



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

Características Físicas, Mecánicas e Hidráulicas evaluadas en el pavimento flexible del
corredor vial San Juan-El Arenal

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero civil

Autor:

Calvopiña Ponce Dennys Adrian

Cardozo Lara Guido Patricio

Tutor:

Mgs. Pazmiño Chiluiza Hernán Vladimir

Riobamba, Ecuador. 2025

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Nosotros, Dennys Adrian Calvopiña Ponce, con cédula de identidad número: 0604701094 y Guido Patricio Cardozo Lara, con cédula de identidad número 0604777102, autores del trabajo de investigación titulado: Características físicas, mecánicas e hidráulicas evaluadas en el pavimento flexible del corredor vial San Juan-El Arenal, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de nuestra 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, 10 de julio de 2025.



Dennys Adrian Calvopiña Ponce
C.I: 0604701094



Guido Patricio Cardozo Lara
C.I: 0604777102

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Mgs. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza 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 San Juan – El Arenal, bajo la autoría de Dennys Adrián Calvopiña Ponce, y Guido Patricio Cardozo Lara; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 15 días del mes de julio de 2025



Mgs. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza
C.I: 0603123464

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 San Juan-El Arenal, presentado por Dennys Adrián Calvopiña Ponce, con cédula de identidad número: 0604701094 y Guido Patricio Cardozo Lara con cédula de identidad número 0604777102, bajo la tutoría de Mgs. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluzia; 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.

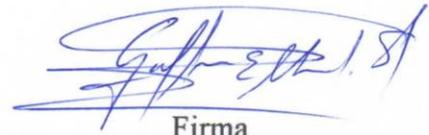
De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 10 de julio de 2025.

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



Firma

Dr. Guillermo Machado
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

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



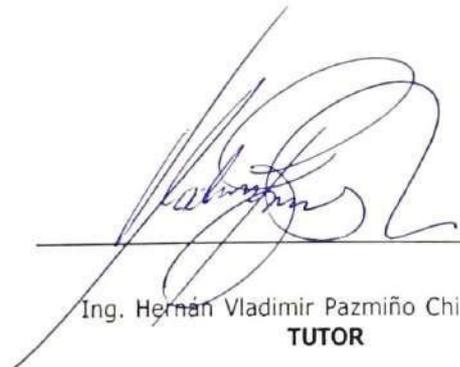
Firma



CERTIFICACIÓN

Que, **CALVOPIÑA PONCE DENNYS ADRIAN** con CC: **0604701094** y **CARDOZO LARA GUIDO PATRICIO** con CC: **0604777102**, estudiantes de la Carrera de **INGENIERIA CIVIL**, Facultad de **INGENIERIA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, MECÁNICAS E HIDRÁULICAS EVALUADAS EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DEL CORREDOR VIAL SAN JUAN – EL ARENAL**", cumple con el 9 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **COMPILATIO**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 01 de julio de 2025



Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluzza, Mgs
TUTOR

DEDICATORIA

Primeramente, a Dios, por ser mi guía constante, por brindarme fortaleza en los momentos difíciles y por llenar mi camino de sabiduría y esperanza. Sin Su presencia en mi vida, este logro no habría sido posible. A mis amados padres, Diego Fernando Calvopiña López y María Mercedes Ponce Sigchay, con su amor incondicional, dedicación y esfuerzo han sido el pilar fundamental de mi vida. Gracias por sus consejos, enseñanzas, por creer siempre en mí y por acompañarme con palabras de aliento en cada paso de este proceso.

A mi querido hermano Diego Alexis, con quien he compartido tantas experiencias y cuya compañía ha sido una fuente de alegría, apoyo y motivación durante este camino.

A mis abuelitos, quienes desde mi infancia me guiaron con amor y sabiduría, y contribuyeron profundamente en la formación de mis valores. Aunque ellos ya no están físicamente, sé que su espíritu me acompaña y continúa cuidándome desde el cielo.

A mi familia en general y a todos los amigos que he tenido el privilegio de conocer durante estos años, en especial a Eric, Sebastián, Magaly, Steven, Janine, Paola, Guido, y Oscar, gracias por estar presentes, por cada palabra de ánimo, por cada gesto de apoyo y por compartir conmigo esta etapa tan significativa.

A todos ustedes, dedico este trabajo con profunda gratitud y cariño.

Dennys Adrian Calvopiña Ponce

DEDICATORIA

La presente tesis va dedicada:

A mis amados padres, Guido Cardozo y Mónica Lara, quienes con su dedicación y amor han sido mi principal fuente de motivación y admiración tanto para mi vida personal como profesional, los cuales nunca me han dejado solo, sino siempre con sus consejos, ánimos, enseñanzas, anécdotas ayudándome a mejorar cada día.

A mi querida hermana Karen quien desde pequeño hemos compartido muchas experiencias juntos la cual me ha ayudado con palabras de amor de ánimo para no decaer en este proceso, a mis hermanos Cristopher y Josafath por siempre estar conmigo.

A mis queridos abuelitos Eleuterio y María que desde niño me educaron y me formaron en la persona que soy, aunque hoy él se encuentre en el cielo sé que me cuida y me sigue guiando en este nuevo camino.

A mis tías Mónica, Julio y Martha, a mis primos Mercedes, Mateo y Melany gracias por cada día apoyarme y no dejarme solo con sus palabras de aliento.

A toda mi demás familia, mi cuñado Andrés, mi novia Daniela y a todos mis amigos que he conocido a lo largo de mi carrera en especial a Oscar, Dennys y Steven que han estado presentes en este proceso de mi vida universitaria.

Guido Patricio Cardozo Lara

AGRADECIMIENTO

Quisiera agradecer, en primer lugar, a Dios, por brindarme la sabiduría, la fortaleza y la perseverancia necesarias para culminar esta etapa tan importante de mi vida académica.

Expreso mi más sincero agradecimiento a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a la realización de esta tesis. A mis estimados profesores, quienes, con su dedicación, conocimientos y vocación, fueron pilares fundamentales en mi formación profesional y en la construcción de este trabajo.

Deseo extender un agradecimiento muy especial a mi tutor, Ing. Vladimir Pazmiño, por su valiosa guía, su constante apoyo y su paciencia inquebrantable a lo largo de este proceso. Su compromiso y exigencia académica han sido una fuente constante de motivación e inspiración.

Del mismo modo, quiero expresar mi más profundo reconocimiento a mi cotutor, Ing. Alfonso Arellano, cuya experiencia y acompañamiento técnico aportaron significativamente a la calidad y solidez de esta tesis. Su orientación oportuna y sus observaciones acertadas fueron esenciales para alcanzar los objetivos propuestos.

A mis familiares y amigos, gracias por su amor, comprensión y palabras de aliento en los momentos más difíciles. Su apoyo incondicional fue el motor que me impulsó a seguir adelante, incluso cuando el camino se tornaba complejo.

A todos ustedes, mi más profundo reconocimiento y gratitud. Esta tesis no solo representa el resultado de mi esfuerzo personal, sino también el reflejo del respaldo, compromiso y colaboración de cada uno de ustedes.

Dennys Adrian Calvopiña Ponce

AGRADECIMIENTO

Quisiera agradecer a Dios por brindarme la sabiduría y fuerza para lograr culminar mis estudios.

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han contribuido de alguna manera a la realización de esta tesis. A mis respetados profesores, cuya guía y conocimiento han sido fundamentales en mi formación académica y en el desarrollo de este trabajo.

Un agradecimiento especial merece mi tutor, Ing. Vladimir Pazmiño, cuya orientación experta y paciencia han sido invaluable para alcanzar los objetivos propuestos. Su dedicación y compromiso han sido una fuente constante de inspiración.

También quiero agradecer a mis familiares y amigos por su constante aliento, comprensión y motivación. Su apoyo incondicional ha sido el impulso que necesitaba para superar los desafíos y alcanzar este logro.

A todos ustedes, mi más profundo reconocimiento y gratitud. Esta tesis no solo es el resultado de mi esfuerzo individual, sino también el reflejo del apoyo y la colaboración de cada uno de ustedes.

Guido Patricio Cardozo Lara

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE ANEXOS

RESUMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	13
1.1 Antecedentes	14
1.2 Planteamiento del Problema	15
1.3 Justificación	16
1.4 Objetivos	16
1.4.1 Objetivo General.....	16
1.4.2 Objetivos Específicos.....	16
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	17
2.1 PAVIMENTO FLEXIBLE	17
2.1.1 Definición	17
2.1.2 Aspectos generales sobre las capas granulares	17
2.1.3 Capa de rodadura asfáltica.....	17
2.1.4 Base.....	17
2.1.5 Subbase	18
2.2 PROPIEDADES FÍSICAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE	19
2.2.1 Espesor.....	19
2.2.2 Granulometría	19
2.2.3 Límites de atterberg	19
2.2.4 Peso específico y Absorción	20
2.2.5 Clasificación de las capas.....	20
2.2.6 Compactación de materiales granulares.....	20
2.2.7 Humedad óptima.....	20
2.2.8 Densidad	21

2.2.9	Contenido de humedad en la capa asfáltica	21
2.2.10	Porcentaje de vacíos	21
2.3	PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE.....	21
2.3.1	Abrasión.....	21
2.3.2	Macro textura.....	22
2.3.3	Resistencia de los núcleos.....	22
2.4	PROPIEDADES HIDRÁULICAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE	22
2.4.1	Infiltración en el pavimento	22
2.4.2	Tasa de infiltración	22
2.4.3	Coefficiente de escurrimiento	23
	CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	23
3.1	Tipo de investigación	23
3.2	Diseño de la investigación	23
3.3	Definición de la muestra	23
3.3.1	Población.....	23
3.3.2	Muestra	23
3.3.3	Tipo de muestreo	23
3.3.4	Tamaño de la muestra	24
3.3.5	Criterio de evaluación	24
3.3.6	Diagrama metodológico	24
3.3.7	Ubicación de las muestras.....	25
3.4	Procedimiento	26
3.4.1	Ensayos de Laboratorio.....	26
3.4.2	Ensayos in situ	29
	CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
4.1	PROPIEDADES FÍSICAS DEL PAVIMENTO FELXIBLE	33
4.1.1	Espesor.....	33
4.1.2	Distribución de granos	35
4.1.3	Clasificación SUCS, plasticidad y liquidez	37
4.1.4	Peso específico y absorción de los agregados.....	39
4.1.5	Densidades Proctor	41
4.2	PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PAVIMENTO FELXIBLE.....	44
4.2.1	Ensayo en núcleos.....	44
4.2.2	Abrasión.....	45

4.2.3	Macrotextura	46
4.3	PROPIEDADES HIDRAULICAS DEL PAVIMENTO FELXIBLE	48
4.4	Relaciones	50
4.4.1	Relación de infiltración – Porcentaje de vacíos	50
4.4.2	Relación de infiltración – Densidad aparente	51
4.4.3	Relación de infiltración – Estabilidad	51
4.5	DISCUSIÓN	51
	CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52
5.1	Conclusiones.....	52
5.2	Recomendaciones	53
6.	BIBLIOGRAFÍA	53
7.	ANEXOS	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Requisitos granulométricos para bases granulares. (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador (MTOPE), 2002).....	18
Tabla 2	Requisitos granulométricos para subbases granulares. (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador (MTOPE), 2002)	19
Tabla 3	Espesores de los núcleos.....	34
Tabla 4.	Resumen ensayo granulometría - Bases	35
Tabla 5.	Resumen ensayo granulometría - Subbases.....	35
Tabla 6	Resultados de los límites de Atterberg.....	37
Tabla 7	Resultado de pesos específicos de la muestra 1 a la muestra 3.....	39
Tabla 8	Resultado de pesos específicos de la muestra 4 a la muestra 6.....	40
Tabla 9.	Resultados del ensayo Proctor Estándar	41
Tabla 10.	Gráficas de resultados de la densidad máxima y humedad óptima - Base	42
Tabla 11.	Gráficas de resultados de la densidad máxima y humedad óptima - Subbase.....	43
Tabla 12.	Densidad Aparente (Bulk)	45
Tabla 13.	Vacíos en los núcleos.....	45
Tabla 14	Ensayo de Abrasión	46
Tabla 15	Ensayo de la mancha de arena	47
Tabla 16.	Infiltración	48
Tabla 17.	Resultados ensayo de Infiltración	48

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Diagrama metodológico.....	24
Ilustración 2 Puntos de muestreo.	25
Ilustración 3 Procedimiento Proctor estándar. (American Society of Testing Materials (ASTM), 2021).	28
Ilustración 4 Equipo para el ensayo de porcentaje de vacíos. Fuente propia.....	29
Ilustración 5 Extracción de la muestra. Fuente propia.....	30
Ilustración 6 Ensayo de macrotextura. (Alberto Delgado & Lemus Porras, 2012).	31
Ilustración 7 Dimensiones del infiltrómetro de doble anillo.....	32
Ilustración 8 Vista lateral infiltrómetro.....	32
Ilustración 9 Burlete con alma metálica.....	32
Ilustración 10 Vista inferior de los cilindros con el caucho.....	33
Ilustración 11 Colocación del adhesivo sellador.....	33
Ilustración 12. Gráfica Granulométrica – Base.....	36
Ilustración 13. Curva Granulométrica - Subbase.....	36
Ilustración 14 Representación de los puntos obtenidos en la Carta de Plasticidad.....	38
Ilustración 15. Relación Estabilidad - Fluencia	44
Ilustración 16. Curvas de Infiltración	49
Ilustración 17. Coeficiente de escorrentía.....	50
Ilustración 18 Relación de Infiltración - Porcentaje de vacíos	50
Ilustración 19 Relación de Infiltración - Densidad aparente en núcleos.....	51
Ilustración 20 Relación de Infiltración - Estabilidad	51

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Extracción de núcleos.....	59
Anexo 2 Extracción de agregados.....	59
Anexo 3 Extracción de vacíos.....	59
Anexo 4 Ensayo de granulometría	59
Anexo 5 Ensayo Proctor.	59
Anexo 6 Ensayo peso específico.....	60
Anexo 7 Ensayo de Marshall	60
Anexo 8 Ensayo límite líquido.....	60
Anexo 9 Densidad real de los núcleos	60
Anexo 10 P1 Relación fluencia - compactación	60
Anexo 11 P3 Relación fluencia – compactación.....	61
Anexo 12 P5 Relación fluencia – compactación.....	61
Anexo 13 Infiltrómetro P1.	61
Anexo 14 Infiltrómetro P2.	62
Anexo 15 Infiltrómetro P3	62
Anexo 16 Infiltrómetro P4	63
Anexo 17 Infiltrómetro P5	63
Anexo 18 Infiltrómetro P6	63

RESUMEN

En la presente investigación, se presenta una evaluación de varias propiedades del pavimento flexible del corredor vial San Juan - El Arenal que se encuentra dentro de la provincia de Chimborazo-Ecuador, teniendo en cuenta como su principal función la seguridad y comodidad, relacionadas con sus parámetros constitutivos para comprender el comportamiento del material y sus relaciones. Lo que motiva conocer las necesidades y relaciones que presentan estas características de evaluar las condiciones físicas, mecánicas e hidráulicas del pavimento que este presenta. Utilizando una metodología tanto en campo como en laboratorio para encontrar dentro de las características físicas como granulometría, límites de atterberg, densidades, elementos importantes que sirvan para la resistencia y la durabilidad del pavimento durante su vida útil. Del mismo lado analizar las características mecánicas e hidráulicas que conforman la resistencia del pavimento y el coeficiente de escurrimiento de la capa asfáltica. En la ejecución de esta investigación, se destaca la técnica de extracción de núcleos como un método esencial para obtener muestras representativas de la capa asfáltica, permitiendo así una evaluación exhaustiva de su estado actual. Los resultados obtenidos se esperan que no solo ofrezcan una comprensión detallada de la situación actual de esta vía, sino que también aspira a establecer un precedente para investigaciones futuras y aportar en la actualización de la norma.

Palabras claves: Pavimento flexible, características físicas, mecánicas, hidráulicas.

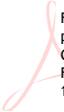
ABSTRACT

The current research presents a thorough assessment of key properties of the flexible pavement along San Juan – El Arenal road corridor, located in Chimborazo Province in Ecuador. The assessment focuses on the pavement’s primary functions—safety and comfort—and investigates its physical, mechanical, and hydraulic characteristics to better understand material behavior and interrelated properties. The research aims to identify the current condition of the pavement and the interactions among its constituent parameters that influence long-term performance. A comprehensive methodology was employed, combining fieldwork and laboratory testing. Physical properties such as grain size distribution, Atterberg limits, and density were analyzed to assess structural integrity and durability. Mechanical and hydraulic evaluations were also conducted, including measurements of load-bearing resistance and the runoff coefficient of the asphalt layer. A key component of the study was the use of core extraction techniques, enabling the collection of representative samples for in-depth analysis of the asphalt layer’s current condition. The findings provide valuable insights into the present state of the roadway and offer a basis for future research. Additionally, the results support the refinement of technical standards and contribute to improved pavement design, maintenance, and rehabilitation practices in the region.

Keywords: Flexible pavement, physical characteristics, mechanical properties, hydraulic behavior.

Reviewed by

ADRIANA
XIMENA
CUNDAR
RUANO



Firmado digitalmente
por ADRIANA XIMENA
CUNDAR RUANO
Fecha: 2025.06.27
12:15:40 -0500

MsC. Adriana Cundar Ruano, Ph.D.

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 1709268534

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

En el panorama global de la infraestructura vial, es posible observar una amplia gama en diversidad de caminos construidos con diversas tipologías 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 delgada lámina de ligante asfáltico (Huang, 2004).

Los pavimentos flexibles son una parte esencial de la infraestructura vial en todo el mundo, estas estructuras de carreteras construidas principalmente con asfalto ofrecen una superficie resistente para el tránsito de vehículos. Sin embargo, la calidad y el estado de los pavimentos flexibles son elementos críticos que determinan la seguridad, la eficiencia y la economía de las operaciones de transporte en una región (Huang, 2004). La evaluación de las condiciones físicas e hidráulicas de estos pavimentos se ha convertido en un campo de investigación y estudio fundamental para garantizar la integridad y el rendimiento a largo plazo de las carreteras.

En la actualidad, eventos hidrológicos extremos, como lluvias intensas o acumulación de agua superficial, pueden saturar las capas del pavimento, especialmente cuando no se consideran adecuadamente las propiedades físicas e hidráulicas durante su diseño. Esta interacción entre cargas hidráulicas y las características físicas del pavimento puede deteriorar progresivamente la resistencia estructural del camino, generando fallas como ahuellamiento, fisuración y pérdida de serviciabilidad (Mamlouk & Zaniewski, 2011)

Las características físicas de los pavimentos como el espesor y densidades están relacionadas a la capacidad de drenaje superficial del agua que se escurre en la superficie vial, donde considerar estas propiedades durante la planificación y el diseño de infraestructuras viales es esencial para garantizar la seguridad y funcionalidad a largo plazo de su vida útil (AASHTO, 1993).

Esta interacción que existe entre las propiedades de las capas que constituyen el pavimento pueden afectar sus características mecánicas iniciales del camino y esta decantar en una pérdida de serviciabilidad de la carretera y afectando los años de vida útil para el cual fue diseñado al inicio.

Esta tesis se centra en la evaluación exhaustiva de las condiciones físicas e hidráulicas de los pavimentos flexible, analizando tanto su resistencia estructural como su capacidad de drenaje. A través de la combinación de técnicas de muestreo y análisis. Los

resultados obtenidos no solo serán valiosos para el mantenimiento y la gestión de las carreteras existentes, sino que también servirán como base para el diseño de pavimentos más resistentes y eficientes en el futuro. La estimación de las condiciones físicas e hidráulicas de un pavimento flexible es esencial para garantizar su durabilidad, seguridad y eficiencia (Mamlouk & Zaniewski, 2011). En este contexto, la extracción de núcleos emerge como una técnica fundamental que permite acceder al corazón mismo del pavimento, revelando sus características intrínsecas.

Por este motivo se plantea evaluar las condiciones del pavimento en campo y laboratorio para determinar las propiedades físico-mecánicas y su correspondiente relación con las propiedades hidráulicas.

1.1 Antecedentes

En el ámbito del mundo que se enfoca en las carreteras, se identifican diversos tipos de pavimentos construidos con técnicas y tecnologías diferentes. Entre ellos se observó los pavimentos que son especialmente notables debido a la estructura estratificada que estos presentan, las cuales son capas granulares recubiertas por una lámina delgada de ligante asfáltico (Huang, 2004).

La construcción de carreteras en Ecuador ha jugado un papel crucial en el impulso de la economía, reuniendo diferentes regiones y vinculando ciudades con el campo. Los pavimentos flexibles son una opción común en este sistema porque son más baratos para comenzar y pueden manejar bien varias situaciones de tráfico y clima (Huang, 2004).

En el contexto ecuatoriano, el diseño y la construcción de pavimentos ha evolucionado a lo largo de las últimas décadas, pasando de enfoques puramente empíricos a metodologías más complejas que consideran la interacción mecánica entre las capas del pavimento y las condiciones ambientales. El Ministerio de Transporte y Obras Públicas de Ecuador (MTOPE) ha establecido sus propias pautas técnicas, que se basan principalmente en los modelos de (AASHTO, 1993), pero se han ajustado para adaptarse al país.

El Manual de Carreteras de Ecuador - Sección 400: Pavimentos flexibles (MTOPE, 2012) establece que, al diseñar pavimentos flexibles, es importante tener en cuenta el tipo de pavimento ya que en Ecuador se tiene una amplia gama de condiciones geográficas y climáticas, lo que hace que sea difícil predecir cómo durarán los pavimentos con el tiempo, particularmente en las regiones como la Sierra y la Amazonia.

Varios estudios nacionales han demostrado que un problema común con las carreteras pavimentadas del país es el desgaste temprano causado por factores como el desgaste, la fatiga y la fuerza reducida, que se puede culpar en parte a la mala calidad. Cada vez más automóviles están causando daños en las carreteras de nuestro país, especialmente porque los métodos de construcción no se han actualizado mucho.

Estudios recientes de las universidades ecuatorianas han analizado el uso de diferentes materiales, como los métodos cambiados de reciclaje de asfalto y frío, para hacer que los pavimentos flexibles sean más fuertes y más ecológicos (Cajina, Camacho, Baldi, & Aguiar, 2021) Estas nuevas ideas coinciden con el cambio mundial con el uso de métodos basados en mecánicas, que ayudan a mejorar el diseño del pavimento utilizando modelos informáticos y análisis de materiales detallados (Díaz, 2015).

El objetivo principal de esta investigación es medir las características físicas, mecánicas e hidráulicas relacionadas con la permeabilidad del pavimento flexible en el corredor vial San Juan-El Arenal.

1.2 Planteamiento del Problema

En la actualidad, se observa un deterioro evidente en el pavimento flexible del corredor vial San Juan – El Arenal, lo que plantea una serie de desafíos significativos.

La variabilidad de los eventos hidrológicos sumada a un sistema de drenaje vial afectado por el deterioro de las infraestructuras da lugar a posibles deficiencias del escurrimiento superficial.

Para conocer mejor esta problemática es importante establecer las posibles relaciones que se generan entre los parámetros hidráulicos con las propiedades físicas-mecánicas del camino.

Esto permite mejorar el conocimiento de estos datos para la actualización de la norma y diseño de las carreteras, fortaleciendo índices de seguridad y comodidad del usuario al momento de transitar por este corredor vial.

Por estos motivos se ha formulado la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo se relacionan las características físico-mecánicas en pavimentos flexibles en el corredor vial San Juan-El Arenal con el comportamiento de las características hidráulicas de esorrentía, saturación y tiempos de infiltración evaluadas en campo y laboratorio por medio de extracción de núcleos?

1.3 Justificación

La adecuada evaluación de las características físicas, mecánicas e hidráulicas de los pavimentos flexibles es fundamental para entender su comportamiento estructural y funcional a lo largo del tiempo. Estas propiedades influyen directamente en la capacidad del pavimento para resistir esfuerzos repetitivos, prevenir deformaciones, drenar el agua de manera eficiente y mantener condiciones seguras para los usuarios. Sin embargo, en muchos proyectos viales ecuatorianos, estas características no son estudiadas de manera integral o se emplean parámetros generales que no siempre representan las condiciones reales del sitio.

Esta investigación se justifica en la necesidad de contar con datos técnicos confiables y representativos del comportamiento de los pavimentos flexibles bajo condiciones locales, lo cual permitirá mejorar los criterios de diseño, construcción y rehabilitación. Al analizar de forma conjunta las propiedades físicas (como la granulometría y densidad de materiales), mecánicas (como la resistencia a la carga, módulo de elasticidad y fatiga), e hidráulicas (como la permeabilidad y capacidad de drenaje), se podrá establecer un diagnóstico técnico más preciso y proponer soluciones adaptadas al contexto ecuatoriano.

Además, el estudio contribuirá al desarrollo de conocimiento aplicado para ingenieros, contratistas y entidades públicas encargadas del mantenimiento vial, permitiendo optimizar recursos y prolongar la vida útil de las carreteras.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Evaluación de las principales condiciones físicas e hidráulicas de un tramo del pavimento flexible existente en el corredor vial San Juan-El Arenal por medio de extracción de núcleos.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Medir en laboratorio características física-mecánicas del pavimento flexible aplicando métodos extractivos.
- Establecer la relación de las características físico-mecánicas en pavimentos flexibles con el comportamiento hidráulico medido in situ.

2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 PAVIMENTO FLEXIBLE

2.1.1 Definición

De acuerdo con las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001F-2002 de Ecuador, el pavimento flexible es una estructura multicapa diseñada para distribuir las cargas del tránsito, compuesta típicamente por una capa de rodadura asfáltica superficial y capas inferiores de base y subbase granulares o estabilizadas que transmiten los esfuerzos a la subrasante. Su diseño considera parámetros de diseño y se caracteriza por su capacidad de deformación ante las cargas, diferenciándose así de los pavimentos rígidos (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador (MTOPE), 2002).

2.1.2 Aspectos generales sobre las capas granulares

Las capas que conforman un pavimento son esenciales para construir carreteras y otras áreas de la vía. Estas capas se forman con materiales granulares, como grava y arena, que ofrecen un soporte sólido y confiable. El trabajo principal de estas capas granulares es distribuir de manera uniforme las cargas generadas por los vehículos, evitando las deformaciones y hundimientos tempranos. Las condiciones de estas capas afectan directamente a la durabilidad, el drenaje y la capacidad de carga de la estructura vial. En los pavimentos flexibles, las capas de asfalto cumplen una función crucial que junto con las capas granulares, permiten que la estructura soporte cargas vehiculares (Reyes Lizcano & Rondón Quintana, 2007).

2.1.3 Capa de rodadura asfáltica

La capa superficial del pavimento flexible es una capa delgada de mayor resistencia en comparación con las otras capas más profundas. Está conformado de una mezcla bituminosa que envuelve los agregados pétreos, que ofrece durabilidad y resistencia al desgaste y al deslizamiento (Haung, 2004; Barraza Eléspuru, 2004).

2.1.4 Base

Esta capa está conformada por materiales granulares colocados sobre la subbase o directamente sobre la subrasante. En los pavimentos flexibles, la base se encarga de distribuir

las cargas del tráfico de manera efectiva hacia las capas inferiores (Reyes Lizcano & Rondón Quintana, 2015; Burgos Vasquéz, 2014).

2.1.4.1 Clasificación de bases en pavimentos flexibles

Según el MTOP (2002), se distinguen cuatro tipos de bases. Las clases 1, 2 y 3 que contienen 100%, 50% y 25% de material triturado respectivamente, y todas se producen en una planta centralizada. El material para la clase 4 se obtiene filtrando partículas de agregados. Los requerimientos granulométricos se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1 Requisitos granulométricos para bases granulares. (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador (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

2.1.5 Subbase

La subbase granular se ubica debajo de la base y sobre la subrasante, afirmado o elevada. Al igual que la base, consiste en sustancias rocosas menos costosas y su función es transferir las cargas del tráfico, manteniendo los niveles de presión que la subrasante pueda soportar (Reyes Lizcano & Rondón Quintana, 2015; Burgos Vasquéz, 2014).

2.1.5.1 Clasificación de subbases en pavimentos flexibles

El MTOP (2002) clasifica la subbase en tres tipos, diferenciados por el método de obtención del material. La clase 1 se obtiene por trituración de piedras y gravas; la clase 2, por cribado; y la clase 3 utiliza material de la excavación. Los requisitos granulométricos se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2 Requisitos granulométricos para subbases granulares. (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador (MTOPE), 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

2.2 PROPIEDADES FÍSICAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

2.2.1 Espesor

El espesor del pavimento flexible es un elemento importante que influye sus propiedades mecánicas. Un espesor adecuado es fundamental para distribuir las cargas del tráfico vehicular de manera que las tensiones transmitidas a capas inferiores, y finalmente a la subrasante, no excedan su capacidad, evitando fallas estructurales prematuras como el ahuellamiento excesivo o la fisuración por fatiga (Zhao, Xu, Li, Guan, & Xiao, 2023). El diseño del espesor considera varios factores, como la intensidad, composición vehicular, la fuerza y las propiedades mecánicas de los materiales para cada capa, las condiciones ambientales de la zona y lo más importante, la capacidad de soporte de la subrasante (Reyes Lizcano & Rondón Quintana, 2015).

2.2.2 Granulometría

La granulometría consiste en una distribución de tamaños de las partículas en las capas granulares del pavimento. Una granulometría correcta mejora el drenaje, previene inundaciones y optimiza la resistencia a las cargas vehiculares y condiciones ambientales, prolongando la vida útil del pavimento (Yang, y otros, 2022).

2.2.3 Límites de atterberg

Las características de plasticidad definen el comportamiento físico de los suelos ante la humedad (Casagrande, 1932). Los estados del suelo son: líquido (sin forma estable bajo esfuerzos), semilíquido (entre plástico y líquido), plástico (flexible sin fluid), semisólido (apariencia sólida, reduce volumen al secarse) y sólido (resistente a la deformación sin reducir volumen al secarse).

2.2.4 Peso específico y Absorción

Un peso específico adecuado, se consigue mediante la compactación durante la construcción, es vital tanto en las capas granulares como en la mezcla asfáltica. Esta se relaciona con un menor contenido de vacíos, lo que mejora la resistencia mecánica, la durabilidad, la resistencia a deformaciones y disminuye la permeabilidad del pavimento (Zambrano Mesa, Tejeda Piusseaut, & Alonso Aenlle, 2020; Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador (MTOPE), 2013).

Por otro lado, la absorción de agua se refiere a la capacidad de los agregados para retener agua en sus poros. Si los agregados tienen alta absorción, pueden necesitar más asfalto y ser más propensos a problemas de durabilidad debido al debilitamiento por el agua (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN INEN, 2010; Vinuesa Gallegos & Zurita Durán, 2022).

2.2.5 Clasificación de las capas

Existen varios tipos de sistemas de clasificación, sin embargo, existe una clasificación fundamental que es el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) (Santamarina & Narsilio, 2008).

2.2.5.1 Clasificación SUCS

El SUCS es el más usado en geotecnia. Propuesto por Arthur Casagrande en 1932, se basa en el análisis granulométrico y los límites de plasticidad (Santamarina & Narsilio, 2008).

2.2.6 Compactación de materiales granulares

Este proceso geotécnico mejora las características físicas del suelo llenando vacíos y aumentando la compacidad, garantizando la durabilidad y resistencia. La capacidad del suelo para resistir cargas depende de su densidad y contenido de humedad (Das, 2001).

2.2.7 Humedad óptima

Es el contenido de agua con el cual un material granular alcanza su máxima densidad y resistencia. Es crucial para la calidad y durabilidad del pavimento (Zhu, Xie, Ozbay, Zuo, & Yang, 2017).

2.2.8 Densidad

La densidad se logra mediante compactación. Al comprimir los agregados, se aumenta el contacto y la fricción entre partículas, mejorando la estabilidad, resistencia, la adherencia y capacidad de soporte del pavimento (Zambrano Mesa, Tejeda Piusseaut, & Alonso Aenlle, 2020).

2.2.9 Contenido de humedad en la capa asfáltica

Es la relación entre la masa de agua en los poros del suelo o roca y la masa sólida de partículas, expresada en porcentaje (American Society for Testing and Materials (ASTM), 2019).

2.2.10 Porcentaje de vacíos

El porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica compactada es el volumen de pequeños espacios llenos de aire entre las partículas de agregado recubiertas de asfalto, expresado como un porcentaje del volumen total de la mezcla. Este es un parámetro de diseño y control de calidad fundamental. Un porcentaje de vacíos dentro de los límites recomendados entre 3% y 8% para mezclas densas, dependiendo de la especificación y el uso, es esencial para el adecuado desempeño del pavimento. Si los vacíos son muy altos, el pavimento será más permeable, permitiendo la entrada de agua y aire que aceleran la oxidación del asfalto y pueden causar desprendimientos o daño por heladicidad (Pincay-Suárez & Alonso-Aenlle, 2022). Por otro lado, si los vacíos son demasiado bajos, la mezcla puede ser inestable y susceptible a la deformación permanente y exudación de asfalto, especialmente bajo altas temperaturas y cargas pesadas (Villamizar Quintero & Torres Benítez, 2013).

2.3 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

2.3.1 Abrasión

La abrasión es el fenómeno de desgaste superficial progresivo que sufre la capa de rodadura del pavimento. Este desgaste es consecuencia directa de la acción friccional y el impacto de los neumáticos de los vehículos, desgastando la presencia de erosiones y las condiciones climáticas (Plati & Cliatt, 2021). Una alta resistencia a la abrasión es una propiedad deseable ya que asegura que el pavimento mantenga su integridad estructural

superficial, su textura y sus características de seguridad a largo plazo, como la resistencia al deslizamiento (Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón, 2005).

2.3.2 Macro textura

La macro textura se refiere a las irregularidades o la rugosidad de la superficie del pavimento en una escala de longitud de onda que varía entre 0.5 mm y 50 mm, y está determinada principalmente por el tamaño, forma y distribución del agregado grueso en la mezcla del asfalto superficial (Adresi & Lacidogna, 2021). Una macro textura adecuada es crucial para la seguridad vial, ya que forma caminos que ayudan al drenaje rápido del agua que se acumula entre los neumáticos y el pavimento, especialmente a velocidades elevadas mejorando significativamente la fricción (Lin, y otros, 2023).

2.3.3 Resistencia de los núcleos

Los núcleos son invaluablemente informativos: permiten verificar los espesores reales de las capas construidas, evaluar la adherencia entre ellas y proporcionan material para realizar una batería de ensayos de laboratorio (Ahmad Alsheyab, Ali Khasawneh, Abualia, & Sawalha, 2024). Estos datos sirven para el control de calidad, el diagnóstico de fallas en pavimentos existentes para la toma de decisiones en proyectos de rehabilitación.

2.4 PROPIEDADES HIDRÁULICAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

2.4.1 Infiltración en el pavimento

La infiltración es el proceso por el cual el agua de lluvia penetra la superficie del pavimento tanto la capa asfáltica como las capas granulares es de suma importancia ya que, puede afectar negativamente la durabilidad, especialmente en climas lluviosos. La capacidad de infiltración depende del estado de conservación, diseño y material de la vía (Rebolledo, 2010).

2.4.2 Tasa de infiltración

En hidrología, es la rapidez con que el agua se infiltra en el suelo. Alcanza su máximo con la conductividad hidráulica del suelo saturado. En suelos saturados, la velocidad de infiltración es menor que en suelos secos (Linsley Jr., Kohler, & Paulus, 1977; Luis Erazo N. & Asociados Ltda., 1994; Chow Ven, 2000).

2.4.3 Coeficiente de escurrimiento

El escurrimiento es la circulación del agua sobre la superficie del suelo (Linsley Jr., Kohler, & Paulus, 1977). El índice de esorrentía es la proporción de agua de lluvia que se desplaza sobre las superficies generando escurrimiento.

3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.

3.1 Tipo de investigación

El enfoque de la investigación será cuantitativo, dado que se realizará ensayos in situ y de laboratorio de las muestras tomadas en campo, de las cuales se obtendrán datos numéricos que serán analizados para determinar las características físicas, mecánicas e hidráulicas del pavimento flexible.

3.2 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es de tipo exploratorio 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 los once kilómetros del tramo vial, que conecta los poblados de San Juan y El Arnal de la provincia de Chimborazo.

3.3.2 Muestra

En la vía seleccionada se obtuvo seis núcleos y la extracción de material granular correspondiente a las capas base y la subbase del tramo vial. La obtención de la muestra se llevó a cabo en áreas consideradas como las más accesibles y seguras.

3.3.3 Tipo de muestreo

Se ha implementado un muestreo sistemático estratificado, ya que se realizó perforaciones de manera sistemática a lo largo del tramo vial, con una separación

aproximada de dos kilómetros entre puntos, y estratificado para asegurar que el material analizado refleje uniformemente las características del tramo.

3.3.4 Tamaño de la muestra

A lo largo del tramo vial San Juan – El Arenal se tomaron seis muestras de la capa de rodadura y de las capas granulares, debido a la presencia de distintos tipos de suelo geológico. Se identificaron dos tipos principales de suelo y se recolectaron tres muestras de cada uno para su análisis.

3.3.5 Criterio de evaluación

A lo largo del carril de ida en el lado derecho de la vía San Juan – El Arenal, donde se registra mayor carga de tráfico, se tomaron muestras de la capa de rodadura y las capas granulares en seis puntos seleccionados con diferencia de 2 metros aproximadamente entre cada punto. Se eligieron zonas estratégicas donde el pavimento se encontraba en buen estado para obtener mejores resultados. Además, se implementaron estrategias de seguridad vial considerando el flujo de vehículos. Para respetar a las comunidades se realizaron campañas de sensibilización y se tomaron medidas para minimizar molestias, recolectando las muestras en áreas alejadas de las viviendas.

3.3.6 Diagrama metodológico

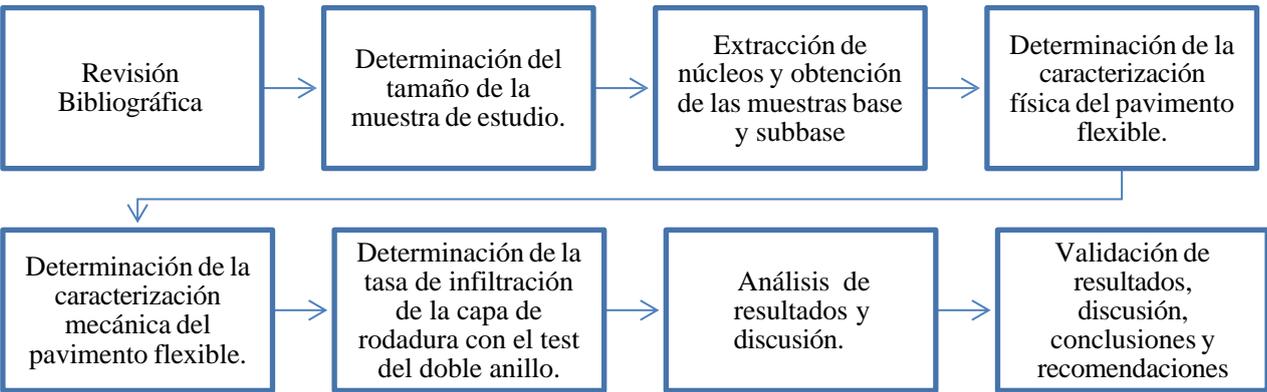


Ilustración 1 Diagrama metodológico.

3.3.7 Ubicación de las muestras

En la siguiente ilustración se indican las respectivas localizaciones correspondientes a las perforaciones de las muestras.

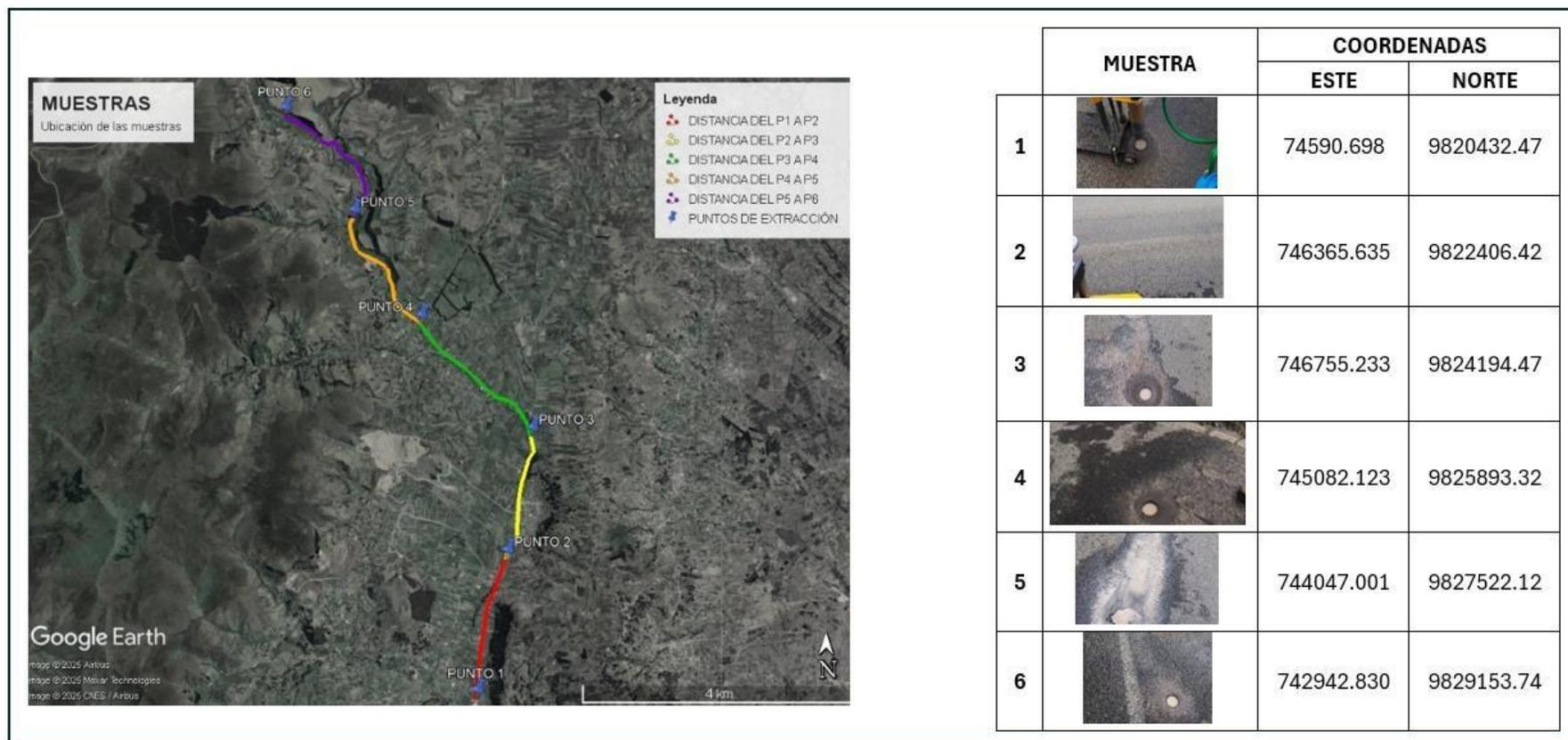


Ilustración 2 Puntos de muestreo.

3.4 Procedimiento

3.4.1 Ensayos de Laboratorio

3.4.1.1 Ensayo de tamizaje

La muestra para ensayo del material pesada y seca se separa, en diferentes fracciones de tamaño de partícula, por medio de una serie de tamices de luz progresivamente decreciente. El método se utiliza principalmente para determinar la granulometría de los materiales empleados como áridos y la conformidad de esta con los requisitos de la especificación correspondiente, así como para proporcionar los datos necesarios en el control de producción de aquéllos. Para el análisis granulométrico de los áridos extraídos de mezclas bituminosas, se seguirá el método descrito en la norma NLT-165 (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), 1989).

3.4.1.2 Límites de Atterberg

La caracterización de la plasticidad de un suelo se basa en entender las cantidades específicas de humedad que provocan la transición del suelo entre diferentes estados. Estos puntos de cambio se conocen como límites. Para la determinación de los límites líquido y plástico del suelo, se siguieron las normativas NTE INEN 0691 (1982a) y NTE INEN 0692 (1982b), respectivamente. Este ensayo determina el límite líquido, límite plástico, y el índice de plasticidad de los suelos (Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), 1982a; Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), 1982b).

3.4.1.3 Densidades de agregados finos

Este análisis se realiza para calcular la densidad y la capacidad de absorción de materiales granulares, tanto finos como gruesos. Para los agregados finos, se emplea la norma INEN 856 (2010a), mientras que para los agregados gruesos se utiliza la norma INEN 857 (2010b). Este ensayo se aplicó exclusivamente a la capa de base, ya que esta es la capa del pavimento más vulnerable a la presencia de agua por infiltración, especialmente en pavimentos deteriorados (Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), 2010a; Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), 2010b).

3.4.1.4 Abrasión

Este ensayo determina la pérdida de masa de los agregados minerales con gradación normalizada, resultante de una combinación de acciones que incluyen la abrasión o desgaste, el impacto y la molienda en un tambor giratorio de acero que contiene un número especificado de esferas de acero, cuyo número depende de la gradación de la muestra de ensayo (Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), 2011).

3.4.1.5 Proctor Estándar

El ensayo Proctor normal, descrito en la norma ASTM D698, es un procedimiento estandarizado utilizado en geotecnia para determinar la relación entre el contenido de humedad y la densidad seca máxima de un suelo compactado. Este ensayo permite establecer la humedad óptima a la cual un suelo alcanza su máxima densidad bajo un esfuerzo de compactación controlado, lo que resulta fundamental para evaluar la capacidad de soporte y estabilidad del suelo en proyectos de construcción como carreteras, terraplenes o cimientos (American Society of Testing Materials (ASTM), 2021).

El procedimiento consiste en compactar una muestra de suelo en un molde cilíndrico de dimensiones específicas, aplicando una energía de compactación estándar mediante un pisón de 2.5 kg que cae desde una altura de 30 cm, distribuyendo la compactación en tres capas con 25 golpes cada una. Se realizan varias pruebas variando el contenido de humedad del suelo, lo que permite obtener una curva de compactación. A partir de esta curva, se identifica la densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo, parámetros clave para definir las condiciones ideales de compactación en campo (American Society of Testing Materials (ASTM), 2021).

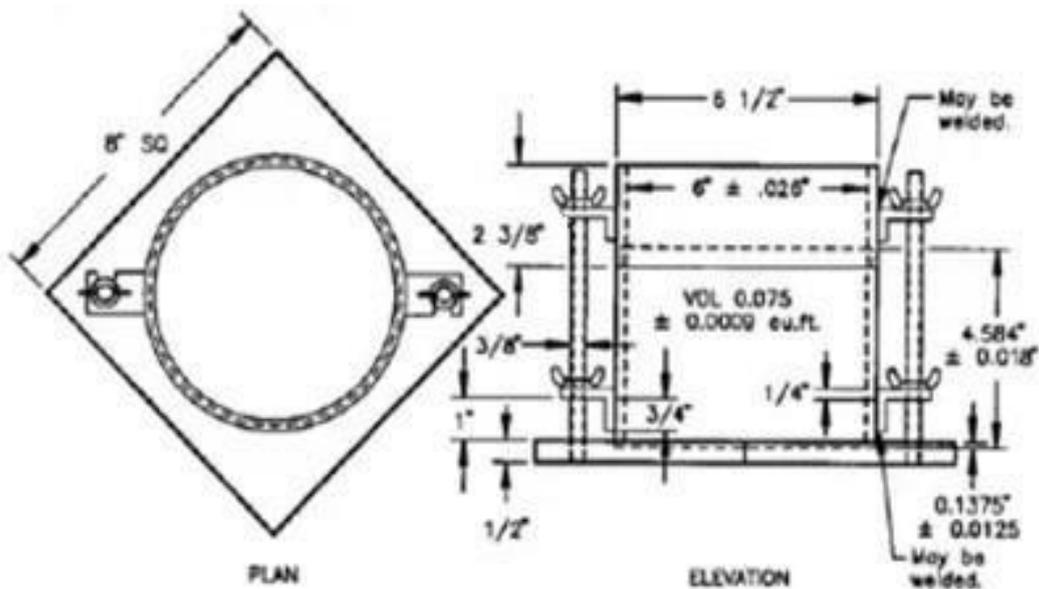


Ilustración 3 Procedimiento Proctor estándar. (American Society of Testing Materials (ASTM), 2021).

La norma ASTM D698 establece tres métodos (A, B y C) según el tipo de suelo y el tamaño del molde utilizado, siendo el método A el más común para suelos con menos del 20% de material retenido en el tamiz No. 4. Este ensayo es ampliamente utilizado debido a su simplicidad y fiabilidad para garantizar que los suelos compactados cumplan con los requisitos de diseño geotécnico, optimizando la resistencia y minimizando asentamientos (American Society of Testing Materials (ASTM), 2021).

3.4.1.6 Porcentaje de vacíos en briquetas

El ensayo para determinar el porcentaje de vacíos en mezclas asfálticas compactadas, descrito en las normas AASHTO T269 y ASTM D3203/D3203M-17, permite evaluar el contenido de aire en pavimentos asfálticos, un parámetro crítico para determinar su durabilidad, resistencia a la deformación y susceptibilidad a la humedad. El porcentaje de vacíos afecta directamente el desempeño del pavimento, ya que un contenido de aire inadecuado puede reducir la vida útil del material o comprometer su capacidad para soportar cargas de tráfico (American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), s.f.; American Society of Testing Materials (ASTM), 2017).

Procedimiento del ensayo

1. **Obtención de muestras:** Extraer núcleos cilíndricos del pavimento asfáltico compactado o preparar especímenes en laboratorio mediante compactación.

2. **Determinación de la densidad aparente:** Pesar las muestras en seco y en agua para calcular la densidad aparente. Esto implica medir el peso seco, el peso sumergido y, en algunos casos, el peso saturado en superficie seca para determinar el volumen de la muestra.
3. **Determinación de la densidad máxima teórica:** Calcular o medir la densidad máxima teórica de la mezcla asfáltica, que representa la densidad sin vacíos de aire. Esto puede hacerse con una muestra suelta de la mezcla.



Ilustración 4 Equipo para el ensayo de porcentaje de vacíos. Fuente propia.

4. **Cálculo del porcentaje de vacíos:** Utilizar la fórmula: $\% \text{ Vacíos} = [(Densidad \text{ máxima teórica} - Densidad \text{ aparente}) / Densidad \text{ máxima teórica}] \times 100$. Este cálculo proporciona el porcentaje de aire atrapado en la mezcla compactada.

Este procedimiento permite evaluar si el pavimento asfáltico cumple con las especificaciones de diseño, ya que un porcentaje de vacíos óptimo (generalmente entre 3% y 5% para mezclas densas) asegura un equilibrio entre resistencia y flexibilidad.

3.4.2 Ensayos in situ

3.4.2.1 Extracción de núcleos

La norma ASTM D5361/D5361M-16 establece los procedimientos estandarizados para la obtención y manejo de núcleos cilíndricos de mezclas asfálticas compactadas, con el propósito de evaluar propiedades como el espesor, la densidad, el contenido de asfalto, la gradación de agregados o la estabilidad de pavimentos flexibles. Este método es crucial para verificar la calidad de la construcción de pavimentos asfálticos en aplicaciones como carreteras, estacionamientos o pistas, asegurando que cumplan con las especificaciones de diseño y resistan las cargas de tráfico y las condiciones ambientales (American Society of Testing Materials (ASTM), 2022).

Procedimiento para la extracción y manejo de núcleos de pavimentos asfálticos

1. **Perforación de núcleos:** Utilizar un equipo de perforación con broca diamantada refrigerada por agua para extraer núcleos cilíndricos del pavimento asfáltico. La perforación debe realizarse perpendicularmente a la superficie para obtener muestras representativas de las capas compactadas, minimizando daños al material.



Ilustración 5 Extracción de la muestra. Fuente propia.

2. **Extracción de las muestras:** Retirar los núcleos cuidadosamente con herramientas adecuadas, como extractores manuales o mecánicos, para evitar fracturas o alteraciones en la estructura de la mezcla asfáltica. Se debe garantizar que los núcleos mantengan su integridad durante el proceso.
3. **Etiquetado y almacenamiento:** Identificar cada núcleo inmediatamente después de su extracción con un número o código que indique la ubicación y el orden de recolección. Las muestras deben almacenarse en bolsas plásticas selladas o contenedores protectores para prevenir la pérdida de humedad, la contaminación o daños durante el transporte al laboratorio.
4. **Preparación para ensayos:** En el laboratorio, inspeccionar visualmente los núcleos para verificar su integridad y medir dimensiones como el diámetro y el espesor y se podrá realizar los ensayos pertinentes según los requisitos del proyecto.

3.4.2.2 Macrotextura

El ensayo de cono de arena, descrito en la norma ASTM E965-15 y la norma colombiana INV E-791, es un método volumétrico utilizado para medir la profundidad media de la macrotextura de pavimentos asfálticos. Este ensayo evalúa la rugosidad superficial del pavimento, un parámetro crítico para determinar su capacidad de drenaje y resistencia al deslizamiento, especialmente en condiciones húmedas. La macrotextura, que

depende de la disposición y tamaño de los agregados en la superficie, influye directamente en la seguridad vial y el desempeño del pavimento bajo cargas de tráfico (American Society of Testing Materials (ASTM), 2024; Instituto Nacional de Vías (INV), 2013).

Procedimiento del ensayo

- 1. Preparación del sitio:** Seleccionar una zona representativa del pavimento, limpia y seca, libre de escombros o contaminantes. Delimitar un área circular donde se realizará la prueba, asegurando que sea plana y uniforme.
- 2. Aplicación del material volumétrico:** Esparcir una cantidad conocida de material granular fino (generalmente arena de sílice o perlas de vidrio calibradas) sobre la superficie del pavimento, utilizando un cono de dispersión. El material se distribuye formando un círculo hasta llenar los espacios de la macrotextura.

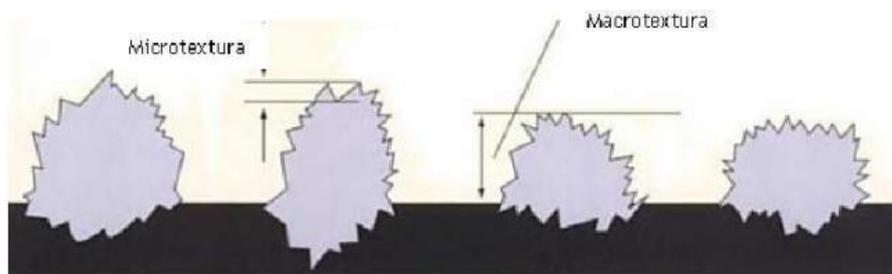


Ilustración 6 Ensayo de macrotextura. (Alberto Delgado & Lemus Porras, 2012).

- 3. Medición del área:** Medir el diámetro del círculo formado por el material esparcido para calcular el área cubierta. Esto se realiza con una regla o cinta métrica, tomando al menos dos diámetros perpendiculares para mayor precisión.
- 4. Cálculo de la profundidad media de textura (PMT):** Determinar el volumen del material utilizado y dividir entre el área del círculo para calcular la profundidad media de la macrotextura, expresada en milímetros, según la fórmula: $PMT = V / A$, donde V es el volumen del material y A es el área del círculo.

3.4.2.3 Infiltración y Escorrimento - Infiltrómetro de Doble Anillo

El método del infiltrómetro de doble anillo, descrito en la norma ASTM D3385-18, es un procedimiento estandarizado para medir la tasa de infiltración de agua en el suelo en condiciones de campo. Este ensayo utiliza dos cilindros concéntricos abiertos que se insertan en el suelo, los cuales se llenan parcialmente con agua u otro líquido. El nivel de líquido se mantiene constante, y la cantidad de agua añadida al anillo interno para mantener dicho nivel se registra como el volumen que infiltra el suelo, proporcionando una medida directa de la capacidad de infiltración del suelo (American Society of Testing Materials (ASTM), 2018).

El procedimiento para la instalación del infiltrómetro de doble anillo, según la norma ASTM D3385-18, requiere el uso de dos cilindros concéntricos con dimensiones específicas: el cilindro interno tiene un diámetro de 250 mm, mientras que el cilindro externo tiene un diámetro de 450 mm, ambos con una altura de 600 mm. Estos cilindros están fabricados en acero galvanizado de 1.5 mm de espesor, con un peso total combinado de 22.5 kg.

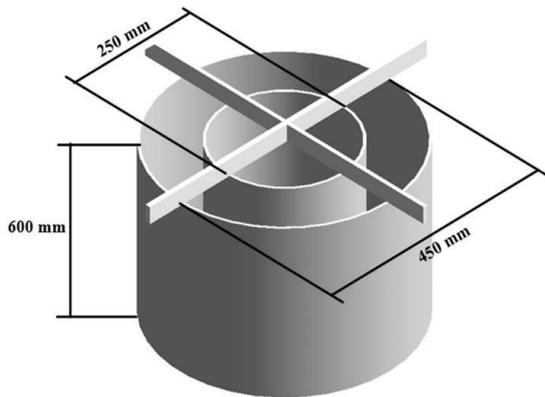


Ilustración 7 Dimensiones del infiltrómetro de doble anillo.

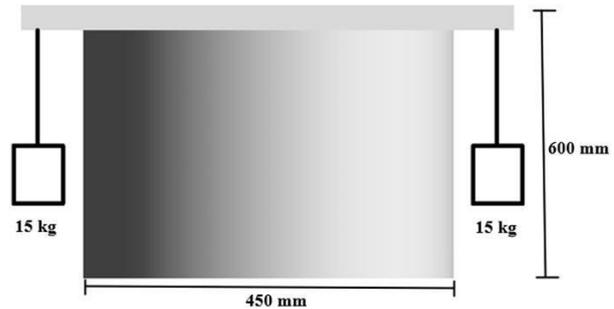


Ilustración 8 Vista lateral infiltrómetro.

En la base de ambos cilindros se instala un sello de caucho con alma metálica, similar al utilizado para sellar contenedores, debido a su capacidad para adaptarse al borde del cilindro. Este sello asegura un contacto hermético con el pavimento. Para fijar los cilindros al suelo, se colocan en la superficie del pavimento y se añaden pesos de 15 kg en cada una de las cuatro esquinas del marco de soporte, sumando un total de 60 kg, con el propósito de prevenir filtraciones de agua por los bordes.



Ilustración 9 Burlite con alma metálica.



Ilustración 10 Vista inferior de los cilindros con el caucho.

Para reforzar el sellado y evitar fugas entre el pavimento y el caucho, así como en la unión de los extremos del caucho, se aplica un adhesivo sellador multiusos mediante una pistola metálica para cartuchos de silicona. La silicona se distribuye cuidadosamente a lo largo de los contornos inferiores de los cilindros. Es fundamental que la superficie del pavimento esté completamente seca antes de aplicar el sellador para garantizar una adhesión adecuada y evitar problemas durante el ensayo.



Ilustración 11 Colocación del adhesivo sellador.

4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1 PROPIEDADES FÍSICAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

4.1.1 Espesor

Al extraer los seis núcleos de los puntos planteados se obtuvo los espesores de las probetas tomando en cuenta que, al ser una forma cilíndrica se toma tres mediciones y se calculó el promedio de los datos obtenidos, en la siguiente tabla se muestra los valores obtenidos:

Tabla 3 Espesores de los núcleos

PUNTOS	ESPEORES [mm]			PROMEDIO	EVIDENCIA
	1	2	3		
1A	23.1	24.7	24.1	23.97	
1B	28.0	29.1	28.9	28.67	
2	35.6	26.0	33.2	31.60	
3	24.5	24.1	25.2	24.60	
4	24.8	25.3	25.6	25.23	
5	34.1	36.3	35.3	35.23	
6	25.3	24.6	27.9	25.93	

Los espesores obtenidos se observan que es de 2.4 a 3.5 cm de espesor siendo este muy bajos dado la importancia de la vía, ya que la norma MTOP-001F-2002 sugiere que, si bien 5 cm puede ser un espesor base para capas de rodadura de hormigón asfáltico convencional, al ser una vía considerado tráfico pesado se requieran espesores mayores, que podrían alcanzar los 7.5 cm, 10 cm o incluso 12.5 cm. El espesor definitivo dependerá siempre del diseño específico del pavimento, el cual debe estar fundamentado en estudios detallados de TPDA, las características de las diferentes capas granulares y su principal función de la vía (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador (MTOP), 2002).

4.1.2 Distribución de granos

En las tablas 4 y 5 se muestran los porcentajes de material que pasan y retiene por cada tamiz, la clase de material y el análisis de cara fracturadas de la base y subbase del pavimento flexible respectivamente:

Tabla 4. Resumen ensayo granulometría - Bases

Tamiz	Abertura en [mm]	MUESTRAS						Denominación
		Porcentaje del pasante [%]						
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	
1"1/2"	38.100	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	GRAVA GRUESA
1"	25.000	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
3/4"	19.000	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
1/2"	12.500	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	GRAVA FINA
3/8"	9.500	85.26	86.73	78.10	80.42	73.72	75.32	
No. 4	4.750	70.81	76.48	61.96	68.33	62.44	57.04	ARENA GRUESA
No.10	2.000	52.86	51.96	43.69	50.55	50.86	35.36	
No.40	0.425	19.86	20.90	16.55	15.88	28.90	7.79	ARENA FINA
No.100	0.150	4.81	5.83	3.83	4.80	5.64	2.20	
No.200	0.075	1.71	1.81	1.41	1.20	1.01	0.90	LIMOS
Coef. de Uniformidad (CU)		13.13	13.27	17.42	12.95	21.72	11.04	
Coef. de Curvatura (CC)		0.77	0.84	0.78	0.82	0.29	0.86	

Tabla 5. Resumen ensayo granulometría - Subbases

Tamiz	Abertura en [mm]	MUESTRAS						Denominación
		Porcentaje del pasante [%]						
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	
1"1/2"	38.100	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	GRAVA GRUESA
1"	25.000	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
3/4"	19.000	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
1/2"	12.500	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	GRAVA FINA
3/8"	9.500	85.21	91.51	76.23	80.30	69.61	58.44	
No. 4	4.750	73.84	82.22	61.05	62.40	53.96	44.46	ARENA GRUESA
No.10	2.000	59.26	66.93	42.01	40.00	41.32	27.37	
No.40	0.425	28.97	35.56	17.06	9.40	20.66	6.69	ARENA FINA
No.100	0.150	5.84	12.79	3.94	2.60	5.11	2.10	
No.200	0.075	1.71	5.10	1.28	0.90	1.40	0.90	LIMOS
Coef. de Uniformidad (CU)		11.55	12.17	18.67	9.88	29.83	17.63	
Coef. de Curvatura (CC)		0.53	0.66	0.82	0.77	0.57	1.00	

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

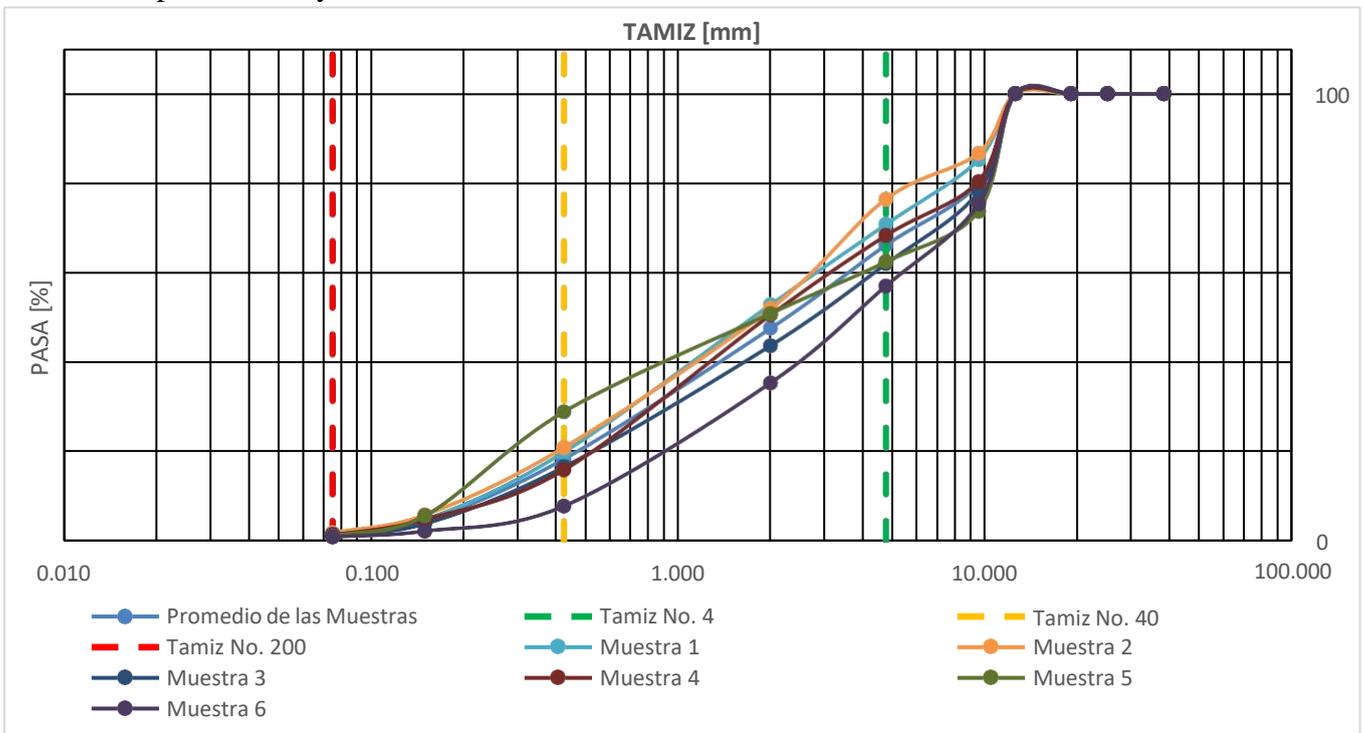


Ilustración 12. Gráfica Granulométrica – Base

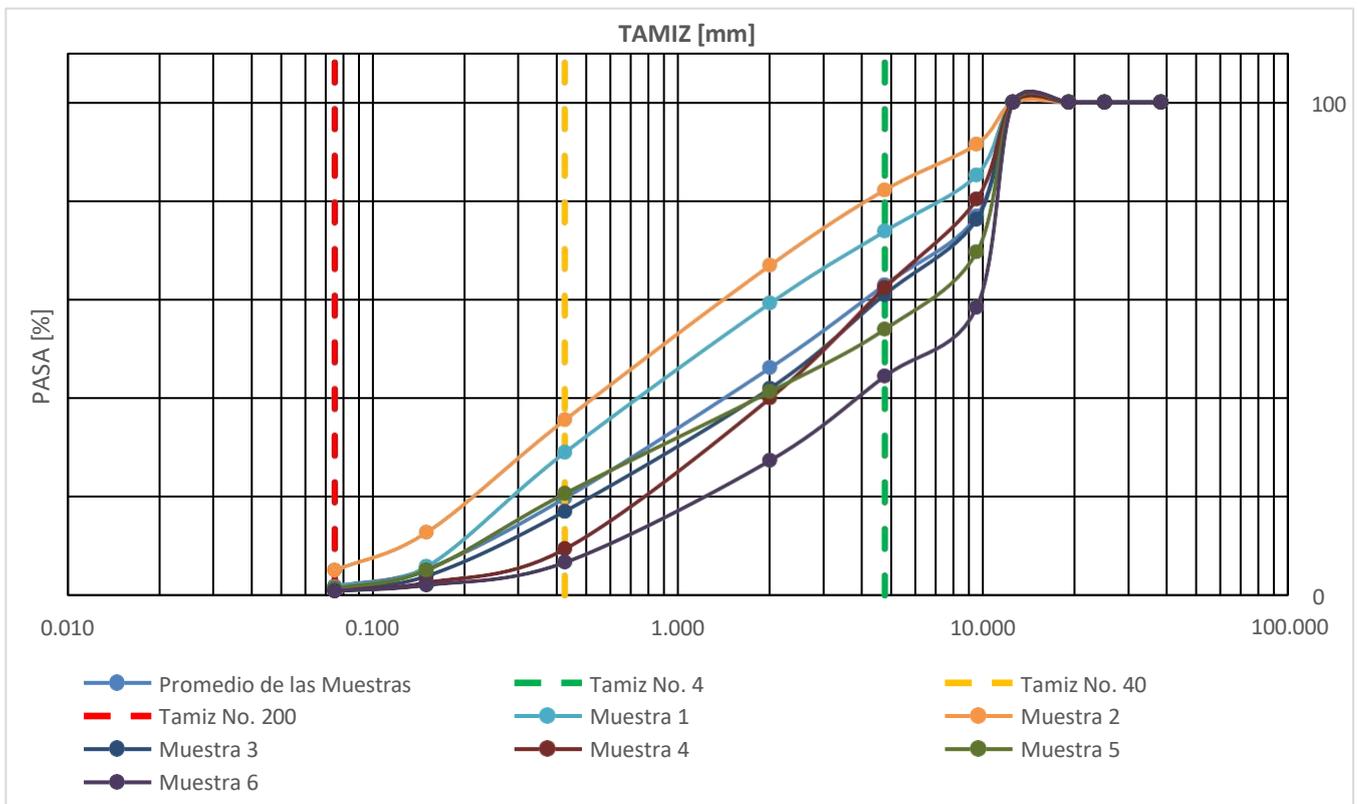


Ilustración 13. Curva Granulométrica – Subbase

Las Ilustraciones 12 y 13 presentan las curvas granulométricas de la base y subbase, correspondientes a las seis muestras seleccionadas en el corredor vial San Juan – El Arenal. El análisis granulométrico indica la ausencia de gravas gruesas, ya que el 100% del material atraviesa los tamices de mayor abertura. Adicionalmente, se determinó que, en promedio, el 50% de la muestra pasa el tamiz N° 10, lo que confirma una alta proporción de arena gruesa. Se promediaron las curvas individuales para obtener una granulometría representativa del tramo en estudio.

En la ilustración 13 que se trata de las subbases de las muestras de esta investigación se puede observar algo casi similar a la ilustración 1 ya que no se encontró arenas gruesas al pasar el 100% por los tamices grandes. Pero en la muestra 2 se observa que existe un porcentaje un poco más elevado de arena fina a comparación de las otras muestras que pasa el tamiz N°200 un 5.09% y las demás tiene un valor entre 0.90% y 1.88%.

Los resultados granulométricos confirman que la estructura del pavimento carece de gravas gruesas. La composición del material granular consiste en gravas finas, arenas gruesas y arenas finas, presentes en las capas de base y subbase de todos los puntos analizados.

4.1.3 Clasificación SUCS, plasticidad y liquidez

Tabla 6 Resultados de los límites de Atterberg.

RESUMEN LÍMITES DE ATTERBERG [%]						
Número de Muestra	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Presencia de Plasticidad	Clasificación de Finos	
BASE	1	21.29%	-	-	NP	SP
	2	17.26%	-	-	NP	SP
	3	19.85%	-	-	NP	SP
	4	8.02%	-	-	NP	SP
	5	16.59%	-	-	NP	SP
	6	21.37%	-	-	NP	SP
	Promedio	17.40%	-	-	NP	SP
SUBBASE	1	23.77%	-	-	NP	SP
	2	5.85%	-	-	NP	SW
	3	25.87%	-	-	NP	SP
	4	24.19%	-	-	NP	SP
	5	24.78%	-	-	NP	SP
	6	3.70%	-	-	NP	SW
	Promedio	18.03%	-	-	NP	SP

La tabla 6 muestra los resultados de los límites de Atterberg, se observa que únicamente existe la presencia de límite líquido provocando menos resistencia. No se pudo obtener datos del límite plástico ya que al realizar el ensayo plástico se obtuvo valores nulos, caracterizando a la base y subbase granular como un material no plástico (NP).

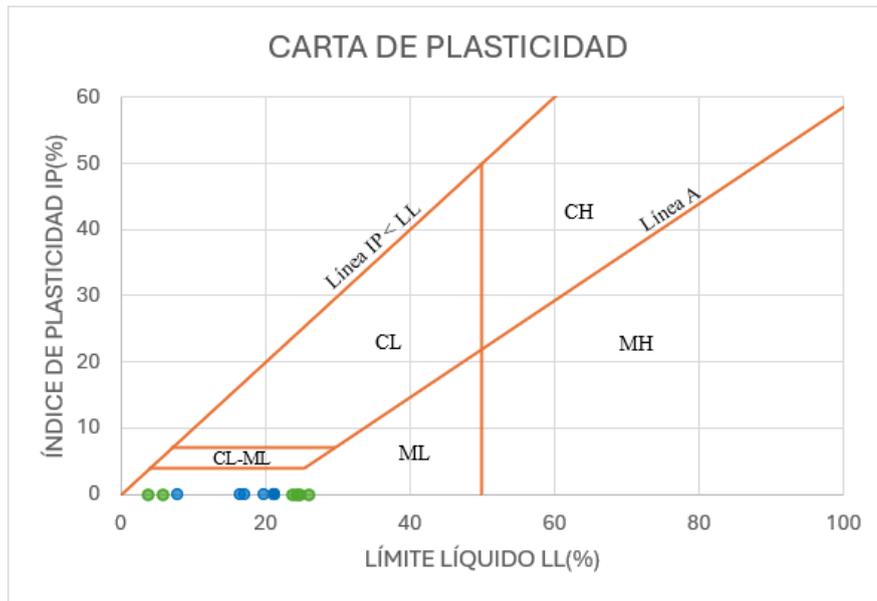


Ilustración 14 Representación de los puntos obtenidos en la Carta de Plasticidad.

En la ilustración 14 se puede visualizar la carta de plasticidad y se representó todos los valores obtenidos del ensayo, siendo los puntos de color azul los valores de la base y los puntos de color verde los valores de la subbase, donde se puede observar que todos los datos obtenidos se caracterizan que son limos con baja plasticidad (ML).

4.1.4 Peso específico y absorción de los agregados

Tabla 7 Resultado de pesos específicos de la muestra 1 a la muestra 3.

BASE				SUB BASE				
Densidades Relativas				Densidades Relativas				
MUESTRA 1	Gravedad específica seca al horno	SGSH	2.454	-	Gravedad específica seca al horno	SGSH	2.415	-
	Gravedad específica saturada superficialmente seca	SGSSS	2.577	-	Gravedad específica saturada superficialmente seca	SGSSS	2.591	-
	Gravedad específica aparente	SGA	2.800	-	Gravedad específica aparente	SGA	2.931	-
Absorción				Absorción				
	Porcentaje de absorción del material	Abs	5.042	%	Porcentaje de absorción del material	Abs	7.296	%
Densidades Relativas				Densidades Relativas				
MUESTRA 2	Gravedad específica seca al horno	SGSH	2.312	-	Gravedad específica seca al horno	SGSH	2.337	-
	Gravedad específica saturada superficialmente seca	SGSSS	2.513	-	Gravedad específica saturada superficialmente seca	SGSSS	2.513	-
	Gravedad específica aparente	SGA	2.893	-	Gravedad específica aparente	SGA	2.835	-
Absorción				Absorción				
	Porcentaje de absorción del material	Abs	8.696	%	Porcentaje de absorción del material	Abs	7.527	%
Densidades Relativas				Densidades Relativas				
MUESTRA 3	Gravedad específica seca al horno	SGSH	2.374	-	Gravedad específica seca al horno	SGSH	2.176	-
	Gravedad específica saturada superficialmente seca	SGSSS	2.564	-	Gravedad específica saturada superficialmente seca	SGSSS	2.381	-
	Gravedad específica aparente	SGA	2.930	-	Gravedad específica aparente	SGA	2.737	-
Absorción				Absorción				
	Porcentaje de absorción del material	Abs	7.991	%	Porcentaje de absorción del material	Abs	9.409	%

Tabla 8 Resultado de pesos específicos de la muestra 4 a la muestra 6.

BASE				SUB BASE					
Densidades Relativas				Densidades Relativas					
MUESTRA 4	Gravedad específica seca al horno	SGSH	2.313	-	Gravedad específica seca al horno	SGSH	2.288	-	
	Gravedad específica saturada superficialmente seca	SGSSS	2.404	-	Gravedad específica saturada superficialmente seca	SGSSS	2.525	-	
	Gravedad específica aparente	SGA	2.545	-	Gravedad específica aparente	SGA	3.000	-	
Absorción				Absorción					
Porcentaje de absorción del material		Abs	3.950	%	Porcentaje de absorción del material		Abs	10.375	%
Densidades Relativas				Densidades Relativas					
MUESTRA 5	Gravedad específica seca al horno	SGSH	2.578	-	Gravedad específica seca al horno	SGSH	2.390	-	
	Gravedad específica saturada superficialmente seca	SGSSS	2.703	-	Gravedad específica saturada superficialmente seca	SGSSS	2.564	-	
	Gravedad específica aparente	SGA	2.944	-	Gravedad específica aparente	SGA	2.894	-	
Absorción				Absorción					
Porcentaje de absorción del material		Abs	4.822	%	Porcentaje de absorción del material		Abs	7.296	%
Densidades Relativas				Densidades Relativas					
MUESTRA 6	Gravedad específica seca al horno	SGSH	2.749	-	Gravedad específica seca al horno	SGSH	2.403	-	
	Gravedad específica saturada superficialmente seca	SGSSS	2.857	-	Gravedad específica saturada superficialmente seca	SGSSS	2.551	-	
	Gravedad específica aparente	SGA	3.083	-	Gravedad específica aparente	SGA	2.820	-	
Absorción				Absorción					
Porcentaje de absorción del material		Abs	3.950	%	Porcentaje de absorción del material		Abs	6.157	%

La Tablas 7 y 8 muestran los valores de densidad y absorción del agregado fino, la densidad saturada superficialmente seca es claramente mayor que la densidad seca en horno, ya que las partículas absorben agua, lo que aumenta su peso y, por lo tanto, su densidad. Se puede inferir que, en épocas de precipitación, cierto porcentaje del agua total infiltrada es absorbido por el material granular.

Según (HOLCIM S.A, 2022) una base clase 2 absorbe 4.1% y tiene una densidad SSS de 2528 kg/m³. Los valores presentados están cerca de estos parámetros.

4.1.5 Densidades Proctor

En el ensayo Proctor Estándar se muestran las curvas de compactación del pavimento flexible en los puntos de estudio obteniendo las 6 muestras de las 2 capas granulares que estos conforman.

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

Tabla 9. Resultados del ensayo Proctor Estándar
Densidad Máxima Seca y Humedad Óptima

Características	Estrato	Muestras					
		1	2	3	4	5	6
Humedad Óptima [%]	Base	5.827	6.000	10.036	9.548	12.326	6.778
Densidad Óptima Seca [T/m ³]		1.844	1.859	1.778	1.826	1.935	1.803
Humedad Óptima [%]	Subbase	12.265	6.877	4.070	2.929	8.778	20.167
Densidad Óptima Seca [T/m ³]		1.822	1.813	1.834	1.900	1.998	1.848

Se presenta las gráficas de cada muestra para ver su comportamiento en compactación que esta presenta.

Tabla 10. Gráficas de resultados de la densidad máxima y humedad óptima - Base

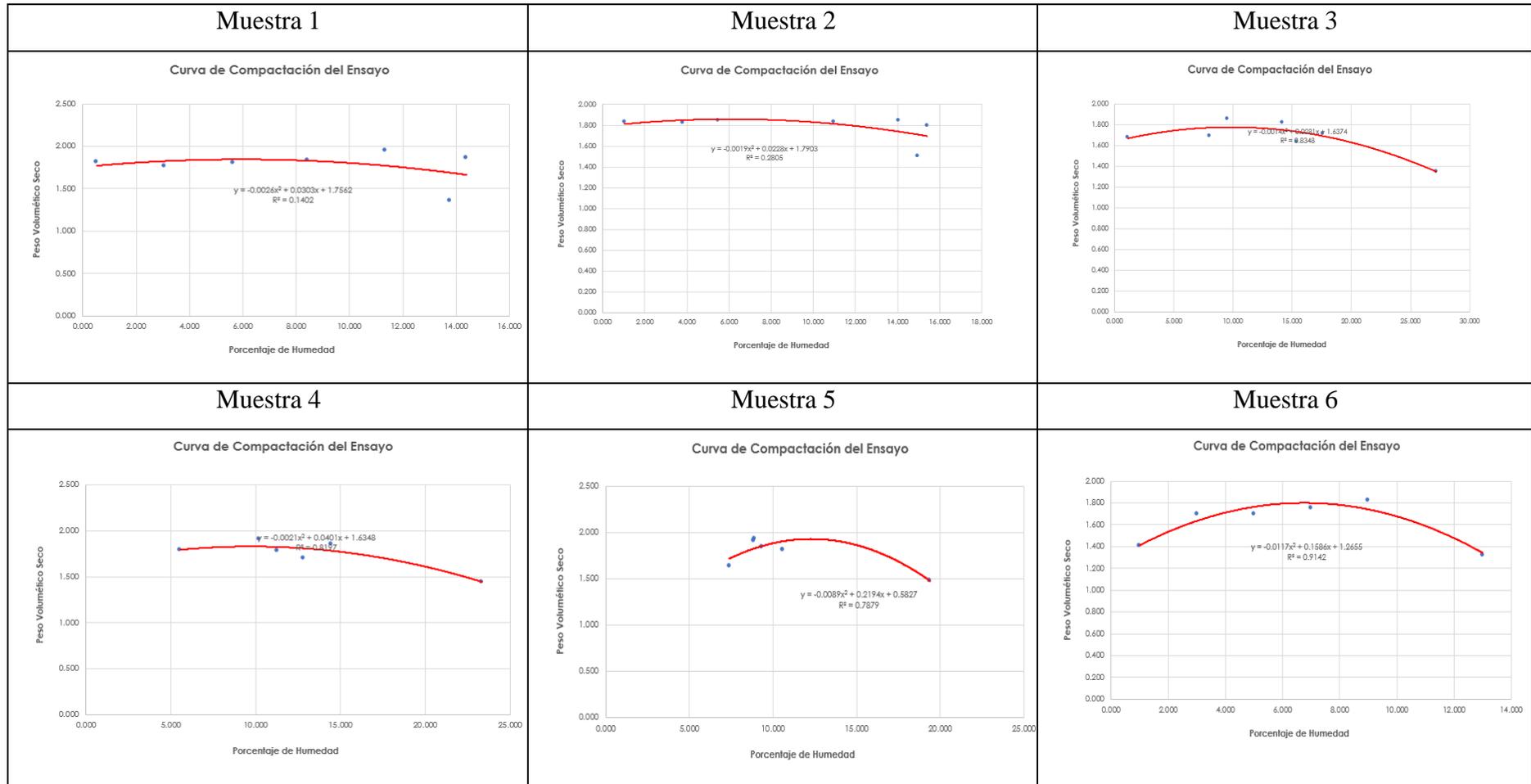
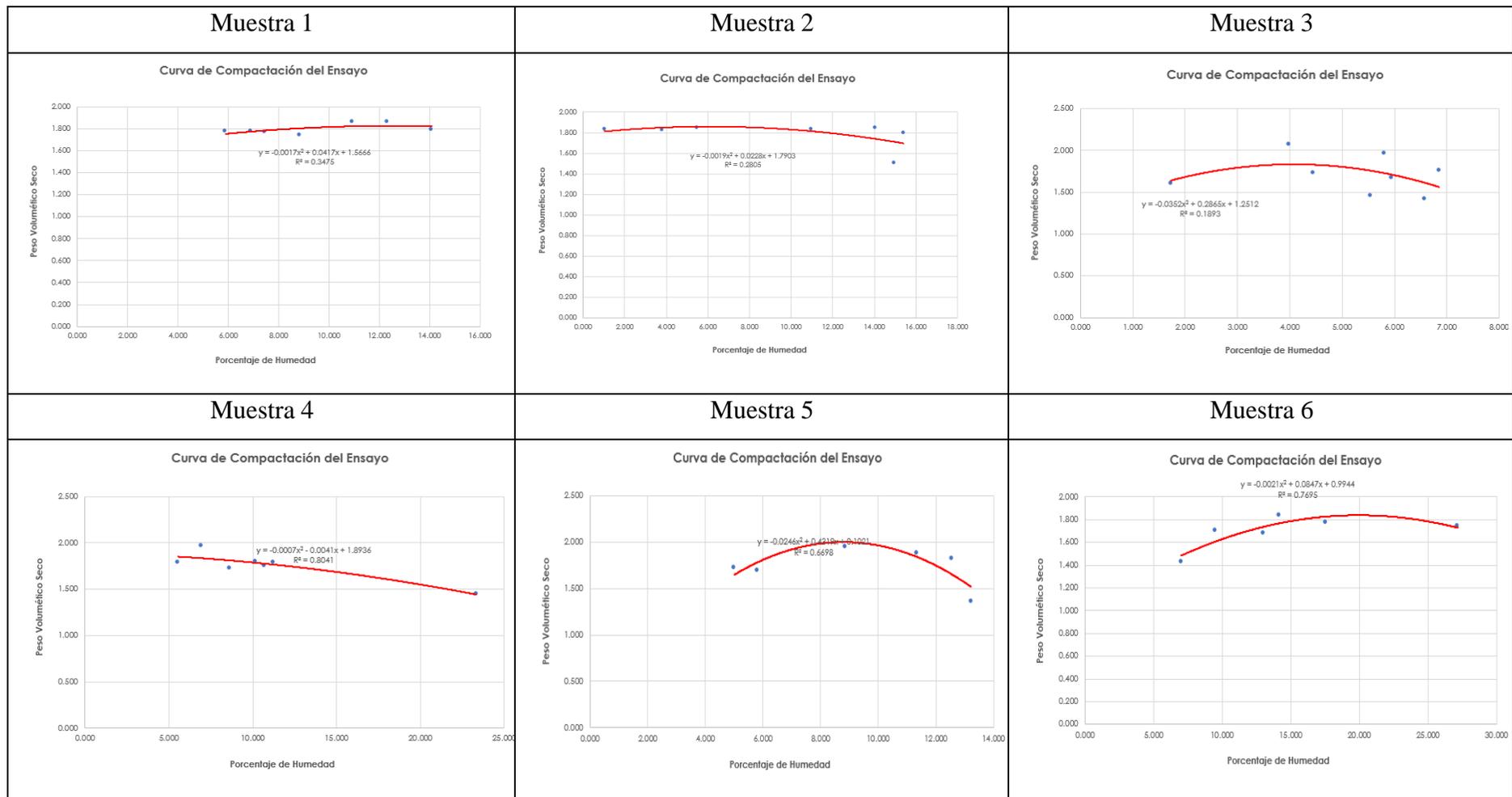


Tabla 11. Gráficas de resultados de la densidad máxima y humedad óptima - Subbase



4.2 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

4.2.1 Ensayo en núcleos

Se extrajeron núcleos asfálticos para determinar sus propiedades mediante el ensayo de compresión Marshall en laboratorio. Se ensayaron un total de siete especímenes: seis correspondientes a los puntos de muestreo y uno adicional para corroborar los resultados del primer punto. El objetivo del ensayo fue definir la relación entre la estabilidad (compresión) y la fluencia de la mezcla asfáltica. La Ilustración 15 contiene las gráficas de estabilidad vs. deformación para cada núcleo ensayado.

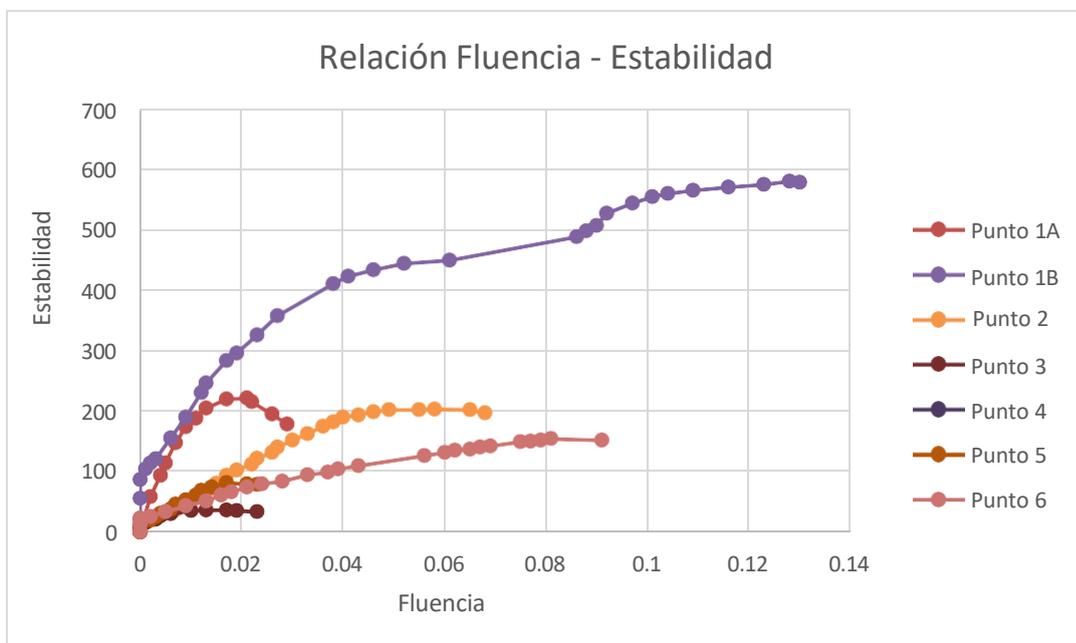


Ilustración 15. Relación Estabilidad - Fluencia

Los núcleos extraídos se utilizaron para determinar el porcentaje de vacíos de aire en la mezcla asfáltica, una propiedad física fundamental que influye en su comportamiento mecánico. Para este cálculo, fue necesario determinar la Densidad Máxima Teórica (método Rice) y la Densidad Aparente (método Bulk) de cada muestra. La Tabla 12 y 13 resume los valores de densidad y el porcentaje de vacíos obtenidos para cada núcleo.

Tabla 12. Densidad Aparente (Bulk)

Probeta	Masa (kg)	Masa aparente sumergida (kg)	Densidad del agua (kg/m ³)	Volumen (cm ³)	Densidad Aparente (g/cm ³)
Núcleo 1A	0.278	0.1655	997.5	112.8	2.464
Núcleo 1B	0.287	0.1814	997.5	105.9	2.711
Núcleo 2	0.295	0.1769	997.5	118.4	2.492
Núcleo 3	0.284	0.1759	997.5	108.4	2.620
Núcleo 4	0.215	0.1236	997.5	91.6	2.347
Núcleo 5	0.329	0.1893	997.5	140.1	2.349
Núcleo 6	0.237	0.1363	997.5	100.9	2.348

Tabla 13. Vacíos en los núcleos

Probeta	Masa Seca A (g)	Masa de recipiente y agua F (g)	Masa con Agua y recipiente G (g)	Densidad RICE	Densidad Bulk	% Vacíos
Núcleo 1A	278	8038	8208	2.57	2.46	4.3%
Núcleo 1B	287	8038	8223	2.81	2.71	3.7%
Núcleo 2	295	8038	8223	2.68	2.49	7.1%
Núcleo 3	284	8038	8219	2.76	2.62	5.0%
Núcleo 4	215	8038	8165	2.44	2.35	3.9%
Núcleo 5	329	8038	8236	2.51	2.35	6.5%
Núcleo 6	237	8038	8179	2.47	2.35	4.9%

4.2.2 Abrasión

Se realizó el ensayo de abrasión con las muestras que se tomó en campo dando como resultados los siguientes valores presentados en la tabla.

Tabla 14 Ensayo de Abrasión

ABRASIÓN									
PUNTO	Tipo de Material	Procedencia del Material	Grado de la muestra	Número de vueltas	Número de esferas	Masa de carga (g)	Muestra Inicial de ensayo (g)	Muestra retenida en el tamiz No12	Degradación %
1	Subbase Clase 3		D	500	12	5000±25	5000	4287.2	14.26
2	Subbase Clase 3		D	500	12	5000±25	5000	4306.7	13.87
3	Subbase Clase 3	San Juan- El Arenal	D	500	12	5000±25	5011	4306.3	14.06
4	Subbase Clase 3		D	500	12	5000±25	5062	4354.7	13.97
5	Subbase Clase 3		D	500	12	5000±25	5053	4311.7	14.67
6	Subbase Clase 3		D	500	12	5000±25	5000	4285.1	14.30

4.2.3 Macrotextura

Se realizó este ensayo para determinar y evaluar la textura superficial del pavimento en la capa asfáltica

Tabla 15 Ensayo de la mancha de arena

N° Punto	Círculo 1		Diámetro promedio (mm)	Altura (mm)	Círculo 2		Diámetro promedio (mm)	Altura (mm)	Círculo 3		Diámetro promedio (mm)	Altura (mm)	Altura Final (mm)
	D1	D2			D1	D2			D1	D2			
Punto 1A	206	211	211.00	0.715	200	210	208.75	0.730	240	210	223.75	0.64	0.69
Punto 1B	235	224	227.75	0.614	235	220	219.25	0.662	235	217	223.00	0.64	0.64
Punto 2	210	220	221.75	0.647	210	206	212.75	0.703	245	215	217.50	0.67	0.67
Punto 3	220	215	227.50	0.615	215	230	215.25	0.687	220	225	218.75	0.67	0.66
Punto 4	210	205	212.50	0.705	200	200	209.25	0.727	240	220	225.00	0.63	0.69
Punto 5	230	210	213.75	0.697	210	215	225.00	0.629	200	240	219.50	0.66	0.66
Punto 6	220	210	216.25	0.681	240	200	221.25	0.650	215	220	225.00	0.63	0.65

Los datos obtenidos sobre la macrotextura del pavimento indicaron una altura promedio de 0.67 mm. Este resultado supera el valor mínimo recomendado de 0.50 mm establecido por la norma MTOP-001F-2002, lo que demuestra que la textura de la superficie cumple con las especificaciones técnicas.

4.3 PROPIEDADES HIDRAULICAS DEL PAVIMENTO FELXIBLE

Los datos presentados en la Tabla 14 son aquellos con los que se va a realizar el ensayo de infiltración a través del infiltrómetro de doble anillo.

Tabla 16. Infiltración

DATOS	
Diámetro interior del Infiltrómetro (cm) :	25
Área total interna (cm ²) :	490.87
Altura Total del infiltrómetro H (cm):	61.00
Altura del espejo de agua inicial (cm):	56.00
Volumen inicial de agua (cm) :	27488.91

Se muestran los resultados obtenidos del ensayo del infiltrómetro, en la Tabla 15 constan la evolución temporal de los valores numéricos de la tasa de infiltración (K), para cada uno de los puntos a ensayar.

Tabla 17. Resultados ensayo de Infiltración

Velocidades de Infiltración vs Tiempo						
Tiempo Acumulado [Horas]	Velocidad de infiltración K [cm/hora]					
	Muestras					
	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	1.40	2.10	2.50	2.00	2.00	2.00
2	1.10	1.90	2.50	1.80	1.70	1.00
3	1.50	1.00	1.50	1.20	1.20	1.20
4	2.00	1.00	0.70	0.80	0.80	0.80
5	1.80	1.00	1.30	1.20	1.00	1.00
6	1.60	1.00	1.30	0.50	1.00	1.00
7	0.90	0.50	0.90	1.00	0.50	0.70
8	0.70	0.50	0.40	0.50	0.50	0.30
9	0.50	0.10	0.30	0.50	0.30	1.00
10	0.20	0.05	0.05	0.10	0.10	0.50
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Estado del pavimento	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular
Clima	Nublado	Lluvioso	Lluvioso	Lluvioso	Lluvioso	Nublado

Observaciones	El Infiltrómetro se colocó a un lado de la vía, pero se encontraba mojado por la lluvia del día anterior	El infiltrómetro se colocó a un costado de la vía, presentan poco de desgaste en la zona de los sumideros.	El día anterior al presentar grandes lluvias el suelo no se encontraba saturado, pero si un clima cambiante al transcurrir el día.	El infiltrómetro o se colocó a un lado de la vía, encontrando con agrietamientos en las zonas de los sumideros	El infiltrómetro o se colocó a un lado de la vía, al no encontrar tantos agrietamientos en esta	Se encontró un poco ya saturado el suelo ya que a la noche anterior presento una lluvia constante.
----------------------	--	--	--	--	---	--

Para entender de mejor manera esta tabla, se observa una gráfica que muestra de mejor manera la comparación que existe entre los 6 puntos de muestra con el coeficiente de infiltración. En la Ilustración 4 se observa cómo se comportan estas curvas.

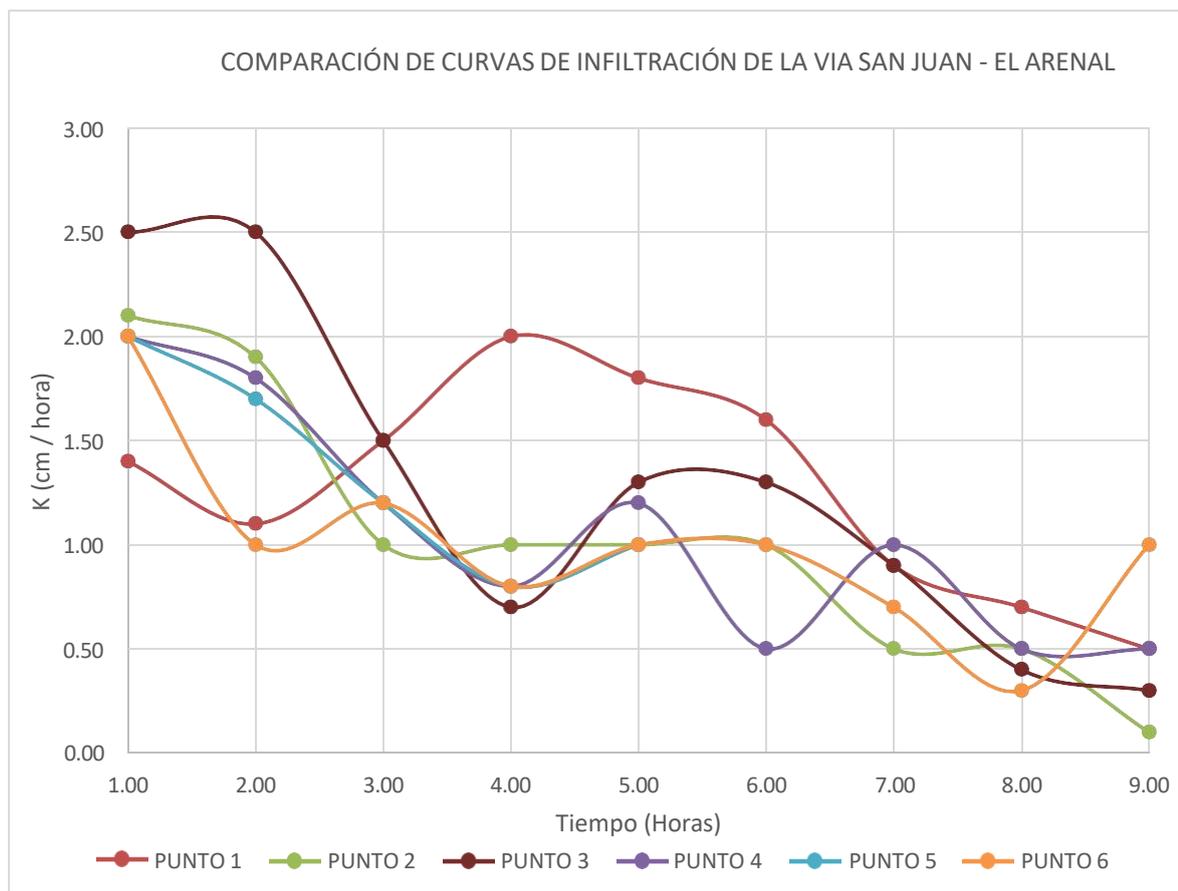


Ilustración 16. Curvas de Infiltración

Muestra	Pavimento flexible c (%)
Punto 1	79.5%
Punto 2	83.8%
Punto 3	80.0%
Punto 4	83.0%
Punto 5	83.9%
Punto 6	83.9%
promedio	82.4%
mínimo	79.5%
máximo	83.9%

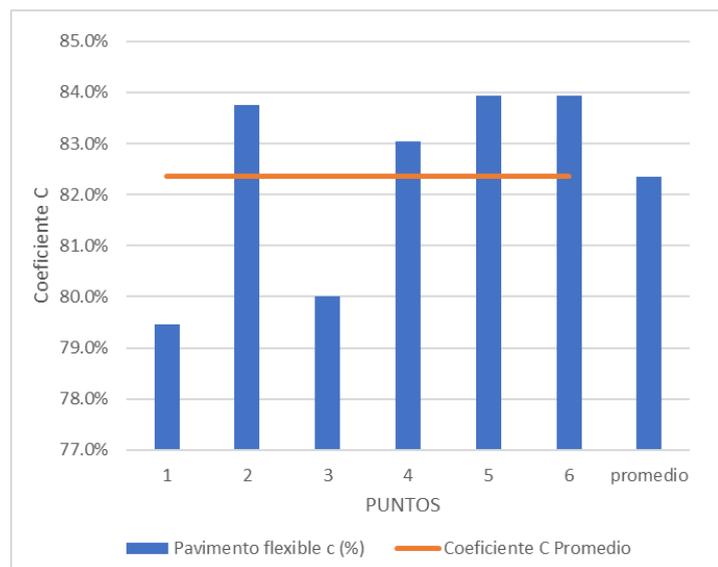


Ilustración 17. Coeficiente de escorrentía.

Se puede observar en las Ilustraciones 16 y 17 un resumen del promedio del coeficiente de escurrimiento en esta arte de la vía. Dando como resultado un porcentaje de coeficiente promedio C de 82.4% de todo el corredor vial de estudio.

Los puntos de muestreo 1 y 3 presentaron los resultados más desfavorables en la evaluación de la escorrentía superficial. Estos tramos registraron los coeficientes de escorrentía (C) más bajos del estudio. Este comportamiento se atribuye a un mayor grado de agrietamiento en la superficie del pavimento, lo que facilita una tasa de infiltración de agua más elevada.

4.4 Relaciones

4.4.1 Relación de infiltración – Porcentaje de vacíos

Punto	Coeficiente C	% vacíos
1A	0.79	4.31
1B	0.84	3.70
2	0.80	7.10
3	0.83	5.00
4	0.84	3.90
5	0.84	6.50
6	0.82	4.90

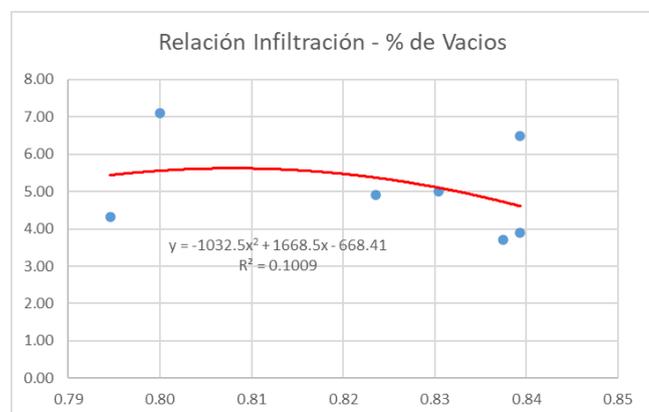


Ilustración 18 Relación de Infiltración - Porcentaje de vacíos

4.4.2 Relación de infiltración – Densidad aparente

Punto	Coefficiente C	Densidad Aparente
1A	0.79	2.71
1B	0.84	2.49
2	0.80	2.62
3	0.83	2.35
4	0.84	2.35
5	0.84	2.34
6	0.82	2.48

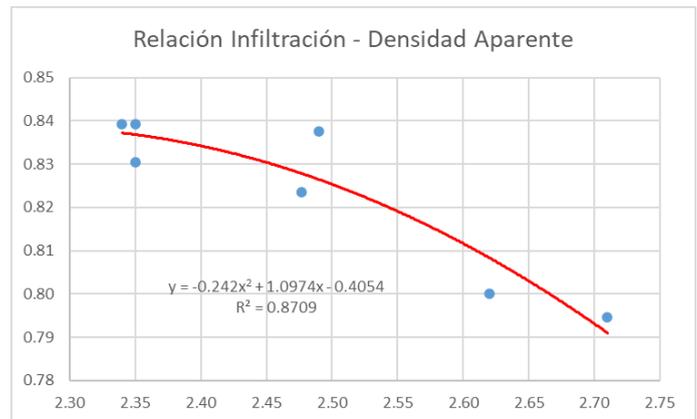


Ilustración 19 Relación de Infiltración - Densidad aparente en núcleos

4.4.3 Relación de infiltración – Estabilidad

Punto	Coefficiente C	Estabilidad
1	0.79	580.00
2	0.80	203.00
3	0.83	36.00
5	0.84	81.00
6	0.82	154.00

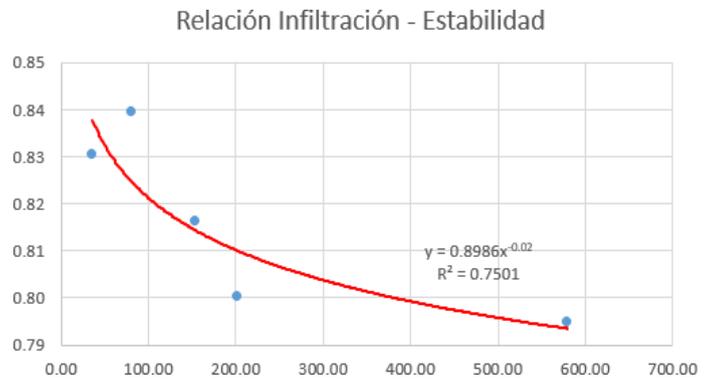


Ilustración 20 Relación de Infiltración - Estabilidad

4.5 DISCUSIÓN

Al analizar los resultados obtenidos, se interpretó que existe un alto porcentaje de pasante en los tamices 3/8 y N° 10 lo que indica una baja retención de grava fina y arena gruesa, respectivamente. Esto resulta en una humedad óptima baja, lo que acelera el desgaste del material y disminuye el coeficiente de escorrentía, como se evidencia en las muestras 1 y 2. Por el contrario, las muestras 5 y 6 muestran una mayor retención de grava fina y arena gruesa, lo que genera una humedad óptima elevada, un desgaste adecuado del material y un coeficiente de escorrentía alto.

Los agregados constituyen un factor importante en el pavimento, requiriendo materiales de calidad y una compactación eficiente. En el punto 3, se analizó un balance adecuado entre grava fina y arena gruesa, lo que produce un alto porcentaje de absorción. Pero no se obtuvo una compactación adecuada, incrementando la velocidad de infiltración.

El espesor de la capa asfáltica es fundamental para controlar la permeabilidad. Los núcleos 1 y 3, se obtuvo espesores muy delgados que no cumplen con las recomendaciones establecidas por la normativa del MTOP, presentando una velocidad de infiltración alta y un coeficiente de escorrentía bajo.

La resistencia de la capa asfáltica depende de su espesor, de su densidad y del porcentaje de vacíos. En el núcleo 1B, se obtuvo el valor más alto en el ensayo de compresión, esto se debe a una densidad elevada y un porcentaje de vacíos aceptable, pero debido a su espesor delgado limita su capacidad para soportar la carga esperada.

Al realizar una comparación de los tramos viales San Juan–El Arenal, Flores–Cebadas y Riobamba–Flores comparten varias propiedades similares en la región. Entre estas propiedades destacan una granulometría homogénea que predominan partículas grandes, baja o nula plasticidad que limita las deformaciones por humedad, límites líquidos consistentes, densidades máximas secas y humedades óptimas comparables en la capa de la base.

A pesar de que existen varias similitudes, el tramo San Juan–El Arenal presenta diferencias notables al comparar con los otros dos tramos. La densidad máxima seca de su subbase es menor, lo que podría sugerir una menor compactación o una composición de material distinta. Además, la densidad aparente de sus agregados es significativamente mayor, y el porcentaje de absorción de agua es más del doble que en los tramos Flores–Cebadas y Riobamba–Flores, lo que implica una mayor capacidad de retención de agua que podría influir en su desempeño en la construcción de carreteras.

5. CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se llevaron a cabo en total nueve ensayos, los cuales seis se los realizó en laboratorio y tres in situ, obteniendo un total de 26 resultados o características correspondientes a cada uno de los seis puntos de estudio del tramo vial analizado. Se identificaron veinte propiedades físicas, derivadas de los ensayos de granulometría, densidades, límites de Atterberg y Proctor. También, se evaluaron cinco propiedades mecánicas, determinadas a partir de los ensayos de macrotextura, abrasión y compresión. En cuanto a las propiedades hidráulicas, estas fueron obtenidas mediante el ensayo de infiltración realizado in situ, el

cual permitió determinar tanto el coeficiente de escorrentía como la velocidad de infiltración presente en cada muestra del corredor vial.

Del análisis realizado, se concluye que dos propiedades físicas como el porcentaje de vacíos y la densidad aparente mantienen una relación inversa con el coeficiente de escorrentía, considerado como una propiedad hidráulica. Esto implica que, a medida que aumenta el coeficiente de escorrentía, se observa una disminución en dichas propiedades físicas, evidenciando una relación de dependencia recíproca entre ellas.

Por otro lado, se estableció que la estabilidad, considerada una propiedad mecánica, presenta también una relación inversa con el coeficiente de escorrentía. Es decir, a mayor estabilidad, corresponde una menor intensidad de escorrentía, lo cual sugiere que la reducción de esta última contribuye al incremento de la estabilidad del sistema vial.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda analizar las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas en las distintas regiones del Ecuador (Costa, Sierra, Amazonía y Galápagos). El objetivo es desarrollar bases de datos locales que sirvan como referencia para el diseño de pavimentos más eficientes y duraderos, adaptados a las condiciones específicas de cada zona.

Se recomienda desarrollar e implementar metodologías de evaluación rápida de pavimentos in situ que no interrumpan el tráfico vehicular. El uso de equipos portátiles como deflectómetros de impacto liviano (LWD), medidores de fricción o permeámetros de campo, permitiría obtener datos precisos para optimizar las labores de mantenimiento y rehabilitación vial.

BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO. (1993). *Advanced Characterization of Asphalt Materials for Mechanistic-Empirical Pavement Design*. Obtenido de *Advanced Characterization of Asphalt Materials for Mechanistic-Empirical Pavement Design*: <https://habib00ugm.wordpress.com/wp-content/uploads/2010/05/aashto1993.pdf>
- Adresi, M., & Lacidogna, G. (19 de Junio de 2021). Investigating the Micro/Macro-Texture Performance of Roller-Compacted Concrete Pavement under Simulated Traffic Abrasion. págs. 11(12), 5704; <https://doi.org/10.3390/app11125704>.
- Ahmad Alsheyab, M., Ali Khasawneh, M., Abualia, A., & Sawalha, A. (18 de Septiembre de 2024). A critical review of fatigue cracking in asphalt concrete pavement: a

- challenge to pavement durability. págs. 386 (2024). <https://doi.org/10.1007/s41062-024-01704-1>.
- Alberto Delgado, O. H., & Lemus Porras, J. M. (Mayo de 2012). *Caracterización de la textura de sectores representativos de corredores viales en pavimento rígido y flexible*. Obtenido de <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00000373.pdf>
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (s.f.). *Standard method of test for percent air voids in compacted dense and open asphalt mixtures (AASHTO T269)*. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2019). *Métodos de prueba estándar para la determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) del suelo y la roca por masa*. Obtenido de <store.astm.org/d2216-19.html>
- American Society of Testing Materials (ASTM). (2017). *Standard test method for percent air voids in compacted asphalt mixtures (ASTM D3203/D3203M-17)*. ASTM International. https://doi.org/10.1520/D3203_D3203M-17.
- American Society of Testing Materials (ASTM). (2018). *Standard test method for infiltration rate of soils in field using double-ring infiltrometer (ASTM D3385-18)*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D3385-18>.
- American Society of Testing Materials (ASTM). (5 de Julio de 2021). *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12,400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m/m³)) (D698-12)*. ASTM International. 10.1520/D0698-12R21.
- American Society of Testing Materials (ASTM). (20 de Diciembre de 2022). *Standard Practice for Sampling Compacted Asphalt Mixtures for Laboratory Testing (ASTM D5361/D5361M-16)*. ASTM International. 10.1520/D5361_D5361M-16.
- American Society of Testing Materials (ASTM). (6 de Mayo de 2024). *Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique (ASTM E965-15)*. ASTM International. 10.1520/E0965-15R24.
- Aucapiña Rodríguez, R. J., & Jiménez Guayanay, W. F. (10 de Mayo de 2024). *Características físicas mecánicas e hidráulicas evaluadas en el pavimento flexible del corredor vial Riobamba-Flores*. Obtenido de <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/12905>

- Barraza Eléspuru, G. (04 de 2004). *RESITENCIA AL DESLIZAMIENTO EN PAVIMENTOS FLEXIBLES: PROPUESTA DE NORMA PERUANA*. Obtenido de <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/292652/Tesi;jsessi onid=B30181943BD11F1919ADEF1F0A5488CB?sequence=2>
- Burgos Vasquez, B. M. (2014). *ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE UN PAVIMENTO RÍGIDO Y UN PAVIMENTO FLEXIBLE PARA LA RUTA S/R: SANTA ELVIRA – EL ARENAL, EN LA COMUNA DE VALDIVIA*. Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2014/bmfcib957a/doc/bmfcib957a.pdf>
- Cajina, N. C., Camacho, E., Baldi, A., & Aguiar, J. (Diciembre de 2021). *Infraestructura Vial*. Obtenido de *Infraestructura Vial*: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-37052021000200013
- Casagrande, A. (1932). Research on the Atterberg Limits of Soil. *Public Roads*, 13, 121-136.
- Casco Guevara, J. M., & Salcán León, V. A. (2024). *CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, MECÁNICAS E HIDRÁULICAS EVALUADAS EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DEL CORREDOR VIAL FLORES - CEBADAS*. Obtenido de <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/12872/1/Casco%20J.%20C%20Salc%C3%A1n%20V.%20%282024%29%20Caracter%C3%ADsticas%20f%C3%ADsicas%20%20mec%C3%A1nicas%20e%20hidr%C3%A1ulicas%20evaluadas%20en%20el%20pavimento%20flexible%20del%20corredor%20vial%20Flores>
- Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). (1989). *Análisis granulométrico de áridos gruesos y finos*. Obtenido de http://carreteros.org/normativa/otros/nlt/pdfs/negras/1989/150_89.pdf
- Chow Ven, T. (2000). *Hidrología Aplicada*. Mc Graw Hill.
- Das, B. M. (2001). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. CENGAGE.
- Díaz, M. M. (abril de 2015). *Universidad de la Coruña*. Obtenido de Universidad de la Coruña: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-915X2015000100004
- Haug, Y. H. (2004). *Pavement analysis and design*. University of Kentucky: PEARSON.
- HOLCIM S.A. (4 de Febrero de 2022). *Agregados Material Granular Base Clase 2 (0-25, 4 mm)*. Obtenido de

- https://www.holcim.com.ec/sites/ecuador/files/images/holcim_ficha_material_granular_para_vias.pdf
- Huang, Y. (2004). *Pevement Analysis and Desing*. Obtenido de Pevement Analysis and Desing:
https://testbank4textbook.com/pdf_samples/Solutions_Manual_for_Pavement_Analysis_and_Design_2nd_Edition_by_Huang_sample_chapter.pdf
- Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón. (2005). *Manual de diseño de pavimentos flexibles*.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (Mayo de 1982a). *Determinación del Límite Líquido Método de Casa Grande. (NTE INEN 0691)*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/328641447/691-LIMITE-LIQUIDO-CASA-GRANDE-pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (Mayo de 1982b). *Determinación del Límite Plástico. (NTE INEN 0692)*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/250311677/692>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2010a). *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino. (NTE INEN 856)*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/268902509/NORMA-856-H>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2010b). *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso. (NTE INEN 857)*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/364038726/857>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2011). *Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37.5 mm mediante el uso de la máquina de los ángeles (NTE INEN 860)*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/470369163/NTE-INEN-0860-Aridos-Determinacion-del-valor-de-la-degradacion>
- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN INEN. (2010). *Áridos: Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/268902509/NORMA-856-H>
- Instituto Nacional de Vías (INV). (2013). *Norma INV E-791: Ensayo para determinar la profundidad media de la textura de pavimentos*. INVIAS.

- Lin, Y., Dong, C., Wu, D., Jiang, S., Xiang, H., & Weng, Z. (6 de Mayo de 2023). Study of Pavement Macro- and Micro-Texture Evolution Law during Compaction Using 3D Laser Scanning Technology. págs. 13(9), 5736; <https://doi.org/10.3390/app13095736>.
- Linsley Jr., R. K., Kohler, M. A., & Paulus, J. L. (1977). *Hidrología para Ingenieros*. McGraw-Hill Latinoamericana, S.A.
- Luis Erazo N. & Asociados Ltda. (1994). DRENABILIDAD Y TIEMPOS DE SATURACION PARA BASES DE PAVIMENTOS. Santiago: Camara chilena de la construcción.
- Mamlouk, M., & Zaniewski, J. P. (2011). *Materials for Civil and Construction Engineers*. Obtenido de Materials for Civil and Construction Engineers: https://archive.org/details/materialsforcivi0000maml_w9s5?utm_source=chatgpt.com
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador (MTOPE). (2002). *ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES MOP-001F-2002*. Obtenido de https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR_Chimborazo_Cumanda_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador (MTOPE). (1 de Diciembre de 2013). *Volumen No 3. Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes NEVI-12 - MTOPE*. Obtenido de Obras Públicas: https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_3.pdf
- MTOPE. (2012). *Manual Ecuatoriano de Carreteras – Sección 400: Pavimentos Flexibles*. Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. Obtenido de Manual Ecuatoriano de Carreteras – Sección 400: Pavimentos Flexibles. Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador: https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_2A.pdf
- Pincay-Suárez, M. L., & Alonso-Aenlle, A. (28 de Septiembre de 2022). Estudio del comportamiento de mezclas asfálticas en caliente con adición de zeolita natural. 7(9), 2444-2467. 10.23857/pc.v7i8.

- Plati, C., & Cliatt, B. (31 de Octubre de 2021). Building Sustainable Pavements: Investigating the Effectiveness of Recycled Tire Rubber as a Modifier in Asphalt Mixtures. págs. 14(21), 7099; <https://doi.org/10.3390/en14217099>.
- Rebolledo, R. (2010). *DETERIOROS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS*. Obtenido de Universidad Austral de Chile: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/bmfcim672d/doc/bmfcim672d.pdf>
- Reyes Lizcano, F. A., & Rondón Quintana, H. A. (Diciembre de 2007). *METODOLOGÍAS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES: TENDENCIAS, ALCANCES Y LIMITACIONES*. Bogotá.
- Reyes Lizcano, F. A., & Rondón Quintana, H. A. (2015). *Pavimentos: Materiales, construcción y diseño*. Bogotá: ECOE EDICIONES.
- Santamarina, C., & Narsilio, G. (2008). *CLASIFICACIÓN DE SUELOS: FUNDAMENTO FÍSICO, PRÁCTICAS ACTUALES Y RECOMENDACIONES*. Obtenido de Researchgate: https://www.researchgate.net/publication/267203656_CLASIFICACION_DE_SUELOS_FUNDAMENTO_FISICO_PRACTICAS_ACTUALES_Y_RECOMENDACIONES
- Villamizar Quintero, N. R., & Torres Benítez, I. Y. (2013). *Determinación del porcentaje óptimo de vacíos en mezclas asfálticas en caliente para pavimentos flexibles en la ciudad de Trujillo*. Obtenido de Universidad Pontificia Bolivariana: https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/5828/digital_24972.pdf
- Vinueza Gallegos, B. F., & Zurita Durán, M. A. (1 de Noviembre de 2022). *Diseño del pavimento flexible, empleando las propiedades mecánicas de bases y subbases de catorce diferentes minas de materiales pétreos del Ecuador*. Obtenido de Pontificia Universidad Católica del Ecuador: <https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/25777>
- Yang, J., Chen, B., Su, J., Xu, G., Zhang, D., & Zhou, J. (Junio de 2022). *Effects of fibers on the mechanical properties of UHPC: A review*. Obtenido de Journal of Traffic and Transportation Engineering, 9(3), 363-387: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2022.05.001>

Zambrano Mesa, M. I., Tejada Piusseaut, E., & Alonso Aenlle, A. (Julio de 2020). Materiales granulares mejorados. *Infraestructura Vial*, 22(39), 29-42. DOI 10.15517/iv.v22i39.41574. 22(39), 29-42. DOI 10.15517/iv.v22i39.41574.

Zhao, Z., Xu, L., Li, X., Guan, X., & Xiao, F. (17 de Julio de 2023). Comparative analysis of pavement performance characteristics of flexible, semi-flexible and rigid pavement based on accelerated pavement tester. pág. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131672>.

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>.

7. ANEXOS



Anexo 1 Extracción de núcleos.



Anexo 2 Extracción de agregados



Anexo 3 Extracción de vacíos.



Anexo 4 Ensayo de granulometría.



Anexo 5 Ensayo Proctor.



Anexo 6 Ensayo peso específico.



Anexo 7 Ensayo de Marshall.



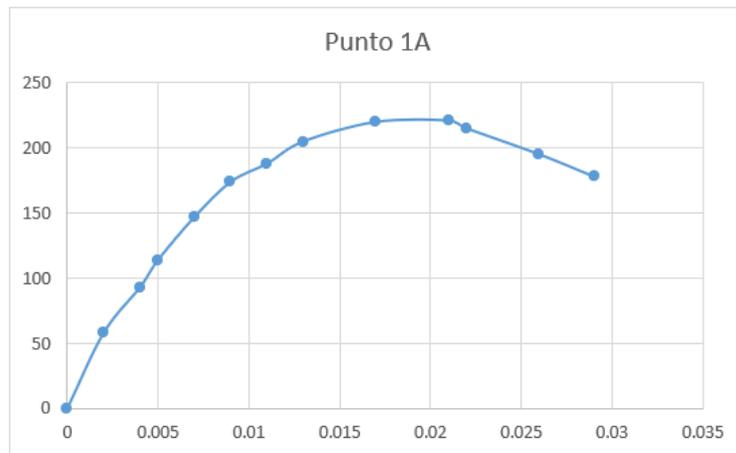
Anexo 8 Ensayo límite líquido.

DENSIDAD														DENSIDAD REAL NÚCLEOS			
Probeta	Fecha de ensayo	Diámetro 1 (mm)	Diámetro 2 (mm)	Diámetro 2 (mm)	Diámetro promedio (mm)	Longitud 1 (mm)	Longitud 2 (mm)	Longitud 3 (mm)	Longitud promedio (mm)	Longitud promedio (cm)	Área (mm ²)	Área (cm ²)	Probeta	Volumen (cm ³)	Peso (g)	Densidad (g/cm ³)	
Núcleo 1	24/01/2025	92.82	94.64	93.96	93.81	23.1	24.7	24.1	23.97	2.40	6911.26	69.11	Núcleo 1	165.64	278	1.68	
Núcleo 1.1	24/01/2025	93.26	94.36	95.46	94.36	28	29.1	28.9	28.67	2.87	6993.04	69.93	Núcleo 1.1	200.47	287	1.43	
Núcleo 2	24/01/2025	94.1	95.75	94.84	94.90	35.6	26	33.2	31.60	3.16	7072.81	70.73	Núcleo 2	223.50	295	1.32	
Núcleo 3	24/01/2025	94.49	93.37	94.04	93.97	24.5	24.1	25.2	24.60	2.46	6934.86	69.35	Núcleo 3	170.60	284	1.66	
Núcleo 4	27/01/2025	0	0	0	0.00	24.8	25.3	25.6	25.23	2.52	0.00	0.00	Núcleo 4	0.00	215	#DIV/0!	
Núcleo 5	27/01/2025	94.99	94.78	94.4	94.72	34.1	36.3	35.3	35.23	3.52	7046.99	70.47	Núcleo 5	248.29	329	1.33	
Núcleo 6	27/01/2025	94.93	94.06	93.81	94.27	25.3	24.6	27.9	25.93	2.59	6979.21	69.79	Núcleo 6	180.99	237	1.31	
														Promedio		1.45	

Anexo 9 Densidad real de los núcleos.

Punto 1A

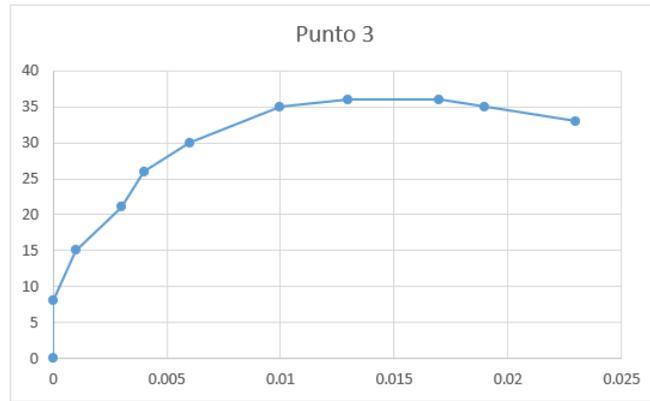
Load (lbs)	Disp (in)
0	0
58	0.002
93	0.004
114	0.005
147	0.007
174	0.009
188	0.011
205	0.013
220	0.017
221	0.021
215	0.022
195	0.026
178	0.029



Anexo 10 PI Relación fluencia - compactación

Punto 3

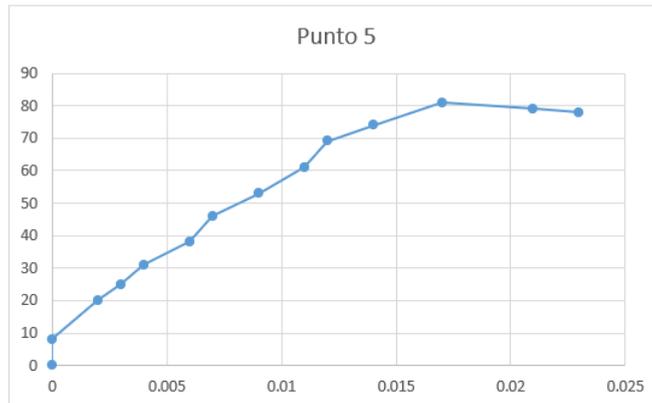
Load (lbs)	Disp (in)
0	0
8	0
15	0.001
21	0.003
26	0.004
30	0.006
35	0.01
36	0.013
36	0.017
35	0.019
33	0.023



Anexo 11 P3 Relación fluencia – compactación

Punto 5

Load (lbs)	Disp (in)
0	0
8	0
20	0.002
25	0.003
31	0.004
38	0.006
46	0.007
53	0.009
61	0.011
69	0.012
74	0.014
81	0.017
79	0.021
78	0.023



Anexo 12 P5 Relación fluencia – compactación

DATOS DE CAMPO			
Fecha de ensayo:	27/03/2025		
Ciudad:	Piojambá - Chimborazo		
Lugar:	San Juan - El Arenal		
Estado del Clima:	NUBLADO	Estado de la vía:	REGULAR
Coordenada del punto (UTM):	ESTE	74590.898	
	NORTE	9220432.474	
Tipo de pavimento	FLEXIBLE		
INTERVALO	TIEMPO (horas)	h (cm)	
7:00 a. m.	8:00 a. m.	0.00	5.00
8:00 a. m.	8:00 a. m.	1.00	6.40
9:00 a. m.	10:00 a. m.	1.00	7.50
10:00 a. m.	11:00 a. m.	1.00	9.00
11:00 a. m.	12:00 p. m.	1.00	11.00
12:00 p. m.	1:00 p. m.	1.00	12.80
1:00 p. m.	2:00 p. m.	1.00	14.40
2:00 p. m.	3:00 p. m.	1.00	15.30
3:00 p. m.	4:00 p. m.	1.00	16.00
4:00 p. m.	5:00 p. m.	1.00	16.50
5:00 p. m.	6:00 p. m.	1.00	16.70
6:00 p. m.	7:00 p. m.	1.00	16.70

Observaciones: al momento de colocar el infiltrómetro en el punto este suelo se encontraba mojado ya que la noche anterior y la madrugada había llovido casi todo el tiempo, al día con cambios de clima entre nublado, sol y un poco de lloviznas

CÁLCULOS						
Diámetro interior del Infiltrómetro (cm):	25					
Área total interna (cm ²):	490.87					
Altura Total del infiltrómetro H (cm):	61.00					
Altura del espacio de agua inicial (cm):	26.00					
Volumen inicial de agua (cm ³):	27468.39					
h (cm)	delta h (cm)	delta h acumulado	Tiempo (h)	t acum (h)	K (cm/hora)	
5.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	
6.40	1.40	1.40	1.00	1.00	1.40	
7.50	1.10	1.10	1.00	2.00	1.30	
9.00	1.50	2.60	1.00	3.00	1.50	
11.00	2.00	4.60	1.00	4.00	2.00	
12.80	1.80	6.40	1.00	5.00	1.80	
14.40	1.60	8.00	1.00	6.00	1.60	
15.30	0.90	8.90	1.00	7.00	0.90	
16.00	0.70	9.60	1.00	8.00	0.70	
16.50	0.50	10.10	1.00	9.00	0.50	
16.70	0.20	10.30	1.00	10.00	0.20	
16.70	0.00	10.30	1.00	11.00	0.00	
Sumatoria delta h (cm):						
11.50						
Volumen de infiltración (cm³):						
5845.04						
Fracción de infiltración (%):						
20.5%						
Coefficiente de escurrimiento C (%):						
79.46%						



TABLA 4. Valores de C para diversos tipos de superficies

TIPO DE SUPERFICIE	C
Cubierta metálica o teja vidriada	0.05
Cubierta con teja ordinaria o impermeabilizada	0.9
Pavimentos asfálticos en buenas condiciones	0.85 a 0.9
Pavimentos de hormigón	0.8 a 0.85
Empedrados (juntas pequeñas)	0.75 a 0.8
Empedrados (juntas ordinarias)	0.4 a 0.5
Pavimentos de macadam	0.25 a 0.6
Superficies no pavimentadas	0.1 a 0.3
Parques y jardines	0.05 a 0.25



Anexo 13 Infiltrómetro P1.

DATOS DE CAMPO			
Fecha de ensayo:	28/03/2025		
Ciudad:	Riobamba - Chimborazo		
Lugar:	San Juan - El Arenal		
Estado del Clima:	LLUVIOSO	Estado de la vía:	REGULAR
Coordenada del punto (UTM):	ESTE	746285.635	
	NORTE	8822408.416	
Tipo de pavimento	FLEXIBLE		
INTERVALO	TIEMPO (horas)	h (cm)	
7:00 a.m.	8:00 a.m.	0.00	5.00
8:00 a.m.	9:00 a.m.	1.00	7.10
9:00 a.m.	10:00 a.m.	1.00	3.00
10:00 a.m.	11:00 a.m.	1.00	10.00
11:00 a.m.	12:00 p.m.	1.00	11.00
12:00 p.m.	1:00 p.m.	1.00	12.00
1:00 p.m.	2:00 p.m.	1.00	13.00
2:00 p.m.	3:00 p.m.	1.00	13.50
3:00 p.m.	4:00 p.m.	1.00	14.00
4:00 p.m.	5:00 p.m.	1.00	14.10
5:00 p.m.	6:00 p.m.	1.00	14.20
6:00 p.m.	7:00 p.m.	1.00	14.20

Observaciones: La zona de ensayo presenta un poco de desgaste en las zonas mas cercanas a los sumideros, el clima encontrado es el de lluvia todo el día y con poco de nublado durante algunas horas encontrándonos con temperaturas de 15 a 19 grados celsius



CÁLCULOS					
Diámetro interior del Infiltrómetro (cm):					25
Área total interna (cm ²):					490.87
Altura Total del infiltrómetro H (cm):					61.00
Altura del espejo de agua inicial (cm):					66.00
Volumen inicial de agua (cm ³):					27488.31
h (cm)	delta h (cm)	delta h acumulado	Tiempo (h)	t acum (h)	K (cm/hora)
5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7.10	2.10	2.10	1.00	1.00	2.10
3.00	1.90	1.90	1.00	2.00	1.90
10.00	1.00	2.90	1.00	3.00	1.00
11.00	1.00	3.90	1.00	4.00	1.00
12.00	1.00	4.90	1.00	5.00	1.00
13.00	1.00	5.90	1.00	6.00	1.00
13.50	0.50	6.40	1.00	7.00	0.50
14.00	0.50	6.90	1.00	8.00	0.50
14.10	0.10	7.00	1.00	9.00	0.10
14.20	0.10	7.10	2.00	10.00	0.05
14.20	0.00	7.10	3.00	11.00	0.00
Sumatoria delta h (cm):					8.10
Volumen de infiltración (cm ³):					4468.95
Fracción de infiltración (%):					16.2%
Coeficiente de escurrimiento C (%):					83.75%



TABLA 4. Valores de C para diversos tipos de superficies

TIPO DE SUPERFICIE	C
Cubierta metálica o teja vidriada	0.95
Cubierta con teja ordinaria o impermeabilizada	0.9
Pavimentos asfálticos en buenas condiciones	0.85 a 0.9
Pavimentos de hormigón	0.8 a 0.85
Empedrados (juntas pequeñas)	0.75 a 0.8
Empedrados (juntas ordinarias)	0.4 a 0.5
Pavimentos de macadam	0.25 a 0.6
Superficies no pavimentadas	0.1 a 0.3
Parques y jardines	0.05 a 0.25

Anexo 14 Infiltrómetro P2.

DATOS DE CAMPO			
Fecha de ensayo:	28/03/2025		
Ciudad:	Riobamba - Chimborazo		
Lugar:	San Juan - El Arenal		
Estado del Clima:	LLUVIOSO	Estado de la vía:	REGULAR
Coordenada del punto (UTM):	ESTE	746755.233	
	NORTE	882484.473	
Tipo de pavimento	FLEXIBLE		
INTERVALO	TIEMPO (horas)	h (cm)	
7:00 a.m.	8:00 a.m.	0.00	4.00
8:00 a.m.	9:00 a.m.	1.00	6.50
9:00 a.m.	10:00 a.m.	1.00	3.00
10:00 a.m.	11:00 a.m.	1.00	10.50
11:00 a.m.	12:00 p.m.	1.00	11.20
12:00 p.m.	1:00 p.m.	1.00	12.50
1:00 p.m.	2:00 p.m.	1.00	13.80
2:00 p.m.	3:00 p.m.	1.00	14.70
3:00 p.m.	4:00 p.m.	1.00	15.10
4:00 p.m.	5:00 p.m.	1.00	15.40
5:00 p.m.	6:00 p.m.	1.00	15.50
6:00 p.m.	7:00 p.m.	1.00	15.50

Observaciones: La zona de ensayo presentaba agrietamientos más en la zona del sumidero, en el día se presentó diferentes climas entre soleado en la mañana, al mediodía nublado y en la tarde se presentó leves lluvias, a pesar de que el día anterior se presentó lluvias el suelo no estaba saturado.



CÁLCULOS					
Diámetro interior del Infiltrómetro (cm):					25
Área total interna (cm ²):					490.87
Altura Total del infiltrómetro H (cm):					61.00
Altura del espejo de agua inicial (cm):					67.00
Volumen inicial de agua (cm ³):					27378.73
h (cm)	delta h (cm)	delta h acumulado	Tiempo (h)	t acum (h)	K (cm/hora)
4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.50	2.50	2.50	1.00	1.00	2.50
3.00	2.50	2.50	1.00	2.00	2.50
10.50	1.50	4.00	1.00	3.00	1.50
11.20	0.70	4.70	1.00	4.00	0.70
12.50	1.30	6.00	1.00	5.00	1.30
13.80	1.30	7.30	1.00	6.00	1.30
14.70	0.90	8.20	1.00	7.00	0.90
15.10	0.40	8.60	1.00	8.00	0.40
15.40	0.30	8.90	1.00	9.00	0.30
15.50	0.10	9.00	2.00	10.00	0.05
15.50	0.00	9.00	3.00	11.00	0.00
Sumatoria delta h (cm):					11.40
Volumen de infiltración (cm ³):					5595.36
Fracción de infiltración (%):					20.0%
Coeficiente de escurrimiento C (%):					80.00%



TABLA 4. Valores de C para diversos tipos de superficies

TIPO DE SUPERFICIE	C
Cubierta metálica o teja vidriada	0.95
Cubierta con teja ordinaria o impermeabilizada	0.9
Pavimentos asfálticos en buenas condiciones	0.85 a 0.9
Pavimentos de hormigón	0.8 a 0.85
Empedrados (juntas pequeñas)	0.75 a 0.8
Empedrados (juntas ordinarias)	0.4 a 0.5
Pavimentos de macadam	0.25 a 0.6
Superficies no pavimentadas	0.1 a 0.3
Parques y jardines	0.05 a 0.25

Anexo 15 Infiltrómetro P3

DATOS DE CAMPO			
Fecha de ensayo:	28/03/2025		
Ciudad:	Riobamba - Chimborazo		
Lugar:	San Juan - El Arenal		
Estado del Clima:	LLUVIOSO	Estado de la vía:	REGULAR
Coordenada del punto (UTM):	ESTE	745082.123	NORTE
	FLEXIBLE	8625983.324	
Tipo de pavimento			
INTERVALO	TIEMPO (horas)	h (cm)	
7:00 a.m.	8:00 a.m.	0.00	5.00
8:00 a.m.	9:00 a.m.	1.00	7.00
9:00 a.m.	10:00 a.m.	1.00	8.30
10:00 a.m.	11:00 a.m.	1.00	10.00
11:00 a.m.	12:00 p.m.	1.00	10.80
12:00 p.m.	1:00 p.m.	1.00	12.00
1:00 p.m.	2:00 p.m.	1.00	12.50
2:00 p.m.	3:00 p.m.	1.00	13.50
3:00 p.m.	4:00 p.m.	1.00	14.00
4:00 p.m.	5:00 p.m.	1.00	14.50
5:00 p.m.	6:00 p.m.	1.00	14.70
6:00 p.m.	7:00 p.m.	1.00	14.70

Observaciones: La zona de ensayo presentaba agrietamientos más en la zona del suridero, en el día se presentó un clima nublado y leve lluvia a partir del mediodía en lo que el suelo no estaba saturado.

CÁLCULOS					
Diámetro interior del Infiltrómetro (cm):					25
Área total interna (cm ²):					490.87
Altura Total del Infiltrómetro H (cm):					61.00
Altura del espejo de agua inicial (cm):					56.00
Volumen inicial de agua (cm ³):					27488.91
h (cm)	delta h (cm)	delta h acumulado	Tiempo (h)	t acum (h)	K (cm/hora)
5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7.00	2.00	2.00	1.00	1.00	2.00
8.30	1.30	3.30	1.00	2.00	1.80
10.00	1.70	5.00	1.00	3.00	1.20
10.80	0.80	5.80	1.00	4.00	0.80
12.00	1.20	7.00	1.00	5.00	1.20
12.50	0.50	7.50	1.00	6.00	0.50
13.50	1.00	8.50	1.00	7.00	1.00
14.00	0.50	9.00	1.00	8.00	0.50
14.50	0.50	9.50	1.00	9.00	0.50
14.70	0.20	9.70	2.00	10.00	0.10
14.70	0.00	9.70	3.00	11.00	0.00
Sumatoria delta h (cm):					9.50
Volumen de infiltración (cm ³):					4683.30
Fracción de infiltración (%):					17.03%
Coeficiente de escurrimiento C (%):					83.94%

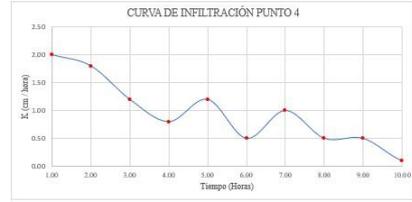


TABLA 4. Valores de C para diversos tipos de superficies

TIPO DE SUPERFICIE	C
Cubierta metálica o teja vidriada	0.95
Cubierta con teja ordinaria o impermeabilizada	0.9
Pavimentos asfálticos en buenas condiciones	0.85 a 0.9
Pavimentos de hormigón	0.8 a 0.85
Empedrados (juntas pequeñas)	0.75 a 0.8
Empedrados (juntas ordinarias)	0.4 a 0.5
Pavimentos de macadam	0.25 a 0.6
Superficies no pavimentadas	0.1 a 0.3
Parques y jardines	0.05 a 0.25

DATOS DE CAMPO			
Fecha de ensayo:	28/03/2025		
Ciudad:	Riobamba - Chimborazo		
Lugar:	San Juan - El Arenal		
Estado del Clima:	LLUVIOSO	Estado de la vía:	REGULAR
Coordenada del punto (UTM):	ESTE	744047.001	NORTE
	FLEXIBLE	8627522.122	
Tipo de pavimento			
INTERVALO	TIEMPO (horas)	h (cm)	
7:00 a.m.	8:00 a.m.	0.00	5.00
8:00 a.m.	9:00 a.m.	1.00	7.00
9:00 a.m.	10:00 a.m.	1.00	8.70
10:00 a.m.	11:00 a.m.	1.00	9.30
11:00 a.m.	12:00 p.m.	1.00	10.70
12:00 p.m.	1:00 p.m.	1.00	11.70
1:00 p.m.	2:00 p.m.	1.00	12.70
2:00 p.m.	3:00 p.m.	1.00	13.20
3:00 p.m.	4:00 p.m.	1.00	13.70
4:00 p.m.	5:00 p.m.	1.00	14.00
5:00 p.m.	6:00 p.m.	1.00	14.20
6:00 p.m.	7:00 p.m.	1.00	14.20

Observaciones: La zona de ensayo no presentaba muchos agrietamientos, en el día anterior se presentó lluvia y este día no fue la excepción nos encontramos fuertes lluvias y el suelo saturado.

CÁLCULOS					
Diámetro interior del Infiltrómetro (cm):					25
Área total interna (cm ²):					490.87
Altura Total del Infiltrómetro H (cm):					61.00
Altura del espejo de agua inicial (cm):					56.00
Volumen inicial de agua (cm ³):					27488.91
h (cm)	delta h (cm)	delta h acumulado	Tiempo (h)	t acum (h)	K (cm/hora)
5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7.00	2.00	2.00	1.00	1.00	2.00
8.70	1.70	3.70	1.00	2.00	1.70
9.30	0.60	4.30	1.00	3.00	0.60
10.70	1.40	5.70	1.00	4.00	1.40
11.70	1.00	6.70	1.00	5.00	1.00
12.70	1.00	7.70	1.00	6.00	1.00
13.20	0.50	8.20	1.00	7.00	0.50
13.70	0.50	8.70	1.00	8.00	0.50
14.00	0.30	9.00	1.00	9.00	0.30
14.20	0.20	9.20	2.00	10.00	0.10
14.20	0.00	9.20	3.00	11.00	0.00
Sumatoria delta h (cm):					9.00
Volumen de infiltración (cm ³):					4417.98
Fracción de infiltración (%):					16.37%
Coeficiente de escurrimiento C (%):					83.93%



TABLA 4. Valores de C para diversos tipos de superficies

TIPO DE SUPERFICIE	C
Cubierta metálica o teja vidriada	0.95
Cubierta con teja ordinaria o impermeabilizada	0.9
Pavimentos asfálticos en buenas condiciones	0.85 a 0.9
Pavimentos de hormigón	0.8 a 0.85
Empedrados (juntas pequeñas)	0.75 a 0.8
Empedrados (juntas ordinarias)	0.4 a 0.5
Pavimentos de macadam	0.25 a 0.6
Superficies no pavimentadas	0.1 a 0.3
Parques y jardines	0.05 a 0.25

Anexo 17 Infiltrómetro P5

DATOS DE CAMPO			
Fecha de ensayo:	02/04/2025		
Ciudad:	Riobamba - Chimborazo		
Lugar:	San Juan - El Arenal		
Estado del Clima:	NUBLADO	Estado de la vía:	REGULAR
Coordenada del punto (UTM):	ESTE	742842.82	NORTE
	FLEXIBLE	862953.742	
Tipo de pavimento			
INTERVALO	TIEMPO (horas)	h (cm)	
7:00 a.m.	8:00 a.m.	0.00	5.00
8:00 a.m.	9:00 a.m.	1.00	7.00
9:00 a.m.	10:00 a.m.	1.00	8.00
10:00 a.m.	11:00 a.m.	1.00	9.20
11:00 a.m.	12:00 p.m.	1.00	10.00
12:00 p.m.	1:00 p.m.	1.00	11.00
1:00 p.m.	2:00 p.m.	1.00	12.00
2:00 p.m.	3:00 p.m.	1.00	12.70
3:00 p.m.	4:00 p.m.	1.00	13.00
4:00 p.m.	5:00 p.m.	1.00	14.00
5:00 p.m.	6:00 p.m.	1.00	14.20
6:00 p.m.	7:00 p.m.	1.00	14.50

Observaciones: La zona de ensayo presentaba agrietamientos pero no profundos, en este día nos encontramos igual que el día anterior estuvo una fuerte lluvia y el suelo ya se encontraba mojado o saturado, cambiando en todo el día de nublado a lluvioso.



CÁLCULOS					
Diámetro interior del Infiltrómetro (cm):					25
Área total interna (cm ²):					490.87
Altura Total del Infiltrómetro H (cm):					61.00
Altura del espejo de agua inicial (cm):					56.00
Volumen inicial de agua (cm ³):					27488.91
h (cm)	delta h (cm)	delta h acumulado	Tiempo (h)	t acum (h)	K (cm/hora)
5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7.00	2.00	2.00	1.00	1.00	2.00
8.00	1.00	3.00	1.00	2.00	1.00
9.20	1.20	4.20	1.00	3.00	1.20
10.00	0.80	5.00	1.00	4.00	0.80
11.00	1.00	6.00	1.00	5.00	1.00
12.00	1.00	7.00	1.00	6.00	1.00
12.70	0.70	7.70	1.00	7.00	0.70
13.00	0.30	8.00	1.00	8.00	0.30
14.00	1.00	9.00	1.00	9.00	1.00
14.50	0.50	9.50	1.00	10.00	0.50
14.50	0.00	9.50	1.00	11.00	0.00
Sumatoria delta h (cm):					9.00
Volumen de infiltración (cm ³):					4417.98
Fracción de infiltración (%):					16.37%
Coeficiente de escurrimiento C (%):					83.93%

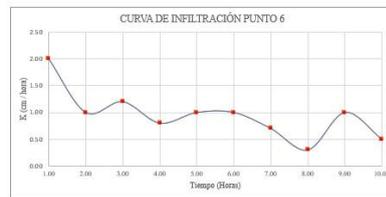


TABLA 4. Valores de C para diversos tipos de superficies

TIPO DE SUPERFICIE	C
Cubierta metálica o teja vidriada	0.95
Cubierta con teja ordinaria o impermeabilizada	0.9
Pavimentos asfálticos en buenas condiciones	0.85 a 0.9
Pavimentos de hormigón	0.8 a 0.85
Empedrados (juntas pequeñas)	0.75 a 0.8
Empedrados (juntas ordinarias)	0.4 a 0.5
Pavimentos de macadam	0.25 a 0.6
Superficies no pavimentadas	0.1 a 0.3
Parques y jardines	0.05 a 0.25

Anexo 18 Infiltrómetro P6