexo 5.** Ensayo Límite Líquido



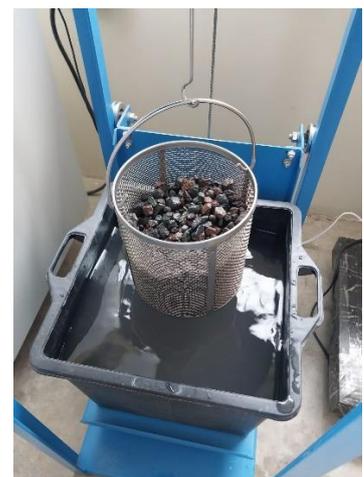
**Anexo 6.** Límite Plástico-Subrasante



**Anexo 7.** Ensayo Proctor Modificado



**Anexo 8.** Absorción y densidad-material fino



**Anexo 9.** Absorción y densidad-material grueso



**Anexo 10.** Ensayo cono de arena.



**Anexo 11.** Ensayo Geo gauge en pavimentos en buenas condiciones.



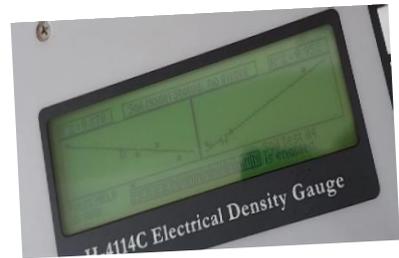
**Anexo 12.** Ensayo Geo gauge en pavimentos en condiciones precarias.



**Anexo 13.** Ensayo EDG-Instalación del equipo



**Anexo 14.** Ensayo EDG-Toma de datos



**Anexo 15.** Ensayo EDG-Ajustes de datos



**Anexo 16.** Ensayo Infiltrómetro de doble anillo en un pavimento en buenas condiciones.



**Anexo 17.** Ensayo Infiltrómetro de doble anillo en un pavimento en malas condiciones.



**Anexo 18.** Toma de datos en campo del Infiltrómetro de doble anillo



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



ENSAYO:		DENSIDADES Y ABSORCIÓN						ENSAYO 1							
<b>ENSAYO DESARROLLADO POR:</b> Casco Guevara José Miguel Salcán León Vinicio Alexander  <b>TUTOR DE LA INVESTIGACIÓN:</b> Ing. Pazmiño Chiluisa Hernán Vladimir			<b>UBICACIÓN:</b>		Corredor Vial Flores - Cebadas		<b>NORTE:</b>	-							
			<b>FECHA DE MUESTREO:</b>		-		<b>ESTE:</b>	-							
			<b>FECHA DE ENSAYO:</b>		12 de Marzo de 2024		<b>HORA:</b>	-							
			<b>MATERIAL:</b>		Base de Pavimento Flexible		<b>HORA:</b>	10:00							
				<b>PERFORACIÓN No.</b>	-										
RECOLECCIÓN DE DATOS															
Material Granular Grueso					Material Granular Fino										
Masa Seca (A)	5718.000	[g]	Masa Seca (Densidad) [g]	Masa Picnómetro + agua [g]	Masa Picnómetro + agua + agregado [g]	Masa en estado SSS (Densidad) [g]	Masa en estado SSS (Absorción) [g]	Masa seca (Absorción) [g]							
Masa en estado SSS (B)	5888.200	[g]	A	B	C	S	S1	SH ABS							
Masa aparente en agua de la muestra saturada (C)	3569.300	[g]	495.3	1248.4	1545.2	500	500	498.100							
DENSIDADES RELATIVAS															
Agregado Grueso			Agregado Fino												
Gravedad específica seca al horno [-]	Gravedad específica saturada superficialmente seca [-]	Gravedad específica aparente [-]	Gravedad específica seca al horno [-]	Gravedad específica saturada superficialmente seca [-]	Gravedad específica aparente [-]										
SG <sub>SH</sub>	SG <sub>SSS</sub>	SG <sub>A</sub>	SG <sub>SH</sub>	SG <sub>SSS</sub>	SG <sub>A</sub>										
2.466	2.539	2.661	2.438	2.461	2.495										
DENSIDADES															
Agregado Grueso			Agregado Fino												
Gravedad específica seca al horno [kg/m <sup>3</sup> ]	Gravedad específica saturada superficialmente seca [kg/m <sup>3</sup> ]	Gravedad específica aparente [kg/m]	Gravedad específica seca al horno [kg/m <sup>3</sup> ]	Gravedad específica saturada superficialmente seca [kg/m <sup>3</sup> ]	Gravedad específica aparente [kg/m]										
D <sub>SH</sub>	D <sub>SSS</sub>	D <sub>A</sub>	D <sub>SH</sub>	D <sub>SSS</sub>	D <sub>A</sub>										
2459.660	2532.873	2654.491	2431.406	2454.478	2488.976										
ABSORCIÓN															
<table border="1"> <tr><td>Absorción del Agregado Grueso</td></tr> <tr><td>[%]</td></tr> <tr><td>2.977</td></tr> </table>					Absorción del Agregado Grueso	[%]	2.977	<table border="1"> <tr><td>Absorción del Agregado Fino</td></tr> <tr><td>[%]</td></tr> <tr><td>0.38145</td></tr> </table>					Absorción del Agregado Fino	[%]	0.38145
Absorción del Agregado Grueso															
[%]															
2.977															
Absorción del Agregado Fino															
[%]															
0.38145															

**Anexo 19.** Formato de procesamiento de datos del ensayo de densidades y absorción.



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



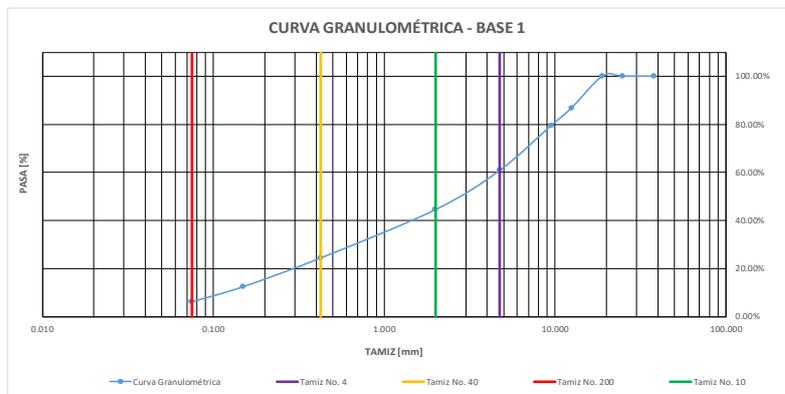
ENSAYO:	<b>G R A N U L O M E T R Í A</b>		<b>MUESTRA 1</b>		
ENSAYO DESARROLLADO POR:	Casco Guevara José Miguel Salcán León Vinicio Alexander		UBICACIÓN:	Corredor Vial Flores - Cebadas	
TUTOR DE LA INVESTIGACIÓN:	Ing. Pazmiño Chiluisa Hernán Vladimir	FECHA DE MUESTREO:	23 de Octubre de 2023	NORTE:	9798828.07
		FECHA DE ENSAYO:	26 de Octubre de 2023	ESTE:	762992.63
		MATERIAL:	Base de Pavimento Flexible	HORA:	10:30
				HORA:	9:00
				PERFORACIÓN No.	1

MASA RECIPIENTE	0.2460	[kg]	Abertura en [mm]	Tamiz ASTM	Peso Retenido [kg]	Abertura en [mm]	Tamiz ASTM	Peso Retenido [kg]
MASA INICIAL MUESTRA + RECIPIENTE	1.2460	[kg]	38.100	1" 1/2"	0.000	4.750	No. 4	0.432
MASA FINAL MUESTRA + RECIPIENTE	1.2450	[kg]	25.000	1"	0.000	2.000	No. 10	0.409
MASA INICIAL NETA DE LA MUESTRA	1.0000	[kg]	19.000	3/4"	0.000	0.425	No. 40	0.447
MASA FINAL NETA DE LA MUESTRA	0.9990	[kg]	12.500	1/2"	0.379	0.150	No. 100	0.365
% DE ERROR EN EL ENSAYO	0.1000	[%]	9.500	3/8"	0.319	0.075	No. 200	0.309
<i>EL ERROR ES ADMISIBLE EN EL ENSAYO</i>			Fondo			0.307		

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

Tamiz ASTM	Abertura del Tamiz [mm]	Peso Retenido [kg]	Peso Neto de la Muestra [kg]	Peso Retenido Corregido [kg]	Retenido [%]	Retenido Acumulado [%]	Pasa [%]
1" 1/2"	38.100	0	0.0000	0.0000	0.0000	0	100
1"	25.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	100.0000
3/4"	19.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	100.0000
1/2"	12.500	0.3790	0.1330	0.1331	13.3133	13.3133	86.6867
3/8"	9.500	0.3190	0.0730	0.0731	7.3073	20.6206	79.3794
No. 4	4.750	0.4320	0.1860	0.1862	18.6186	39.2392	60.7608
No. 10	2.000	0.4090	0.1630	0.1632	16.3163	55.5556	44.4444
No. 40	0.425	0.4470	0.2010	0.2012	20.1201	75.6757	24.3243
No. 100	0.150	0.3650	0.1190	0.1191	11.9119	87.5876	12.4124
No. 200	0.075	0.3090	0.0630	0.0631	6.3063	93.8939	6.1061
Fondo		0.3070	0.0610	0.0611	6.1061	100.0000	0.0000
<b>Total</b>		<b>0.9990</b>	<b>1.0000</b>	<b>1.0000</b>	<b>100.0000</b>		

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



Tamiz ASTM	Abertura en [mm]	Pasa [%]
1" 1/2"	38.100	100.00%
1"	25.000	100.00%
3/4"	19.000	100.00%
1/2"	12.500	86.69%
3/8"	9.500	79.38%
No. 4	4.750	60.76%
No. 10	2.000	44.44%
No. 40	0.425	24.32%
No. 100	0.150	12.41%
No. 200	0.075	6.11%

**COEFICIENTES DE UNIFORMIDAD Y CURVATURA**

	Pasa [%]	Abertura en [mm]
Abertura del tamiz que pasa el 10% del material (D10)	6.11%	0.0750
	12.41%	0.1500
	<b>D10</b>	<b>0.1151</b>
Abertura del tamiz que pasa el 30% del material (D30)	24.32%	0.4250
	44.44%	2.0000
	<b>D30</b>	<b>0.6579</b>
Abertura del tamiz que pasa el 60% del material (D60)	44.44%	2.0000
	60.76%	4.7500
	<b>D60</b>	<b>4.5622</b>

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Coefficiente de Uniformidad (C <sub>u</sub> )	39.6500
---	---------

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}}$$

Coefficiente de Curvatura (C <sub>c</sub> )	0.8244
---	--------

**Anexo 20.** Formato de procesamiento de datos del ensayo granulométrico.



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



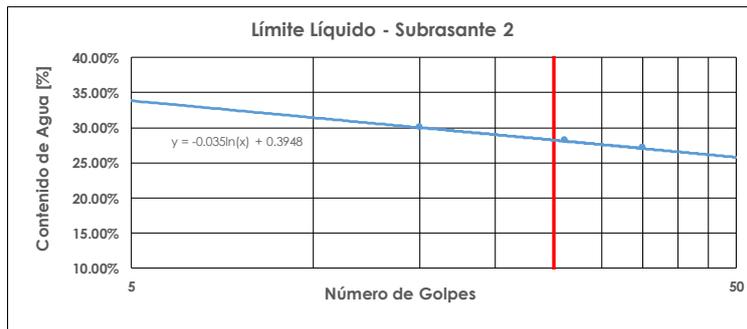
<b>ENSAYO:</b>	<b>LÍMITES DE ATTERBERG</b>	<b>MUESTRA 6</b>
<b>ENSAYO</b> Casco Guevara José Miguel Salcán León Vinicio Alexander  <b>TUTOR DE LA INVESTIGACIÓN:</b> Ing. Pazmiño Chiluisa Hernán Vladimír	<b>UBICACIÓN:</b>	Corredor Vial Flores - Cebadas
	<b>FECHA DE MUESTREO:</b>	24 de Octubre de 2023
	<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	30 de Octubre de 2023
	<b>MATERIAL:</b>	Subrasante de Pavimento Flexible
	<b>NORTE:</b>	9796203.57
	<b>ESTE:</b>	764018.23
	<b>HORA:</b>	11:00
	<b>HORA:</b>	17:30
	<b>PERFORACIÓN No.</b>	2

**RECOLECCIÓN DE DATOS**

Datos Límite Líquido						Datos Límite Plástico			
Numero de Ensayo	Nombre Tara	Masa de Tara [gr]	Masa de Tara + suelo humedo [gr]	Masa de Tara Contenedor y Suelo Seco [gr]	Golpes	No. Tara	Masa Tara [gr]	Masa tara y suelo humedo [kg]	Masa tara y Suelo Seco [gr]
1	V13	14.20	25.90	23.40	35	V10	14.100	22.7000	20.9000
2	PLAT	18.40	28.40	26.20	26	V12	14.400	23.0000	21.4000
3	E	14.10	26.20	23.40	15				

**LÍMITE LÍQUIDO**

Numero de Ensayo	Masa del recipiente [gr]	Masa del recipiente + suelo humedo [gr]	Masa del Contenedor y Suelo Seco [gr]	Golpes	Masa del Agua [gr]	Masa del Suelo Seco [gr]	Contenido de agua [%]
1	14.20	25.90	23.40	35	2.50	9.20	27.17%
2	18.40	28.40	26.20	26	2.20	7.80	28.21%
3	14.10	26.20	23.40	15	2.80	9.30	30.11%



<b>Expresión de la Gráfica</b>
-0.035 ln(x) + 0.3948

<b>a</b>	-0.035	[-]
<b>b</b>	0.3948	[-]
<b>Límite Líquido</b>	28.214	[%]

**LÍMITE PLÁSTICO**

No. Tara	Masa Tara [gr]	Masa tara y suelo humedo [gr]	Masa tara y Suelo Seco [gr]	Masa del Agua [gr]	Masa del Suelo Seco [gr]	Contenido de agua [%]
V10	14.10000	22.70000	20.90000	1.80000	6.80000	26.47%
V12	14.40000	23.00000	21.40000	1.60000	7.00000	22.86%
<b>Límite Plástico</b>						24.66%

**ÍNDICE DE PLASTICIDAD**

<b>Límite Líquido</b>	28.214%	[%]
<b>Límite Plástico</b>	24.664%	[%]
<b>Índice de Plasticidad</b>	3.550%	[%]

"Si el límite plástico es igual o mayor que el límite líquido, el informe del suelo deberá constar como no plástico, NP." (ASTM D4318-05, 2005)

**EL MATERIAL EXHIBE CARACTERÍSTICAS DE PLASTICIDAD**



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



ENSAYO:	<b>P R O C T O R M O D I F I C A D O</b>			<b>MUESTRA 1</b>	
ENSAYO DESARROLLADO POR:  Casco Guevara José Miguel Salcán León Vinicio Alexander  TUTOR DE LA INVESTIGACIÓN:  Ing. Pazmiño Chiluisa Herrán Vladimir	UBICACIÓN:	Corredor Vial Flores - Cebadas		NORTE:	979828.07
	FECHA DE MUESTREO:	23 de Octubre de 2023		ESTE:	762992.63
	FECHA DE ENSAYO:	06 de Noviembre de 2023		HORA:	10:30
	MATERIAL:	Base de Pavimento Flexible		HORA:	9:00
				PERFORACIÓN No.	1

**RECOLECCIÓN DE DATOS**

CILINDRO PROCTOR			Punto	Peso Cilindro + Suelo Compactado [kg]	Denominación de Tara	Peso de Tara [gr]	Peso Suelo Húmedo + Tara [gr]	Peso Suelo Seco + Tara [gr]
Diámetro Interno del Cilindro	15.2	[cm]	1	10.878	V13	14.20	54.10	52.80
					E	14.10	49.20	48.20
Altura Interna del Cilindro	11.6	[cm]	2	11.098	G1	14.80	34.70	33.50
					V1	14.20	35.40	34.10
					V10	14.10	38.70	36.30
Volumen del Cilindro	2104.92	[cm <sup>3</sup> ]	3	11.212	PLAT	18.40	51.30	48.60
					V4	14.30	35.40	32.70
					T3	14.80	38.70	36.40
Peso del Cilindro	6.637	[kg]	4	11.278	J	14.90	36.50	33.60
					T3	14.80	38.70	36.40
					A10	14.20	38.80	35.50

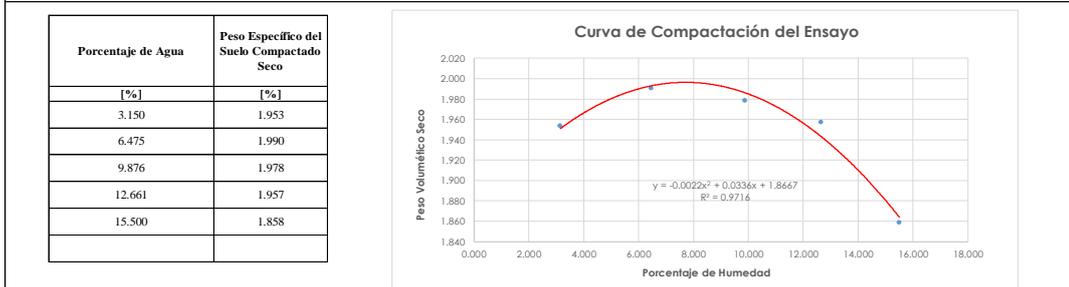
**PESO ESPECIFICO HUMEDO**

Punto	Peso Cilindro Proctor	Volumen del Cilindro Proctor	Peso Cilindro + Suelo Compactado	Peso del Suelo Compactado	Peso Especifico del Suelo Compactado Húmedo
[-]	[kg]	[cm <sup>3</sup> ]	[kg]	[kg]	[T/m <sup>3</sup> ]
1	6.637	2104.917	10.878	4.241	2.0148
2	6.637	2104.917	11.098	4.461	2.1193
3	6.637	2104.917	11.212	4.575	2.1735
4	6.637	2104.917	11.278	4.641	2.2048
5	6.637	2104.917	11.155	4.518	2.1464

**HUMEDAD Y PESO ESPECIFICO SECO**

Muestra	Denominación de Tara	Peso de Tara	Peso Suelo Húmedo + Tara	Peso Suelo Seco + Tara	Peso Suelo Seco	Peso del Agua	Porcentaje de Agua	Porcentaje Promedio de Agua	Peso Especifico del Suelo Compactado Seco
[-]	[-]	[gr]	[gr]	[gr]	[gr]	[gr]	[%]	[%]	[T/m <sup>3</sup> ]
1	V13	14.20	54.10	52.80	38.60	1.30	3.368	3.150	1.953
	E	14.10	49.20	48.20	34.10	1.00	2.933		
2	G1	14.80	34.70	33.50	18.70	1.20	6.417	6.475	1.990
	V1	14.20	35.40	34.10	19.90	1.30	6.533		
3	V10	14.10	38.70	36.30	22.20	2.40	10.811	9.876	1.978
	PLAT	18.40	51.30	48.60	30.20	2.70	8.940		
4	V4	14.30	35.40	32.70	18.40	2.70	14.674	12.661	1.957
	T3	14.80	38.70	36.40	21.60	2.30	10.648		
5	J	14.90	36.50	33.60	18.70	2.90	15.508	15.500	1.858
	A10	14.20	38.80	35.50	21.30	3.30	15.493		

**CURVA DE COMPACTACIÓN**



**HUMEDAD Y DENSIDAD MÁXIMA**

<p>Expresión de la Curva</p> $A X^2 + B X + C$ $-0.0022 X^2 + 0.0336 X + 1.8667$	<p>Punto Máximo de la Curva</p> <table border="1"> <tr> <td>A</td> <td>-0.0022</td> <td>[-]</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>0.0336</td> <td>[-]</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>1.8667</td> <td>[-]</td> </tr> <tr> <td>Humedad Óptima</td> <td>7.636</td> <td>[%]</td> </tr> <tr> <td>Densidad Máxima Seca</td> <td>1.995</td> <td>[T/m<sup>3</sup>]</td> </tr> </table>	A	-0.0022	[-]	B	0.0336	[-]	C	1.8667	[-]	Humedad Óptima	7.636	[%]	Densidad Máxima Seca	1.995	[T/m <sup>3</sup> ]
A	-0.0022	[-]														
B	0.0336	[-]														
C	1.8667	[-]														
Humedad Óptima	7.636	[%]														
Densidad Máxima Seca	1.995	[T/m <sup>3</sup> ]														

**Anexo 22.** Formato de procesamiento de datos del ensayo proctor modificado.



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



ENSAYO:		<b>DENSIDAD IN SITU - CONO DE ARENA</b>				ENSAYO 1	
ENSAYO DESARROLLADO POR: Casco Guevara José Miguel Salcán León Vinicio Alexander		UBICACIÓN:	Corredor Vial Flores - Cebadas			NORTE:	9798828.07
		FECHA DE MUESTREO:	-			ESTE:	762992.63
TUTOR DE LA INVESTIGACIÓN: Ing. Pazmiño Chiluisa Hernán Vladimir		FECHA DE ENSAYO:	06 de Diciembre de 2023			HORA:	-
		MATERIAL:	Base de Pavimento Flexible			PERFORACIÓN No.	1
<b>RECOLECCIÓN DE DATOS</b>							
Peso del Material Extraído del Suelo	3.679	[kg]	Numero de Ensayo	Nombre Tara	Masa de Tara [gr]	Masa de Tara + suelo humedo [gr]	Masa de Tara Contenedor y Suelo Seco [gr]
Peso del Cono de Arena Antes del Ensayo	6.745	[kg]	1	V10	14.10	24.70	24.00
Peso del Cono de Arena Después del Ensayo	2.760	[kg]	2	E7	14.30	25.90	25.20
<b>HUMEDAD NATURAL</b>							
Numero de Ensayo	Masa del recipiente [gr]	Masa del recipiente + suelo humedo [gr]	Masa del Contenedor y Suelo Seco [gr]	Masa del Agua [gr]	Masa del Suelo Seco [gr]	Contenido de agua [%]	Humedad Natural [%]
1	14.10	24.70	24.00	0.70	9.90	7.07%	6.746%
2	14.30	25.90	25.20	0.70	10.90	6.42%	
<b>DENSIDADES IN SITU</b>							
Densidad de la Arena de Ensayo [gr/cm <sup>3</sup> ]	Masa de Arena de Ensayo Depositada en Suelo [gr]	Volumen de Excavación Ensayo [cm <sup>3</sup> ]	Masa del Material Extraído del Suelo [gr]	Densidad Humeda del Suelo (Natural) [gr/cm <sup>3</sup> ]	Densidad de Suelo Seco [gr/cm <sup>3</sup> ]		
1.3000	2450.6	1885.0769	3679	1.952	1.828		
<b>GRADO DE COMPACTACIÓN</b>							
Densidad Máxima en el Ensayo Proctor [gr/cm <sup>3</sup> ]	Densidad de Suelo Seco [gr/cm <sup>3</sup> ]	% de Compactación					
1.9950	1.828	91.64%					

**Anexo 23.** Formato de procesamiento de datos del ensayo cono de arena.



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



<b>ENSAYO:</b>		<b>INFILTRACIÓN</b>			
<b>ENSAYO DESARROLLADO POR:</b> Casco Guevara José Miguel Salaín León Vinicio Alexander  <b>TUTOR DE LA INVESTIGACIÓN:</b> Ing. Paznaño Chiluisa Hernán Vladimir	<b>UBICACIÓN:</b>	Corredor Vial Flores - Cebadas	<b>NORTE:</b>	9789390.16	
	<b>FECHA :</b>	Viernes, 08 de Diciembre de 2023	<b>ESTE:</b>	761910.12	
	<b>CLIMA:</b>	Soleado	<b>ESTADO:</b>	BUENO	
	<b>TIPO DE PAVIMENTO:</b>	Pavimento Flexible	<b>PUNTO NO.</b>	1	

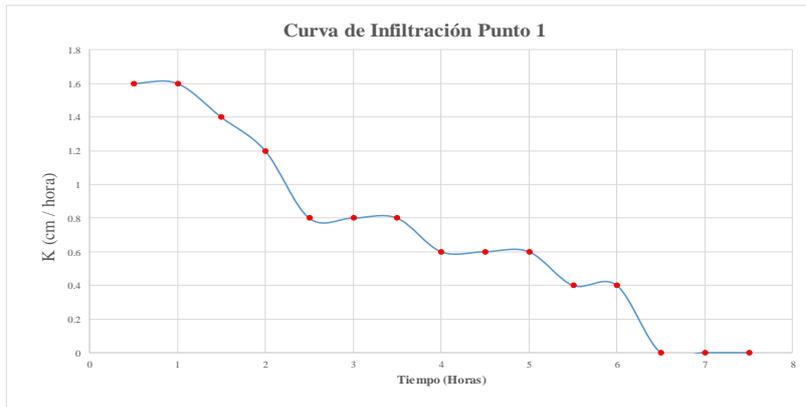
**RECOLECCIÓN DE DATOS**

Intervalo	Tiempo [Horas]	lecturas h [cm]	Observaciones
-	10:25 AM	0 Horas	10.40
10:25 AM	10:55 AM	0.5 Horas	11.20
10:55 AM	11:25 AM	0.5 Horas	12.00
11:25 AM	11:55 AM	0.5 Horas	12.70
11:55 AM	12:25 PM	0.5 Horas	13.30
12:25 PM	12:55 PM	0.5 Horas	13.70
12:55 PM	1:25 PM	0.5 Horas	14.10
1:25 PM	1:55 PM	0.5 Horas	14.50
1:55 PM	2:25 PM	0.5 Horas	14.80
2:25 PM	2:55 PM	0.5 Horas	15.10
2:55 PM	3:25 PM	0.5 Horas	15.40
3:25 PM	3:55 PM	0.5 Horas	15.60
3:55 PM	4:25 PM	0.5 Horas	15.80
4:25 PM	4:55 PM	0.5 Horas	15.80
4:55 PM	5:25 PM	0.5 Horas	15.80
5:25 PM	5:55 PM	0.5 Horas	15.80

**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.

**VELOCIDADES DE INFILTRACIÓN VS TIEMPO**

h	Delta h	Delta h acumulado	Tiempo	Tiempo acumulado	K
[cm]	[cm]	[cm]	[hora]	[hora]	[cm/hora]
10.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11.20	0.80	0.80	0.50	0.50	1.60
12.00	0.80	1.60	0.50	1.00	1.60
12.70	0.70	2.30	0.50	1.50	1.40
13.30	0.60	2.90	0.50	2.00	1.20
13.70	0.40	3.30	0.50	2.50	0.80
14.10	0.40	3.70	0.50	3.00	0.80
14.50	0.40	4.10	0.50	3.50	0.80
14.80	0.30	4.40	0.50	4.00	0.60
15.10	0.30	4.70	0.50	4.50	0.60
15.40	0.30	5.00	0.50	5.00	0.60
15.60	0.20	5.20	0.50	5.50	0.40
15.80	0.20	5.40	0.50	6.00	0.40
15.80	0.00	5.40	0.50	6.50	0.00
15.80	0.00	5.40	0.50	7.00	0.00
15.80	0.00	5.40	0.50	7.50	0.00



**COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO**

Díámetro interior del Infiltrómetro (cm):	25
Área total interna (cm <sup>2</sup> ):	490.87
Altura Total del infiltrómetro H (cm <sup>3</sup> ):	60.00
Altura del espejo de agua inicial (cm):	49.60
Volumen inicial de agua (cm <sup>3</sup> ):	24347.32
Sumatoria delta h [cm]:	5.4
Volumen de infiltración [cm <sup>3</sup> ]:	2650.72
Fracción de infiltración [%]:	10.9%
<b>Coefficiente de escurrimiento C [%]:</b>	<b>89.1%</b>

**Anexo 24.** Formato de procesamiento de datos del ensayo de infiltración.

CONDICIONES DEL PAVIMENTO										Buenas Condiciones	Buenas Condiciones	Malas Condiciones	Buenas Condiciones	Malas Condiciones	PROMEDIO	CONDICIONES DEL PAVIMENTO										Buenas Condiciones	Buenas Condiciones	Malas Condiciones	Buenas Condiciones	Malas Condiciones	PROMEDIO																					
VARIABLES		CAPAS DEL PAVIMENTO	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5			MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5							MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5																											
ENSAYOS IN SITU	1	C (Coeficiente de Escurrimiento)	[-]		0.891	0.839	0.771	0.812	0.710	0.805	ENSAYOS IN SITU	12	Grado de Compactación EDG	[%]	Base	90.68%	90.27%	89.19%	89.99%	87.63%	89.55%																															
	2	Módulo de Rigidez	[Mn/m]	Base	17.540	10.650	8.290	8.680	7.390	10.510		Subbase	85.67%	80.49%	77.83%	79.14%	75.54%	79.73%	Subrasante	78.49%	63.65%	82.24%	56.32%	56.21%	67.38%																											
				3	Módulo de Young	[MPa]	Base	130.070	78.950	61.490		64.340	54.830	77.936	13	AJUSTE DEL EDG FIT	[-]	Base	0.797					Subbase	0.744					Subrasante	0.911																					
							Subbase	119.180	75.630	60.570		58.070	54.330	73.556				Subbase						Subbase																												
	4	CBR estimado	[%]	Base	84.482	27.516	14.406	16.347	10.267	30.604		14	% Gravas Gruesas	[%]	Base	0.000%	2.703%	0.000%	1.904%	3.307%	1.58%	Subbase	28.228%	31.900%	29.065%	21.622%	8.717%	23.91%	Subrasante	7.808%	0.000%	0.000%	1.805%	4.400%	2.80%																	
				Subbase	69.992	24.705	13.827	12.186	10.008	26.143					15	% Gravas Finas	[%]	Base	39.239%	37.638%	31.800%	53.206%	33.768%	39.13%	Subbase	21.221%	31.200%	22.256%	25.125%	18.136%	23.59%	Subrasante	17.818%	8.108%	9.529%	7.222%	24.700%	13.48%														
				Subrasante	7.337	0.951	3.219	8.052	4.564	4.825								16	% Arenas Gruesas	[%]	Base	36.436%	37.337%	39.700%	27.154%	40.982%	36.32%	Subbase	29.229%	21.900%	21.443%	34.234%	29.459%	27.25%	Subrasante	48.849%	42.242%	49.950%	29.990%	32.800%	40.77%											
	5	Densidad Natural EDG	[gr/cm <sup>3</sup> ]	Base	1.809	1.803	1.804	1.801	1.793	1.802		17	% Arenas Finas	[%]	Base	18.218%	18.318%				25.500%	16.633%	20.842%	19.90%	Subbase	1.715	1.605	1.488	1.592	1.400	1.560	Subbase	29.229%	21.900%	21.443%	34.234%	29.459%	27.25%	Subrasante	17.818%	8.108%	9.529%	7.222%	24.700%	13.48%							
				Subbase	1.715	1.605	1.488	1.592	1.400	1.560					18	% de Material Fino	[%]	Base	6.106%	4.004%	3.000%	1.102%	1.102%	3.06%	Subbase	1.991	1.563	1.750	1.685	1.711	1.740	Subbase	4.905%	2.100%	7.419%	1.802%	4.309%	4.11%	Subrasante	1.155	1.196	1.205	1.071	1.202	1.166							
				Subrasante	1.216	1.095	1.238	0.952	1.035	1.107								19	Limite Liquido	[%]	Base	10.56%	16.18%	16.69%	17.67%	14.68%	15.16%	Subbase	1.828	1.823	1.835	1.816	1.805	1.821	Subbase	4.905%	2.100%	7.419%	1.802%	4.309%	4.11%	Subrasante	1.155	1.196	1.205	1.071	1.202	1.166				
	6	Densidad Natural Cono de Arena	[gr/cm <sup>3</sup> ]	Base	1.828	1.823	1.835	1.816	1.805	1.821		20	Limite Plastico	[%]	Base	19.583%	19.375%				19.222%	21.429%	17.857%	19.49%	Subbase	1.991	1.563	1.750	1.685	1.711	1.740	Subbase	15.341%	27.500%	24.265%	24.351%	26.099%	23.51%	Subrasante	1.155	1.196	1.205	1.071	1.202	1.166							
				Subbase	1.991	1.563	1.750	1.685	1.711	1.740					21	Indice Plastico	[%]	Base	-	-	-	-	-	-	Subbase	2.002	1.994	1.912	2.012	1.853	1.955	Subbase	4.905%	2.100%	7.419%	1.802%	4.309%	4.11%	Subrasante	1.155	1.196	1.205	1.071	1.202	1.166							
				Subrasante	1.155	1.196	1.205	1.071	1.202	1.166								22	Clasificación SUCS	[-]	Base	SP	SP	SP	GW	SP	SP	Subbase	7.64%	7.81%	7.78%	7.55%	7.38%	7.63%	Subbase	4.905%	2.100%	7.419%	1.802%	4.309%	4.11%	Subrasante	1.155	1.196	1.205	1.071	1.202	1.166				
	7	Densidad Óptima Proctor	[gr/cm <sup>3</sup> ]	Base	1.995	1.997	2.023	2.001	2.046	2.012		21	Indice Plastico	[%]	Base	-	-				-	-	-	-	Subbase	7.64%	7.81%	7.78%	7.55%	7.38%	7.63%	Subbase	4.905%	2.100%	7.419%	1.802%	4.309%	4.11%	Subrasante	1.155	1.196	1.205	1.071	1.202	1.166							
				Subbase	2.002	1.994	1.912	2.012	1.853	1.955					22	Clasificación SUCS	[-]	Base	SP	SP	SP	GW	SP	SP	Subbase	7.64%	7.81%	7.78%	7.55%	7.38%	7.63%	Subbase	4.905%	2.100%	7.419%	1.802%	4.309%	4.11%	Subrasante	1.155	1.196	1.205	1.071	1.202	1.166							
				Subrasante	1.549	1.720	1.505	1.690	1.841	1.661								22	Clasificación SUCS	[-]	Base	SP	SP	SP	GW	SP	SP	Subbase	7.64%	7.81%	7.78%	7.55%	7.38%	7.63%	Subbase	4.905%	2.100%	7.419%	1.802%	4.309%	4.11%	Subrasante	1.155	1.196	1.205	1.071	1.202	1.166				
	8	Humedad Óptima	[%]	Base	7.64%	7.81%	7.78%	7.55%	7.38%	7.63%		22	Clasificación SUCS	[-]	Base	SP	SP				SP	GW	SP	SP	Subbase	7.64%	7.81%	7.78%	7.55%	7.38%	7.63%	Subbase	4.905%	2.100%	7.419%	1.802%	4.309%	4.11%	Subrasante	1.155	1.196	1.205	1.071	1.202	1.166							
				Subbase	7.09%	8.64%	9.72%	9.96%	11.33%	9.35%					9	Humedad IN SITU Cono de Arena	[%]	Base	6.75%	6.85%	6.86%	6.76%	6.40%	6.72%	Subbase	3.97%	6.88%	6.87%	6.26%	6.39%	6.08%	Subbase	3.97%	6.88%	6.87%	6.26%	6.39%	6.08%	Subrasante	18.53%	30.48%	15.08%	18.24%	16.05%	19.68%							
				Subrasante	20.05%	16.72%	18.68%	17.12%	12.23%	16.96%								10	Humedad IN SITU EDG	[%]	Base	7.40%	7.30%	8.20%	7.70%	7.20%	7.56%	Subbase	5.40%	6.39%	9.10%	7.30%	11.00%	7.84%	Subbase	5.40%	6.39%	9.10%	7.30%	11.00%	7.84%	Subrasante	17.30%	14.70%	18.50%	15.10%	14.40%	16.00%				
	9	Humedad IN SITU Cono de Arena	[%]	Base	6.75%	6.85%	6.86%	6.76%	6.40%	6.72%		11	Grado de Compactación Cono de Arena	[%]	Base	91.64%	91.25%				90.75%	90.72%	88.22%	90.52%	Subbase	3.97%	6.88%	6.87%	6.26%	6.39%	6.08%	Subbase	99.45%	78.36%	91.54%	83.74%	92.31%	89.08%	Subbase	99.45%	78.36%	91.54%	83.74%	92.31%	89.08%	Subrasante	74.54%	69.50%	80.06%	63.34%	65.29%	70.55%
				Subbase	3.97%	6.88%	6.87%	6.26%	6.39%	6.08%					11	Grado de Compactación Cono de Arena	[%]	Base	91.64%	91.25%	90.75%	90.72%	88.22%	90.52%	Subbase	99.45%	78.36%	91.54%	83.74%	92.31%	89.08%	Subbase	99.45%	78.36%	91.54%	83.74%	92.31%	89.08%	Subbase	99.45%	78.36%	91.54%	83.74%	92.31%	89.08%	Subrasante	74.54%	69.50%	80.06%	63.34%	65.29%	70.55%
				Subrasante	18.53%	30.48%	15.08%	18.24%	16.05%	19.68%								11	Grado de Compactación Cono de Arena	[%]	Base	91.64%	91.25%	90.75%	90.72%	88.22%	90.52%	Subbase	99.45%	78.36%	91.54%	83.74%	92.31%	89.08%	Subbase	99.45%	78.36%	91.54%	83.74%	92.31%	89.08%	Subbase	99.45%	78.36%	91.54%	83.74%	92.31%	89.08%	Subrasante	74.54%	69.50%	80.06%

Anexo 25. Datos finales recolectados