



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA INGENIERIA CIVIL

Características físicas, mecánicas e hidráulicas evaluadas en el
pavimento flexible en la parroquia San Andrés

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil

Autor:

Sinaluisa Guacho, Geremias Delfin

Tutor:

Ing. Hernán Vladimir, Pazmiño Chiluiza, Mgs

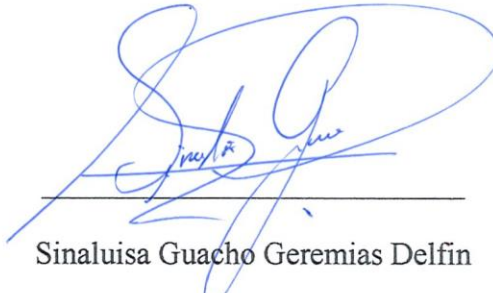
Riobamba, Ecuador. 2025

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, **Geremias Delfin Sinaluisa Guacho**, con cédula de ciudadanía **0604650440**, autor del trabajo de investigación titulado: **“CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, MECANICAS E HIDRAULICAS EVALUADAS EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA PARROQUIA SAN ANDRES”**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

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

En Riobamba, a los 20 del mes de noviembre de 2025.



Sinaluisa Guacho Geremias Delfin

C.I: 0604650440

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Ing. 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: “CARACTERISTICAS FISICAS, MECANICAS E HIDRAULICAS EVALUADAS EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA PARROQUIA SAN ANDRES”, bajo la autoría de Sinaluisa Guacho Geremias Delfin ; 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 20 del mes de noviembre de 2025



Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza, Mgs
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 **“CARACTERISTICAS FISICAS, MECANICAS E HIDRAULICAS EVALUADAS EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA PARROQUIA SAN ANDRES”** presentado por **Sinaluisa Guacho Geremias Delfin**, con cédula de identidad número **0604650440**, bajo la tutoría de Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiliza, Mgs; certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 15 de diciembre del 2025

MgS. Ángel Edmundo Paredes García

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



MgS. Cristian Andrés Marcillo Zapata

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



MgS. Alfonso Patricio Arellano Barriga

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO





CERTIFICACIÓN

Que, **SINALUISA GUACHO GEREMIAS DELFIN** con CC: **060465044**, estudiante 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 EN LA PARROQUIA SAN ANDRES**", 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, 27 de noviembre de 2025



Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluza, Mgs
TUTOR

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a toda mi familia por ser el apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida, han sido la fuerza que me ha impulsado a culminar este proyecto. A mis profesores y mentores de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Chimborazo, por su guía y dedicación. A todos ustedes, mi profundo agradecimiento.

Geremias D. Sinaluisa G.

AGRADECIMIENTO

Agradezco de todo corazón a Dios, por la vida y la oportunidad de culminar mis estudios universitarios, a mis padres María Guacho y Nicolas Sinaluisa, que a pesar de las dificultades me han apoyado incondicionalmente, a mis hermanos que, a pesar de mis decisiones, nunca han dejado de confiar en mí, a mis abuelos, tíos y primos que me han motivado a tomar buenas decisiones, de manera especial a los diferentes compañeros que han compartido aula conmigo, al grupo de jóvenes Generación de la luz, por su más sincera amistad, al Ingeniero Vladimir Pazmiño por su tutela y acompañamiento, al Ingeniero Alfonso Arellano por su colaboración en la investigación. Finalmente, a la Universidad Nacional de Chimborazo por la excelente educación y buena formación como Ingeniero Civil.

Geremias D. Sinaluisa G.

ÍNDICE GENERAL

DECLARACION DE AUDITORIA	
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
INDICE GENERAL	
INDICE DE TABLAS	
INDICE DE FIGURAS	
INDICE DE ANEXOS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
CAPÍTULO I. INTRODUCCION.....	16
1.1 Zona de estudio.....	16
1.2 Antecedentes de investigación.....	17
1.3 Planteamiento del problema.....	19
1.4 Justificación	19
1.5 Objetivos.....	20
1.5.1 Objetivo General.....	20
1.5.2 Objetivos específicos.....	20
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	21
2.1 Pavimento Flexible	21
2.1.1 Aspectos generales del pavimento flexible.....	21
2.1.2 Carpeta asfáltica.....	21
2.1.3 Base	21
2.1.4 Subbase.....	22
2.1.5 Subrasante.....	22

2.2	Propiedades físicas del pavimento flexible.....	22
2.2.1	Granulometría.....	22
2.2.2	Límites de consistencia.....	23
2.2.3	Clasificación del suelo (SUCS).....	23
2.2.4	Absorción.....	24
2.2.5	Gravedades Especificas.....	24
2.2.6	Espesores de capas granulares.....	24
2.2.7	Humedad.....	25
2.2.8	Macro textura.....	25
2.3	Propiedades mecánicas del pavimento flexible.....	25
2.3.1	Módulo de Rigidez.....	25
2.3.2	Módulo de Young.....	25
2.3.3	Estimación del CBR.....	26
2.3.4	Estabilidad y Flujo Marshal.....	26
2.4	Propiedades hidráulicas del pavimento flexible.....	26
2.4.1	Permeabilidad.....	26
2.4.2	Velocidad de escorrentía.....	26
CAPÍTULO III. METODOLOGIA.....		28
3.1	Tipo de investigación.....	28
3.2	Diseño de la investigación.....	28
3.3	Definición de la muestra.....	28
3.3.1	Población.....	28
3.3.2	Muestra.....	28
3.3.3	Tipo de muestreo.....	28
3.3.4	Tamaño de la muestra.....	28
3.3.5	Ubicación de las Muestras.....	29

3.4 Diagrama Metodológico	30
3.5 Procedimientos.....	30
3.5.1 Ensayos de laboratorio.....	30
3.5.2 Ensayos in Situ	35
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
4.1 PROPIEDADES FÍSICAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE	39
4.1.1 Espesores	39
4.1.2 Granulometría.....	39
4.1.3 Ensayo Limite Líquido y Plástico.....	43
4.1.4 Densidad y absorción del agregado (grueso y fino).	45
4.1.5 Abrasión.....	47
4.1.6 Compactación Proctor Estándar	47
4.1.7 Cono de Arena	49
4.1.8 Macrotextura.....	50
4.1.9 Datos Núcleos.....	51
4.1.10 Densidades de Núcleos	52
4.1.11 Humedad y absorción de los núcleos.....	52
4.2 Propiedades mecánicas del pavimento flexible	53
4.2.1 Resultados GeoGauge.....	53
4.2.2 Estabilidad y Flujo Marshall.....	54
4.2.3 Tracción Indirecta.....	55
4.3 PROPIEDADES HIDRÁULICAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE	56
4.3.1 Datos de la prueba de infiltración	56
4.3.2 Resultados de la prueba de infiltración.....	56
4.3.3 Análisis curvas de infiltración	59
4.3.4 Análisis coeficiente de escorrentía.	59

4.4 Relación entre las propiedades físico-mecánicas y propiedades hidráulicas del pavimento articulado.....	60
4.4.1 Absorción capa granular material (fino, grueso) vs Fracción de infiltración ..	60
4.4.2 Módulo de Young vs Fracción de infiltración.....	60
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES	62
5.1 Conclusiones.....	62
5.2 Recomendaciones	63
BIBLIOGRAFÍA	64
ANEXOS	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Espesores capas pavimento.	39
Tabla 2. Resultado análisis granulométrico – Capa granular.....	40
Tabla 3. Resultado análisis granulométrico - Capa base.....	40
Tabla 4. Resultado análisis granulométrico – Capa Sub-Base.....	40
Tabla 5. Resultado análisis granulométrico - Capa subrasante.	41
Tabla 6. Resultados de las características de las capas granulares del pavimento flexible.....	43
Tabla 7. Resultados de pesos específicos y absorción de agregado fino.....	45
Tabla 8. Resultados de pesos específicos y absorción de agregado grueso.....	46
Tabla 9. Resultados de ensayo de degradación	47
Tabla 10. Resultados del ensayo Proctor estándar.....	47
Tabla 11. Resumen resultados cono de arena.	49
Tabla 12. Resultados círculo de arena.	51
Tabla 13. Resultados de caracterización de núcleos.	51
Tabla 14. Resumen de resultados de densidad bruta (BULK) y teórica máxima (RICE)	52
Tabla 15. Lecturas obtenidas del GEOGAUGE.	53
Tabla 16. Resultado ensayo MARSHALL	54
Tabla 17. Resultados correlación Tracción Indirecta.....	55
Tabla 18. Resultados de infiltración.	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica Parroquia San Andrés.....	16
Figura 2. Zona de estudio en la Parroquia San Andrés.....	17
Figura 3. Ubicación de las muestras.....	29
Figura 4. Metodología propuesta.....	30
Figura 5. Esquema Geo Gauge. Adaptado de: ASTM, 2007.....	35
Figura 6. Esquema del infiltrómetro de doble anillo. (Cepeda & Rosero, 2024).....	37
Figura 7. Vista lateral infiltrómetro de doble anillo. (Cepeda & Rosero, 2024).....	37
Figura 8. Perfiles Burletes Alambrado 341.....	37
Figura 9. Vista lateral y superior del perfil.....	37
Figura 10. Colocación caucho en el infiltrómetro.....	38
Figura 11. Colocación de silicona.....	38
Figura 12. Curva Granulométrica Capa granular.....	42
Figura 13. Curva Granulométrica Capa Base.....	42
Figura 14. Curva Granulométrica Capa Sub-Base.....	42
Figura 15. Curva Granulométrica Capa Subrasante.....	42
Figura 16. Resultados límite líquido.....	44
Figura 17. Absorción Material Fino.....	46
Figura 18. Absorción Material Grueso.....	46
Figura 19. Curvas de compactación de la Capa Granular.....	48
Figura 20. Curvas de compactación de la Base.....	48
Figura 21. Curvas de compactación de la Subbase.....	48
Figura 22. Curvas de compactación de la Subrasante.....	48
Figura 23. Resumen resultados de compactación.....	49
Figura 24. Humedad óptima y humedad natural.....	50
Figura 25. Densidad máxima seca y densidad suelo seco.....	50
Figura 26. Macrotextura pavimento flexible.....	51
Figura 27. Resultados de densidades de los núcleos.....	52
Figura 28. Resultados porcentaje de humedad y absorción.....	53
Figura 29. Estabilidad vs Flujo de Núcleos.....	55
Figura 30. Comparación coeficiente " C " obtenido vs normativa.....	57
Figura 31. Porcentajes de escurrimiento.....	58
Figura 32. Curvas de infiltración pavimento flexible.....	58
Figura 33. Diagrama de relación absorción materia fino, grueso vs Fracción de infiltración.....	60
Figura 34. Diagrama de relación Modulo de Young vs Fracción de infiltración.....	61

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Medición de espesores.	68
Anexo 2. Secado de muestras.	68
Anexo 3. Análisis granulométrico subrasante.	68
Anexo 4. Copa de casa grande, ensayo limite líquido.	68
Anexo 5. Limite plástico para la subrasante (No posee).	68
Anexo 6. Ensayo peso específico superficialmente seco. Agregado grueso – Base	68
Anexo 7. Ensayo peso específico agrado fino - Sub-Base,	69
Anexo 8. Máquina de los ángeles, ensayo de abrasión.	69
Anexo 9. Ensayo Proctor estándar- Base	69
Anexo 10. Cono de arena -Subrasante.	69
Anexo 11. Extracción de núcleos vía Panamericana E35.	69
Anexo 12. Toma de datos de los núcleos.	69
Anexo 13. Ensayo Marshall,	70
Anexo 14. Gravedad máxima teórica núcleos, Picnómetro de vacío.	70
Anexo 15. Macrotextura de la carpeta de rodadura.	70
Anexo 16. Medición módulos-GeoGauge.	70
Anexo 17. Ensayo Infiltrómetro de doble anillo,	70
Anexo 18. Muestras granulares analizadas.	70

RESUMEN

La implementación de pavimentos flexibles en zonas urbanas y rurales demanda un análisis integral de las propiedades físico-mecánicas e hidráulicas de su estructura, ya que revela la importancia de analizar los materiales utilizados en su conformación estructural. La variabilidad de los materiales presenta desafíos constantes para garantizar una adecuada conformación de sus diferentes estratos granulares. Además, es fundamental considerar las condiciones climáticas, especialmente las precipitaciones que afectan el desempeño estructural de la vía. La presente investigación analiza las propiedades ya mencionadas en un tramo de vía correspondiente a la panamericana E35, sector San Andrés ubicado en el cantón Guano. Este tramo conecta ciudades como Riobamba y Quito, por lo que se considera una vía de suma importancia para el desarrollo comercial y económico de la región. Se presentan los resultados de los análisis de las propiedades físicas como espesores, granulometría, pesos específicos, además, propiedades mecánicas como capacidad de soporte, resistencia y módulo de elasticidad, finalmente las propiedades hidráulicas enfocadas en la infiltración, permeabilidad y escorrentía. Asimismo, se analizan las características que influyen directamente en el drenaje y escorrentía del pavimento, considerando condiciones climáticas de la zona, con el objetivo de obtener valores actualizados del coeficiente de escorrentía, la cual se validara mediante una comparación con la normativa vigente. La caracterización realizada puede ser utilizada en futuras investigaciones que promuevan la optimización de diseños estructurales y, a su vez, fomenten la sostenibilidad con el uso de materiales alternativos que compartan propiedades equivalentes.

Palabras claves: Pavimento flexible, Físicas, Mecánicas, Hidráulicas, Módulo de elasticidad

ABSTRACT

The implementation of flexible pavements in urban and rural areas requires a comprehensive analysis of the physical, mechanical, and hydraulic properties of their structure, which underscores the importance of evaluating the materials used in their composition. The variability of materials presents constant challenges in ensuring the proper formation of their different granular layers. In addition, it is essential to consider climatic conditions, particularly precipitation, as they affect the structural performance of the road. This research analyzes the aforementioned properties in a section of the Pan-American Highway E35 in the San Andrés sector, in the Canton of Guano. This section connects cities such as Riobamba and Quito, making it a road of utmost importance to the region's commercial and economic development. The results of the analyses of physical properties such as thickness, granulometry, and specific weights are presented, as well as mechanical properties such as bearing capacity, strength, and modulus of elasticity, and finally, hydraulic properties focused on infiltration, permeability, and runoff. Likewise, the characteristics that directly influence pavement drainage and runoff are analyzed, considering the area's climatic conditions, with the aim of obtaining updated values for the runoff coefficient, which will be validated against current regulations. The characterization carried out can be used in future research to optimize structural designs and, in turn, encourage sustainability through the use of alternative materials with equivalent properties.

Keywords: Flexible pavement, Physical, Mechanical, Hydraulic, Modulus of elasticity



Reviewed by:

Mgs. Hugo Romero

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 0603156258

CAPÍTULO I. INTRODUCCION.

1.1 Zona de estudio

La parroquia San Andrés integra una de las parroquias rurales del cantón Guano, se ubica en el centro de la región sierra del Ecuador. Localizada a 8 km de la ciudad de Riobamba cuyas coordenadas UTM son (E 755966.35; N 9823716.91) [1]. Entre sus límites se encuentra la provincia de Tungurahua por el Norte, Las parroquias de Calpi y San Juan por el Sur, Guano y San isidro por el Este y la provincia de Bolívar por el Oeste. Debido a la presencia de nevado Chimborazo esta zona presenta un clima frio [2]

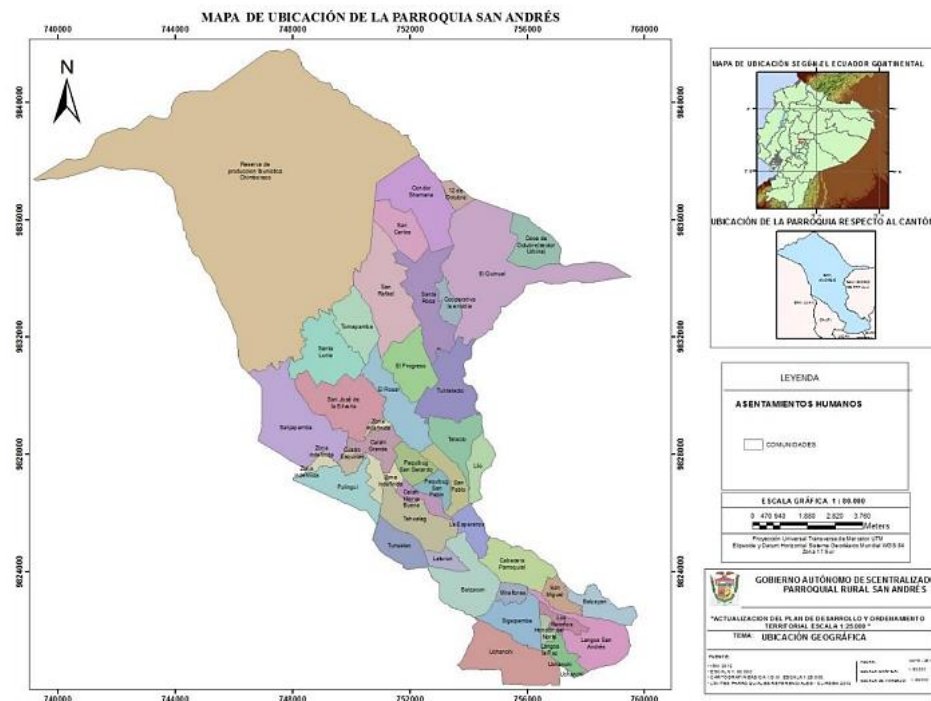


Figura 1. Ubicación geográfica Parroquia San Andrés.

La parroquia San Andrés cuenta con un sistema vial conformado por calles adoquinadas y de tierra, las cuales, en su mayoría, se conectan con la carretera Panamericana (E35). Dispone además de dos vías pavimentadas: la vía San Andrés-Guano y la carretera San Andrés-Riobamba, que atraviesa el centro parroquial. Esta última se mantiene en óptimas condiciones, debido al concesionamiento que esta mantiene y al ser una vía de primer orden, ya que conecta las ciudades como Riobamba y Quito, impulsando así el desarrollo comercial [3]

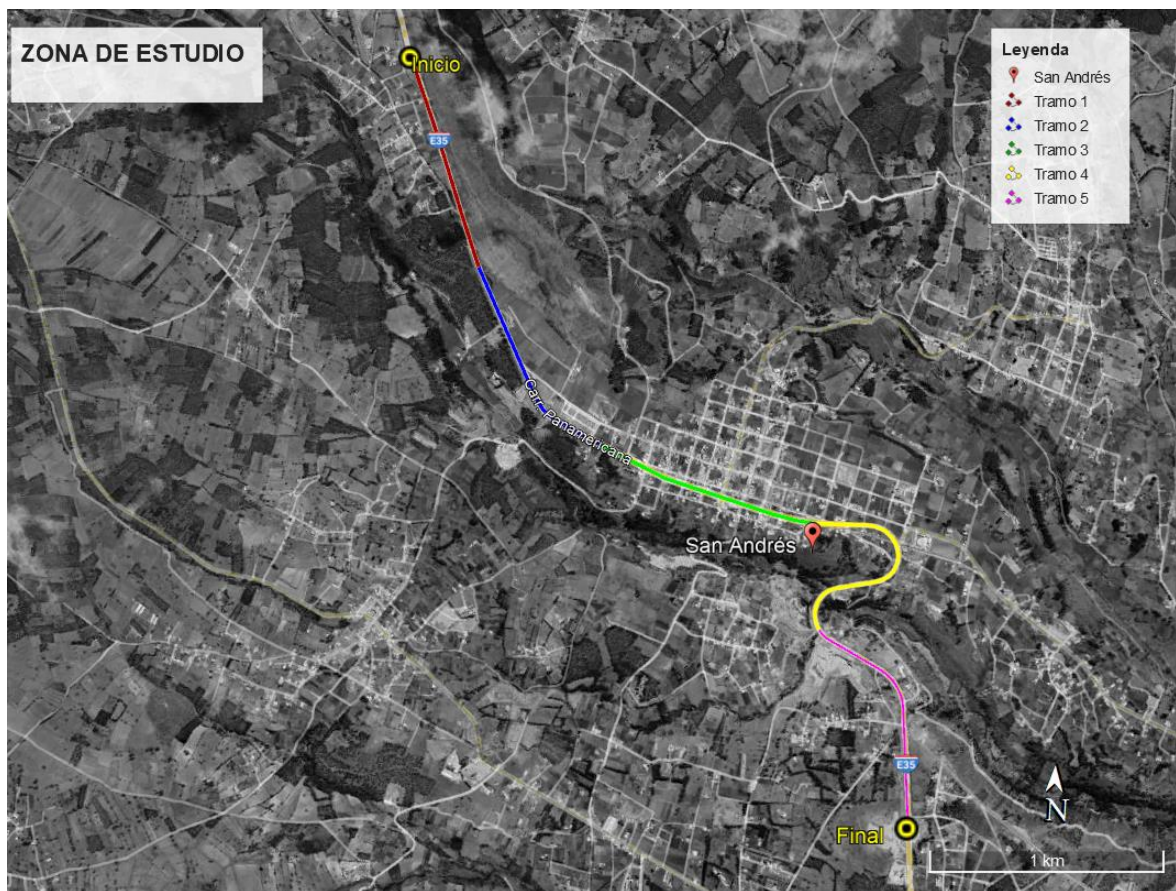


Figura 2. Zona de estudio en la Parroquia San Andrés.

El tramo de prueba considerado para el análisis en el presente proyecto de investigación, consta de una longitud total de 5 km, conformado por cinco subtramos de 1 km cada uno, correspondientes a un pavimento flexible que atraviesa la parroquia San Andrés.

1.2 Antecedentes de investigación

Existen diversos tipos de infraestructuras viales que facilitan el desarrollo regional y económico de diferentes zonas. En América Latina, la mayoría de las carreteras están pavimentadas con distintos tipos de mezclas asfálticas, cuya composición y diseño estructural varían según categoría funcional de la vía y la intensidad del tránsito. Estas estructuras comprenden desde carpetas de rodadura de alto desempeño para vías principales, hasta pavimentos asfálticos de menor especificación en carreteras secundarias, optimizando así el uso de materiales y la durabilidad de las superficies.

En Ecuador, una gran parte de la red vial nacional está conformada por pavimento flexible, los cuales está compuesto por una mezcla asfáltica que proporciona una superficie

de rodadura adecuada. Este tipo de pavimento requiere especificaciones técnicas rigurosas que definen la calidad y resistencia tanto de la base como de la subbase, con el fin de soportar las altas tensiones generadas por el tráfico pesado. Asimismo, se emplean aglomerantes hidráulicos o ligantes asfálticos para optimizar el desempeño estructural y la durabilidad del pavimento frente a condiciones climáticas adversas, garantizando una adecuada respuesta ante variaciones drásticas de las condiciones externas [4]

Entre las características fundamentales que debe cumplir una estructura vial flexible, se encuentran la resistencia estructural y la capacidad de deformación controlada, entre otros requerimientos de diseño que garantice la preservación de la comodidad del usuario. Para evaluar la idoneidad de los materiales de un banco específico, es imprescindible someterlos a pruebas estandarizadas de control de calidad, las cuales permiten verificar que cumplen con los parámetros técnicos. De esta manera, se asegura que las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas del material, se encuentren dentro de los rangos exigidos por las especificaciones técnicas vigentes [5].

Analizando el contexto anterior encontramos que las características físicas del pavimento flexible dependen de propiedades específicas de los materiales, como textura, espesor y granulometría, que influyen en la densidad y la distribución de vacíos, además se detalla la composición de la estructura vial, y materiales empleados.

Las propiedades mecánicas se determinan a partir de la extracción de núcleos, evaluando parámetros como la estabilidad, fluencia y la resistencia al corte. La estabilidad representa la capacidad del material para soportar cargas, mientras que la fluencia refleja su grado de deformación bajo la acción de cargas continuas sobre la carpeta de rodadura. Por su parte, el módulo de rigidez mide la resistencia del material a la deformación de la superficie analizada.

Las características hidráulicas de los pavimentos flexibles se relacionan con su capacidad para permitir y controlar la infiltración de agua. El tiempo de infiltración determina el periodo que tarda el agua en fluir a través del material, mientras que la velocidad de infiltración indica la rapidez con la que se desplaza a través del pavimento. Es fundamental mantener controlados los volúmenes de infiltración para evitar el exceso de agua, ya que este podría comprometer la estabilidad y durabilidad de la estructura [6]

Por lo tanto, comprender el comportamiento hidráulico del pavimento es fundamental, ya que permite prevenir fallas prematuras en la estructura, así como la formación de grietas y juntas. Además, contribuye a complementar la información existente

sobre el comportamiento del agua y su influencia en las propiedades físico-mecánicas del pavimento [7]

1.3 Planteamiento del problema

En la actualidad, el cambio climático está provocando alteraciones cada vez más evidentes en los patrones climáticos globales, con un aumento en la frecuencia e intensidad de fenómenos extremos, como lluvias intensas y sequías prolongadas. Estos cambios impactan de manera significativa en la infraestructura vial, especialmente en los pavimentos flexibles, cuya capacidad para resistir las variaciones de humedad puede verse comprometida si no se consideran de manera adecuada las características físicas, mecánicas e hidráulicas de los materiales empleados[8].

Las alteraciones en los patrones de precipitación pueden provocar la saturación de la calzada, mientras que la infiltración del agua de lluvia genera variaciones en la humedad y densidad de los estratos constitutivos. Esto puede ocasionar deformaciones en las capas del pavimento, afectando sus propiedades mecánicas, como estabilidad y flexibilidad. Dichas propiedades son fundamentales para prevenir la aparición de fisuras, grietas u ondulaciones inducidas por las cargas del tráfico[9]

La gestión eficaz del drenaje adquiere gran relevancia al momento de analizar las propiedades hidráulicas del pavimento, ya que, si el pavimento no está diseñado con un sistema de drenaje adecuado, el agua puede acumularse en la superficie o infiltrarse en las capas inferiores. Esto puede generar procesos de erosión, expansión o aumento de vacíos internos en la estructura, provocando la aparición de oquedades o hundimientos.

Por ende, la falta de comprensión adecuada de las propiedades y características de los estratos que conforman el pavimento flexible lo hace que sean más vulnerables a los efectos climáticos, lo que puede ocasionar fallas estructurales prematuras. En este contexto, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿De qué manera los cambios en las propiedades hidráulicas afectan las características físicas y mecánicas de los pavimentos flexibles?

1.4 Justificación

Es fundamental investigar y comprender de manera actualizada el comportamiento de las propiedades de los pavimentos flexibles, ya que estos influyen directamente en su rendimiento bajo las condiciones climáticas variables. Asimismo, este conocimiento permite anticipar y mitigar los efectos del cambio climático a largo plazo. Para ello, es necesario adoptar un enfoque integral que analice cómo las características físicas, mecánicas e

hidráulicas del pavimento se ven afectadas por dichas condiciones, y como, mediante investigaciones basadas en la toma de muestras in situ y análisis en laboratorio, estudiando así el comportamiento físico y estructural. De esta manera se busca que futuros ingenieros puedan optimizar la resistencia y sostenibilidad de los pavimentos flexibles frente a estos nuevos desafíos ambientales.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

- Determinar las características físicas, mecánicas e hidráulicas de un tramo de prueba de pavimento flexible en la parroquia San Andrés.

1.5.2 Objetivos específicos

- Analizar las características físicas y mecánicas a través de la extracción de núcleos.
- Valorar propiedades hidráulicas usando métodos in situ.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1 Pavimento Flexible

2.1.1 Aspectos generales del pavimento flexible

El pavimento flexible está compuesto por una capa de rodadura que tienen poca rigidez, lo que facilita su deformación y provoca que las tensiones se transmitan con mayor intensidad a la subrasante. La capa superficial, conocida como carpeta asfáltica, está compuesta por una mezcla asfáltica y agregados, y cumple la función de resistir los esfuerzos horizontales generados por el arrastre de las llantas en curvas o frenadas de los vehículos. Otros de los componentes del pavimento flexible corresponden a la base granular y subbase, las cuales se apoyan sobre la subrasante, que es el terreno natural previamente preparada para soportar la estructura del pavimento [10]

2.1.2 Carpeta asfáltica

La carpeta asfáltica, también llamada capa de rodadura, está compuesta en gran medida por un material bituminoso, el cual corresponde a un hidrocarburo soluble en disulfuro de carbono. Para asegurar una buena adherencia entre la base y la carpeta asfáltica, se aplica previamente una capa de riego asfáltico que actúa como ligante, permitiendo una correcta unión de las partículas y reduce el riesgo de desprendimientos tempranos después de colocar el pavimento [11].

2.1.3 Base

La base corresponde a la capa estructural situada justo debajo de la carpeta asfáltica de un pavimento flexible. Su propósito esencial es aportar resistencia mecánica, absorbiendo y distribuyendo la mayor parte de las cargas verticales generadas por la carga vehicular. En caminos de bajo o medio flujo vehicular suele emplearse materiales con buena graduación; por lo contrario, en vías de tránsito pesado o de mayor desempeño se emplean mezclas de agregados granulares, conocidas también como bases estabilizadas, las cuales son previamente tratadas con agentes cementantes, como cemento Portland, cal o emulsiones asfálticas, con el fin de aumentar su resistencia y durabilidad frente a esfuerzos repetitivos [11]

2.1.4 Subbase

La subbase es la capa que se coloca directamente sobre el terreno natural. Aunque soporta menores esfuerzos que las capas superiores, este debe tener mayor capacidad de soporte que el suelo natural. Esta sección del pavimento contribuye a distribuir adecuadamente las cargas del tránsito y evitar problemas de desgaste por erosión, dado que se encuentra en contacto directo con el suelo. Además, previene el fenómeno conocido como bombeo, que consiste en la expulsión de material fino hacia la superficie debido al paso repetitivo de vehículos. Asimismo, permite disminuir el espesor requerido de la capa base, optimizando así el diseño de la estructura del pavimento [12]

2.1.5 Subrasante

La subrasante, también conocida como terreno natural o de fundación, debe ofrecer una base uniforme, firme y estable, ya a que sobre ella se apoyara toda la estructura del pavimento. Por ello, se somete a diversos tratamientos, como la compactación, con el objetivo de aumentar su densidad y resistencia, evitando deformaciones o alteraciones inesperadas que puedan generar fenómenos como la expansión y contracción del suelo. En ocasiones es necesario reemplazar o mejorar el suelo natural con otro tipo de material de relleno adecuado, con el fin de mejorar sus propiedades geotécnicas y su capacidad de soporte [11]

2.2 Propiedades físicas del pavimento flexible

2.2.1 Granulometría

El análisis granulométrico, o granulometría es una de las propiedades físicas de los agregados. Este ensayo puede realizarse, de manera manual o mecánico y permite clasificar las partículas de un material según su tamaño. Esto se realiza haciendo pasar el suelo o agregado por una serie de tamices con mallas de diferentes aberturas los cuales retienen partículas de acuerdo con su dimensión. De esta manera, se determina que proporción del material corresponde a cada rango de tamaño en relación con el peso total de la muestra. Los resultados se expresan como porcentajes de material retenido en cada malla de los diferentes tamices, ya sea de forma parciales, correspondientes al porcentaje retenido en cada tamiz o acumulados que se suma el porcentaje retenido en el tamiz anterior. Con los valores del porcentaje acumulado se elabora la curva granulométrica que permite visualizar, la distribución del tamaño de partículas en el suelo o agrado [13]

2.2.2 Límites de consistencia

Son parámetros que ayudan a entender cómo se comportan los suelos finos en función de su contenido de agua. Estos límites reflejan la variación de su volumen y forma del suelo a medida que aumenta o disminuye la humedad, dividiendo su comportamiento en diferentes etapas como el estado sólido, semisólido, plástico y líquido. Cada una de estas etapas representa una reacción diferente del suelo o agregado fino ya que puede ser rígido, quebradizo, moldeable o completamente fluido dependiendo de la cantidad de agua [14].

- **Limite liquido**

El límite líquido es la cantidad de agua, expresada en porcentaje, a partir de la cual un suelo tiende a cambiar de estado semilíquido a un estado plástico. Este valor se determina a través del uso de la Copa de Casagrande. El procedimiento consiste en colocar una muestra de suelo dentro de una copa de latón, realizar un surco de 12.7 mm aproximadamente en el centro, para posteriormente dejar caer la copa repetidamente desde una altura de 10 mm sobre una base de goma, girando la manivela. El límite líquido se alcanza cuando el surco se cierra después de 25 golpes o caídas [15]

- **Limite Plástico**

El límite plástico es la cantidad de agua, expresada en porcentaje, a partir de la cual el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido debido a la pérdida de humedad, o por el contrario, vuelve a ser plástico cuando se incrementa el contenido agua. Este valor expresa el punto más bajo en el cual un suelo puede moldarse sin romperse, según la ASTM-4318, el límite plástico se determina cuando, al intentar formar rollos de aproximadamente 3.2 mm de grosor, estos comienzan a agrietarse [15]

2.2.3 Clasificación del suelo (SUCS)

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) es uno de los métodos más usados para identificar y describir las características básicas del suelo. Este sistema combina el tamaño de las partículas, determinando mediante el análisis granulométrico, y el comportamiento plástico del material, evaluado a través de los límites de Atterberg. Al integrar ambos criterios, el SUCS permite clasificar los suelos de manera clara y consistente [16].

2.2.4 Absorción

- Materiales granulares

La absorción en los materiales granulares es el aumento en peso que experimenta un agregado, ya sea grava o arena, debido a la presencia de agua en sus poros internos, sin considerar el agua que se queda en la parte externa de las partículas [17].

2.2.5 Gravedades Específicas

- Gravedad Especifica SH

La densidad relativa, también conocida como gravedad especifica SH (seca al horno), es un valor utilizado para comparar la densidad de un agregado con el agua. Este parámetro se emplea principalmente en cálculos donde el agregado está completamente seco o se asume que no posee humedad [18]

- Gravedad Especifica SSS

La gravedad especifica en condición SSS (superficie seca saturada) se utiliza cuando el agregado ha absorbido suficiente agua, es decir, cuando este húmedo internamente pero su superficie se encuentra seca. Esta condición indica que los poros están llenos, por lo tanto, se considera que la absorción ha sido completada[18]

- Gravedad Especifica aparente

Se refiere únicamente a la parte sólida del agregado, sin considerar los poros internos que pueden llenarse con agua. Es decir, se considera solo el material compacto de las partículas, excluyendo cualquier vacío accesible al agua en su interior [18]

2.2.6 Espesores de capas granulares

El espesor de las capas granulares es un factor de gran importancia en el diseño de un pavimento flexible, ya que influye directamente a la durabilidad, rendimiento y la capacidad de soporte ante cargas cíclicas sobre la estructura. Entre los principales aspectos que se consideran, para determinar el espesor adecuado de las capas granulares del pavimento se incluyen, el tráfico, las condiciones climáticas y la geometría vial. Además, de la magnitud de la carga que incide directamente en los espesores requeridos[7]

2.2.7 Humedad

- Contenido de humedad

La humedad es una propiedad de los materiales pétreos, la cual relaciona el peso de agua presente en una determinada muestra con el peso seco de la misma. Es decir, la proporción de agua presente en una muestra y se expresa normalmente en porcentaje[19].

- Humedad optima

La humedad optima es el porcentaje de agua en el cual un suelo o agregado, al ser compactado bajo una determinada carga o energía específica, alcanza su densidad máxima. Este valor se obtiene a través del ensayo Proctor, que permite identificar el punto exacto donde el material se compacta de manera más eficiente [20]

2.2.8 Macro textura

Corresponden a irregularidades de mayor tamaño que se observan en la superficie del pavimento, debido a la presencia de áridos o piedras dentro de la mezcla. Estas irregularidades influyen directamente en la fricción que experimentan los vehículos, principalmente cuando transitan a altas velocidades. Además, facilitan la evacuación del agua de la superficie, reduciendo el riesgo del deslizamiento mejorando así la seguridad vial [21]

2.3 Propiedades mecánicas del pavimento flexible

2.3.1 Módulo de Rigidez

La rigidez de un pavimento es un concepto difícil de definir con exactitud, ya que su clasificación puede depender del criterio técnico que se utiliza. La rigidez del pavimento como de sus diferentes capas granulares, se relaciona con su capacidad para resistir deformaciones bajo cargas repetitivas, este se determina a partir del módulo resiliente[22]

2.3.2 Módulo de Young

El módulo de Young, o módulo de deformación, se expresa como una relación entre el esfuerzo y deformación dentro de un rango elástico. En los suelos el módulo no es único ni constante. ya que depende directamente del estado del esfuerzo, el tipo de carga, y el

contenido de humedad. Por lo tanto, se emplean diferentes valores de módulo según el tipo análisis geotécnico requerido[23]

2.3.3 Estimación del CBR

El CBR (California Bearing Ratio) evalúa la resistencia a corte de un suelo compactado, bajo condiciones controladas de humedad y densidad. El ensayo consiste en medir la fuerza necesaria para que un pistón estándar penetre una muestra de suelo. El resultado se muestra en porcentaje, y este valor permite estimar la capacidad de soporte que posee el suelo, lo cual es de gran importancia en el diseño de pavimentos[24].

$$Mr[psi] = 9790.2 * \ln(\%C.B.R) - 24004$$

2.3.4 Estabilidad y Flujo Marshal

La estabilidad de una mezcla asfáltica se define como su capacidad para resistir deformaciones y desplazamientos bajo carga, y depende de la fricción y cohesión entre los agregados. Por otro lado, la fluencia o flujo representa la deformación total que experimenta la mezcla ante la aplicación de una carga máxima. Tanto como la estabilidad y fluencia están directamente influenciados por el contenido de asfalto presente en la mezcla [25]

2.4 Propiedades hidráulicas del pavimento flexible

2.4.1 Permeabilidad

La permeabilidad es la capacidad de un material poroso para permitir el paso de líquidos, como el agua. Esta se relaciona con la resistencia del material, ya que, a mayor resistencia, la permeabilidad tiende a disminuir, limitando así el aprovechamiento del recurso hídrico[26]

La permeabilidad está determinada por varios factores que influyen en la facilidad con la que un fluido puede atravesar el material, como la porosidad y tortuosidad de vacíos, ya que estos determinan el espacio disponible y la complejidad del recorrido del fluido. Otros factores que influyen son la relación de vacíos y la humedad presente en el suelo, ya que estos se relacionan directamente con su compactación y su capacidad de conducción[27]

2.4.2 Velocidad de escorrentía

La escorrentía es el agua de lluvia que no se infiltra ni se evapora, y fluye sobre la superficie hacia causes naturales o sistemas de drenaje. Este proceso permite evacuar el excedente de agua a través de desagües hasta incorporarse a la red fluvial. La velocidad de

escorrentía indica que tan rápido se desplaza este flujo sobre la superficie, dependiendo directamente de factores como intensidad, pendientes topográficas, ya que a partir de esto puede variar dicha velocidad[28]

CAPÍTULO III. METODOLOGIA.

3.1 Tipo de investigación

La investigación adoptará un enfoque cualitativo, ya que se llevará a cabo ensayos de laboratorio sobre muestras recolectadas en campo, a partir de los cuales se obtendrán datos numéricos, los cuales eran analizados con la finalidad de evaluar las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas del pavimento flexible en la parroquia San Andrés.

3.2 Diseño de la investigación

La presente investigación adopta un diseño descriptivo, ya que su objetivo principal es analizar y caracterizar las propiedades de un material en función de los resultados obtenidos, de los diferentes ensayos de laboratorio.

3.3 Definición de la muestra

3.3.1 Población

La población para la presente investigación corresponde a las diferentes capas de material granular, que conforma la estructura del pavimento flexible, del tramo de prueba en la parroquia San Andrés.

3.3.2 Muestra

La muestra seleccionada proviene del material granular de las diferentes capas: capa granular, base antigua subbase antigua y subrasante, recolectado en un tramo de prueba de aproximadamente 5 kilómetros. Las perforaciones se llevaron a cabo en sectores previamente identificados, eligiendo así, las más apropiadas en cuanto a accesibilidad y condiciones de seguridad, con el fin de obtener las muestras necesarias.

3.3.3 Tipo de muestreo


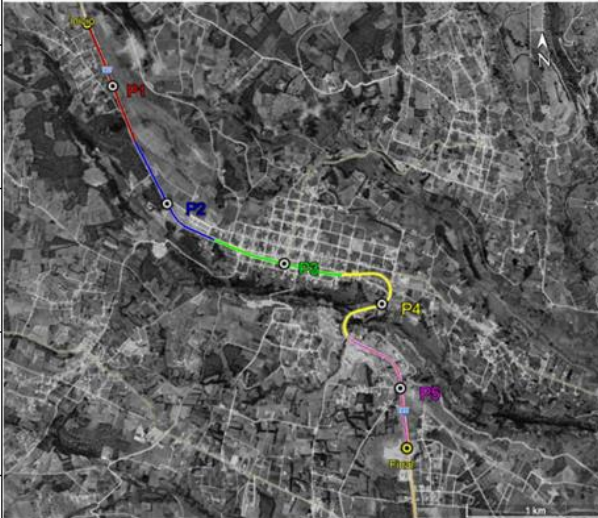




Se empleó un método de muestreo estratificado con selección sistemática, que consistió en realizar perforaciones en distintas zonas a lo largo de la vía. La estratificación se basó en la uniformidad del material encontrado en los distintos segmentos del trayecto, permitiendo así una buena caracterización y representación de las diferentes capas.

3.3.4 Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra corresponde a un tramo de prueba con una longitud aproximada de 5 kilómetros, correspondiente a la vía Panamericana E35, en la parroquia San

Andrés. En este tramo se distribuyeron cinco puntos de análisis, ubicados en intervalos de un kilómetro, en los cuales se realizaron perforaciones en zonas estratégicas para la obtención de muestras.

3.3.5 Ubicación de las Muestras

N.-	Muestra	Coordenadas		UBICACIÓN DE LAS MUESTRAS
		Este	Norte	Parroquia San Andres - Guano
1		754299	98252778	
2		754693	9824355	
3		755562	9823883	
4		755996	9823442	
5		756378	9822938	

En la Figura 3 se detalla las ubicaciones donde se realizaron la extracción de núcleos del pavimento flexible. **gura 3.** Ubicación de las muestras.

3.4 Diagrama Metodológico

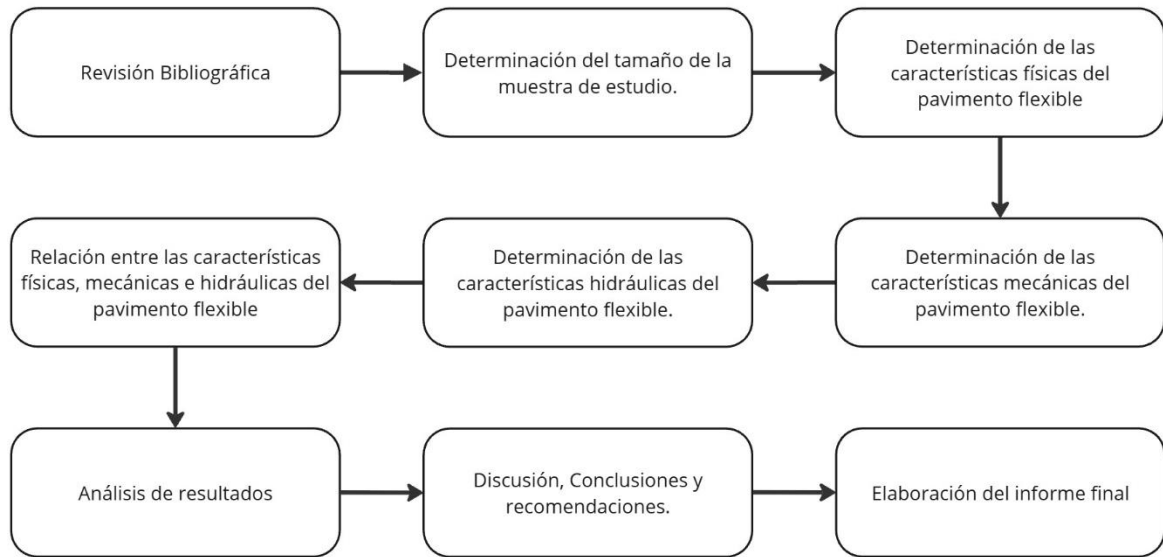


Figura 4. Metodología propuesta.

3.5 Procedimientos

3.5.1 Ensayos de laboratorio

3.5.1.1 Granulometría de materiales Granulares

Según INEN (2011), se denomina análisis granulométrico al procedimiento que permite conocer cómo se distribuyen, en porcentaje, los diferentes tamaños de partículas que componen un material granular, a través del uso de diferentes tamices con aberturas de distintos tamaños[29]

3.5.1.2 Límites de Atterberg

Se determina los dos límites correspondiente al límite líquido y límite plástico, con el fin de determinar el índice de plasticidad de las muestras, además del contenido de agua a partir del cual el material deja de presentar un comportamiento plástico, denominado límite plástico.

Para el límite líquido la norma AASHTO T89-68, menciona tomar una fracción de muestra que pase el tamiz N° 40, mezclarlo con agua hasta formar una pasta homogénea, y colocarlo en el aparato de Casagrande. Posteriormente se determina el número de golpes necesarios para cerrar la llanura aproximada de 13 mm de ancho. La muestra húmeda se seca

al horno por 24 h con el fin de determinar el peso seco, y a partir de estos valores se calcula el porcentaje de humedad y el límite líquido del suelo [30].

De acuerdo con la norma AASHTO T90-70, para el límite plástico menciona preparar una muestra de suelo que pasa el tamiz N° 40, mezclarlo con agua hasta formar una pasta moldeable y forman rollos de 3 mm de diámetro aproximadamente. Cuando los rollos comienzan a agrietarse, se considera que han alcanzado su punto de ruptura plástica. Finalmente, la muestra se pesa en estado húmedo y se seca al horno con el fin de obtener su peso seco, para a partir de ello obtener el Límite plástico[30].

3.5.1.3 Compactación Proctor Estándar

Uno de los procedimientos establecidos por la norma ASTM D698-12e2, en el cual describe el método de compactación estándar, para determinar la relación entre el contenido de agua y a densidad máxima de una muestra de suelo. Este ensayo permite evaluar la compactación del suelo, identificar la densidad máxima seca alcanzable, y determinar la humedad óptima correspondiente, es decir, el contenido de agua con el cual la muestra de suelo logra su densidad máxima [31]

3.5.1.4 Densidad relativa y absorción de materiales granulares

La densidad relativa representa la relación entre la masa del agregado y el volumen que ocupa, considerando su condición seca y su capacidad para desplazar agua. A partir de este parámetro, es posible analizar el comportamiento del material dentro de las mezclas de concreto y su conformación estructural, ya que influye directamente en su comportamiento mecánico y desempeño estructural.

La absorción corresponde el porcentaje de agua que el agregado que es capaz de retener tras permanecer inmerso durante un tiempo determinado. Este valor es de gran importancia ya que incide directamente en la relación agua-cemento, afectando la trabajabilidad y durabilidad de la mezcla, ya que, a mayor porcentaje de absorción menor será la cantidad de agua disponible para la hidratación del cemento.

Para la determinación de la gravedad específica y absorción de agregados gruesos, se emplearon las normativas ASTM C 127, AASHTO T 85. En el caso de los agregados finos que se consideró la normativa NTE INEN 856.

3.5.1.5 Desgaste

El ensayo se lo realiza mediante el uso de la Máquina de Los Ángeles, tomando en cuenta los procedimientos indicados en la normativa ASTM C 131 para agregados pequeños y la ASTM C 535 para agregados grandes (mayores a 19 mm).

La Máquina de Los Ángeles es un equipo de laboratorio empleado para determinar la resistencia al desgaste superficial y la susceptibilidad a la fragmentación de los agregados pétreos. Este ensayo combina acciones de abrasión e impacto bajo condiciones controladas, permitiendo evaluar la durabilidad de los materiales [32]

Entre las características principales del equipo se destacan:

- El tambor cilíndrico de acero: elemento principal del equipo, cuyas dimensiones normalizadas corresponden a 70 cm de diámetro y 50 cm de longitud.
- Las esferas de acero: cuerpos metálicos en forma de esferas cuya masa está estandarizada entre 390 g y 445 g cada una, generando impacto y abrasión sobre los agregados.
- Compuerta de carga: está diseñada para introducir de manera controlada la muestra de agregado y las esferas de acero necesarias
- La velocidad de rotación: se mantiene de manera constante entre 30 y 35 revoluciones por minuto, garantizando condiciones uniformes en el ensayo.
- El sistema de conteo de revoluciones: mecanismo automático que detiene la máquina, al alcanzar el número de giros especificado por la normativa aplicable.

3.5.1.6 Estabilidad y flujo Marshall

El flujo Marshall corresponde a la deformación total que presenta una mezcla asfáltica durante el ensayo de estabilidad, reflejando su elasticidad y plasticidad. Su valor lo conocemos a partir de la intersección de la tangente inicial de la curva carga-deformación con respecto al eje de deformaciones, hasta el punto de que tiende a estabilizarse, generalmente en la carga máxima. Los resultados que se encuentran fuera de rango establecido pueden indicar una mezcla demasiado plástica o, por el contrario, frágil estructuralmente.

Por otro lado, la estabilidad Marshall se define como la carga máxima que resiste la mezcla asfáltica, al ser sometida a una carga de velocidad y deformación constante. Este

valor representa el punto donde el incremento de carga deja de aumentar y la curva tiende a volverse horizontal. Dicha magnitud está directamente influenciada por la granulometría del material granular, contenido de ligante y las condiciones de compactación.

Según la ASTM D 6927 – 22, menciona que para llevar a cabo el ensayo se fabrican probetas cilíndricas de pavimento asfáltico compactadas con el martillo Marshall. Posteriormente sumergir las muestras en agua a una temperatura constante de $60 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 30 a 40 min. Luego se coloca en el dispositivo Marshall y se aplica una carga con una velocidad constante de 50 mm/min hasta que ocurra la falla. Se registran las cargas máximas correspondientes a la estabilidad y las deformaciones relacionadas al flujo, los cuales serán comparadas con especificaciones técnicas o resultados ya establecidos para verificar sus requerimientos de calidad[33]

3.5.1.7 Volumetría y ensayos de desempeño en los núcleos

- **Gravedad específica bruta y Densidad de la mezcla asfáltica compactada**

La gravedad específica bruta (Bulk) y la densidad de una mezcla asfáltica compactada, son parámetros indispensables para caracterizar las propiedades volumétricas de la misma y su peso unitario.

Para el cálculo de la densidad Bulk se utiliza la siguiente ecuación:

$$\rho_{\text{bulk}} = \frac{W_s}{W_{\text{SSS}} - W_{\text{sum}}}$$

Donde:

W_s = Peso seco de la muestra [g]

W_{SSS} = Peso saturado superficialmente seco de la muestra [g]

W_{sum} = Peso sumergido de la muestra [g]

Este procedimiento es esencial para verificar el grado de compactación de la muestra analizada, además de predecir o interpretar el comportamiento estructural que esta puede presentar.

Para la ejecución del ensayo se requiere de equipamiento especializado, entre los cuales se destacan los siguientes:

- Balanza de precisión de 0.1 g, capaz de registrar el peso del espécimen suspendido en el agua.
- Baño con agua que mantenga una temperatura controlada de 25 ± 1 °C.
- Termómetro de precisión con una resolución mínima de 0.5 °C.
- Canastilla metálica, adecuada para la inmersión y soporte de las probetas durante el ensayo.

- **Gravedad específica teórica máxima y densidad de la mezcla asfáltica**

Los métodos utilizados para determinar la gravedad específica teórica máxima (Gmm) y la densidad teórica de una muestra de mezcla asfáltica, tiene como finalidad establecer la densidad máxima que puede alcanzar la mezcla en condiciones ideales, es decir, sin considerar la presencia de aire.

Para la ejecución se emplea equipo especializado, que incluyen: matraz de vacío calibrado, bomba de vacío, balanza de precisión y un baño con agua a una temperatura constante de 25 ± 1 °C.

El ensayo implica en desmoronar la mezcla asfáltica, someterlo a la bomba de vacío para eliminar el aire atrapado, y luego llenar el matraz con agua el peso obtenido, con la finalidad de determinar el volumen desplazado y, a partir de ello, calcular la gravedad específica.

Para el cálculo de la Gmm se tiene la siguiente expresión

$$G_{mm} = \frac{C}{C + F + E}$$

Donde:

C = Masa de la muestra en estado seco [g]

F = Masa de picnómetro calibrado a la temperatura del ensayo [g]

E = Masa del picnómetro con la muestra más agua aforado a la misma temperatura [g]

El valor obtenido representa la densidad máxima teórica de la mezcla asfáltica, sin considerar los vacíos. Este parámetro es fundamental para el análisis volumétrico y la evaluación del grado de compactación alcanzado, tanto en campo o a su vez en el laboratorio.

3.5.2 Ensayos in Situ

3.5.2.1 Extracción de núcleos

La extracción de núcleos en pavimentos flexibles consiste en realizar una perforación cilíndrica en la capa asfáltica, mediante una perforación de núcleo equipada con una broca diamantada, con el fin de obtener probetas cilíndricas representativas del material. Este procedimiento está establecido en normativas como ASTM D5361. Los especímenes extraídos son empleados en ensayos de laboratorio, para la determinación de diferentes propiedades del pavimento. Este procedimiento es de gran importancia, ya que ayuda a verificar el grado de compactación alcanzado en obra, además de servir método de control de calidad y aceptación de la mezcla asfáltica[34]

3.5.2.2 Macro textura del pavimento

La Macro textura de un pavimento flexible corresponde a las irregularidades superficiales del recubrimiento vial. Esta característica influye directamente en la interacción del neumático con el pavimento, ya que condiciona la capacidad de evacuación del agua y la adherencia efectiva entre el caucho y la superficie.

3.5.2.3 Elasticidad y rigidez in situ Método GEOGAUGE

Este método consiste en el uso de un dispositivo portátil para la determinación in situ de la rigidez estructural y el módulo de elasticidad (módulo de Young) en materiales granulares no tratados. Este instrumento constituye una herramienta de gran relevancia en proyectos de ingeniería vial, dado que posibilita la verificación de la eficiencia de la compactación sin necesidad de la extracción de muestras ni la aplicación de ensayos destructivos.

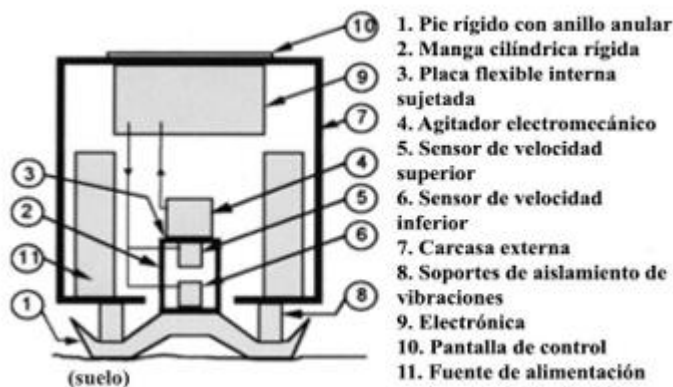


Figura 5. Esquema Geo Gauge. Adaptado de: ASTM, 2007.

La rigidez estructural de las capas constituye un parámetro fundamental para estimar la deflexión admisible, que permita garantizar una adecuada disipación y transferencia de cargas dinámicas, provocadas por el tráfico, que van desde la carpeta asfáltica hacia las capas subyacentes, como la base, subbase, El módulo de elasticidad (Modulo de Young) representa principalmente la relación de esfuerzo y la deformación del material, lo que permite comprender su grado de compresibilidad.

El equipo Geo Gauge opera a través de la generación de vibraciones en un rango de 25 frecuencias controladas, las cuales inducen pequeñas deflexiones en las capas del suelo, posteriormente, midiendo los desplazamientos resultantes, determinando así la rigidez dinámica del material o suelo.

3.5.2.4 Tasa de infiltración en el pavimento flexible.

El ensayo con el infiltró metro de doble anillo consiste en la interacción concéntrica de dos anillos metálicos colocados sobre la superficie del pavimento flexible. Posteriormente se llenan con agua hasta alcanzar un nivel constante. Durante la prueba, se registra el volumen de agua que se suministrado en el anillo interior para mantener el nivel, ya que a partir de este dato es posible determinar la tasa de infiltración.

Es importante considerar la preparación de la superficie y la hermeticidad en el sellado de los anillos sobre el pavimento, con el fin de evitar filtraciones laterales y garantizar la validez de los resultados[35]

Las dimensiones de los anillos empleados en el ensayo fueron las siguientes: El anillo exterior presento un diámetro de 450 mm, el anillo interior tuvo un diámetro de 250 mm. Ambos elementos contaron con una altura de 600 mm los cuales fueron fabricados de acero galvanizado con un espesor de 1.5 mm.

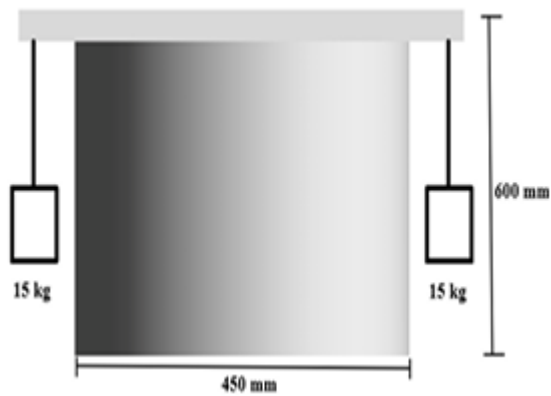


Figura 6. Esquema del infiltrómetro de doble anillo. (Cepeda & Rosero, 2024).

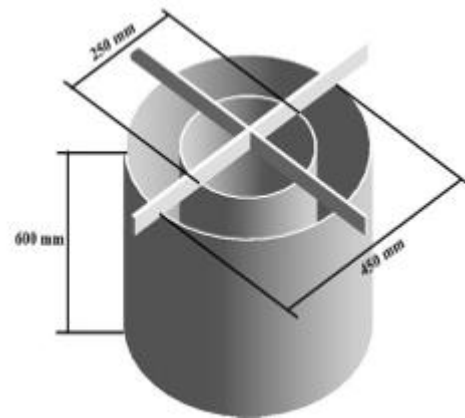


Figura 7. Vista lateral infiltrómetro de doble anillo. (Cepeda & Rosero, 2024).

Con el fin de evitar posibles fugas y un buen contacto perimetral de los cilindros con el asfalto, se incorporó en el contorno de ambos cilindros un sello de caucho con refuerzo metálico interno (burlete). Este material fue seleccionado debido a su facilidad de adaptarse a la forma de los cilindros, asegurando así una correcta hermeticidad durante la ejecución del ensayo.



Figura 8. Perfiles Burletes Alambrado 341



Figura 9. Vista lateral y superior del perfil.

Una vez instalado el sello de caucho sobre el perímetro de ambos cilindros, se procede a posiciona el infiltrómetro sobre los diferentes puntos donde se ejecutará el ensayo. Para garantizar la hermeticidad en el ensayo y evitar pérdida de agua por los bordes de anillo, se aplica una carga de 15 kg aproximadamente en cada uno de sus cuatro apoyos estructurales, alcanzando un total de 60 kg en conjunto.



Figura 10. Colocación caucho en el infiltrómetro.



Figura 11. Colocación de silicona.

Con el propósito de asegurar una mayor estanquidad en la ejecución del ensayo, se aplicará un sellador adhesivo (silicona) en las juntas correspondientes a la unión de los dos extremos del caucho, en ambos bordes de los cilindros, utilizando una pistola dispensadora con el fin de garantizar una distribución uniforme del material.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 PROPIEDADES FÍSICAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

4.1.1 Espesores

La Tabla 1 presenta los espesores de las capas del pavimento flexible, desde la carpeta asfáltica hasta la subrasante, lo que permite identificar la distribución estructural y evaluar el desempeño de la vía. Según varias tesis de universidades como la EPN, ESPE y UTA reportan que pavimentos antiguos presentan espesores de entre 60 cm y 90 cm esto debido al recapeo de la vía.

Tabla 1. Espesores capas pavimento.

Capas	1 [cm]	2 [cm]	3 [cm]	4 [cm]	5 [cm]	Promedio [cm]
C Rodadura	19,2	18,3	17,2	18,5	16,4	18
C Granular	11,2	10,6	11,6	10	11,1	11
C Asfáltica Antigua	6,3	6,5	6,4	6	7,1	6
Base Antigua	24,5	25,2	26,1	24	23	25
Sub-Base Antigua	16,2	15,1	14,8	15	15,5	15
Sub Brasante	-	-	-	-	-	-
H total estructura	77,4	75,7	76,1	73,5	73,1	75,16

La capa de rodadura en comparación con la MTOP 2012, 2016 establece un rango de entre 8 cm y 12 cm, sin embargo, la capa de rodadura sobrepasa el rango típico, lo que indica que ha sido reasfaltada anteriormente.

4.1.2 Granulometría

A continuación, se exponen diferentes tablas y figuras en los cuales se muestran los resultados obtenidos de los análisis granulométrico-realizados a los materiales, conforme a las diferentes capas identificados en la estructura del pavimento flexible, además de la clasificación SUCS y el tipo de materia al cual se asemeja.

A partir del promedio de los diferentes análisis granulométricos, se presenta a continuación la curva granulométrica que representa la distribución porcentual de tamaños de partículas, de las distintas capas del pavimento el tramo de prueba vial analizado.

Tabla 2. Resultado análisis granulométrico – Capa granular

Tamiz ASTM	Abertura en [mm]	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	Promedio		
		Pasa [%]	Pasa [%]	Pasa [%]	Pasa [%]	Pasa [%]	Pasa [%]		
1" 1/2"	38,1	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	Grava	Gruesa
1"	25	93,70%	95,96%	96,03%	97,24%	98,64%	96,31%		
3/4"	19	87,51%	94,36%	92,04%	94,61%	96,20%	92,94%		
1/2"	12,5	80,72%	89,92%	87,40%	91,45%	92,71%	88,44%	Grava	Fina
3/8"	9,5	75,47%	87,25%	82,36%	87,85%	89,45%	84,48%		
No. 4	4,75	65,06%	63,37%	69,35%	74,44%	81,79%	70,80%	Arena	Gruesa
No. 10	2	51,94%	48,27%	54,25%	56,54%	66,12%	55,43%		
No. 40	0,425	31,89%	29,84%	30,06%	32,34%	39,07%	32,64%		
No. 100	0,15	10,74%	10,78%	10,73%	11,50%	16,60%	12,07%	Arena	Fina
No. 200	0,075	4,16%	3,42%	3,33%	2,40%	3,73%	3,41%		
Coefficiente de Uniformidad [CU]		24,52	28,10	19,83	17,67	13,40	20,70		
Coefficiente de Curvatura [CC]		0,32	0,34	0,46	0,45	0,53	0,42		
Base Tipo		Clase 3	Clase 3	Clase 3	Clase 3	Clase 3	Clase 3		
Clasificación SUCS		SP	SP	SP	SP	SP	SP		

Tabla 3. Resultado análisis granulométrico - Capa base

Tamiz ASTM	Abertura en [mm]	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	Promedio		
		Pasa [%]	Pasa [%]	Pasa [%]	Pasa [%]	Pasa [%]	Pasa [%]		
1" 1/2"	38,1	96,84%	95,04%	100,00%	100,00%	100,00%	98,38%	Grava	Gruesa
1"	25	91,91%	90,48%	95,20%	96,37%	97,68%	94,33%		
3/4"	19	87,72%	86,13%	91,62%	93,71%	94,34%	90,70%		
1/2"	12,5	81,57%	80,28%	83,73%	86,22%	88,33%	84,02%	Grava	Fina
3/8"	9,5	77,60%	74,67%	77,96%	81,38%	82,39%	78,80%		
No. 4	4,75	66,43%	61,53%	68,92%	70,13%	64,44%	66,29%	Arena	Gruesa
No. 10	2	54,98%	49,03%	56,55%	57,19%	44,70%	52,49%		
No. 40	0,425	32,10%	32,14%	35,82%	31,80%	29,78%	32,33%		
No. 100	0,15	13,97%	14,03%	17,70%	12,09%	11,70%	13,90%	Arena	Fina
No. 200	0,075	4,59%	2,94%	4,24%	3,14%	1,78%	3,34%		
Coefficiente de Uniformidad [CU]		26,13	36,64	25,23	18,91	29,35	27,25		
Coefficiente de Curvatura [CC]		0,43	0,28	0,36	0,49	0,36	0,39		
Base Tipo		Clase 3	Clase 3	Clase 3	Clase 3	Clase 3	Clase 3		
Clasificación SUCS		SP	SP	SP	SP	SP	SP		

Tabla 4. Resultado análisis granulométrico – Capa Sub-Base.

Tamiz ASTM	Abertura en [mm]	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	Promedio		
		Pasa [%]	Pasa [%]	Pasa [%]	Pasa [%]	Pasa [%]	Pasa [%]		

1" 1/2"	38,1	100,00%	100,00%	95,73%	96,64%	95,69%	97,61%		
1"	25	97,49%	95,73%	91,63%	93,65%	91,72%	94,04%		
3/4"	19	95,16%	91,69%	87,80%	90,90%	88,49%	90,81%		
1/2"	12,5	89,87%	84,68%	78,61%	84,50%	83,61%	84,25%	Grava	Fina
3/8"	9,5	85,03%	80,31%	72,25%	81,02%	79,04%	79,53%		
No. 4	4,75	69,22%	69,28%	58,84%	63,02%	66,57%	65,39%	Arena	Gruesa
No. 10	2	56,18%	51,57%	48,03%	51,63%	57,07%	52,90%		
No. 40	0,425	36,37%	30,25%	30,84%	32,34%	41,16%	34,19%	Arena	Fina
No. 100	0,15	15,85%	13,21%	12,94%	12,07%	17,47%	14,31%		Arena
No. 200	0,075	4,72%	2,29%	4,29%	3,36%	3,42%	3,62%	Finos	
Coefficiente de Uniformidad [CU]		24,72	24,68	42,56	29,69	25,17	29,36		
Coefficiente de Curvatura [CC]		0,35	0,47	0,27	0,30	0,25	0,33		
Base Tipo		Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1		
Clasificación SUCS		SP	SP	SP	SP	SP	SP		

Tabla 5. Resultado análisis granulométrico - Capa subrasante.

Tamiz ASTM	Abertura en [mm]	M 1 Pasa [%]	M 2 Pasa [%]	M 3 Pasa [%]	M 4 Pasa [%]	M 5 Pasa [%]	PROMEDIO Pasa [%]		
1" 1/2"	38,1	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%		
1"	25	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	Grava	Gruesa
3/4"	19	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%		
1/2"	12,5	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	Grava	Fina
3/8"	9,5	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%		
No. 4	4,75	92,81%	93,62%	94,03%	97,49%	98,27%	95,24%	Arena	Gruesa
No. 10	2	81,90%	84,21%	84,01%	91,46%	94,30%	87,18%		
No. 40	0,425	59,66%	63,28%	62,59%	68,34%	70,91%	64,96%	Arena	Fina
No. 100	0,15	23,86%	28,28%	27,04%	25,13%	30,72%	27,01%		Arena
No. 200	0,075	1,90%	7,82%	5,77%	2,51%	4,88%	4,58%	Finos	
Coefficiente de Uniformidad [CU]		4,49	4,77	4,58	3,68	3,72	4,77		
Coefficiente de Curvatura [CC]		0,76	0,80	0,79	0,87	0,79	0,80		
Clasificación SUCS		SP	SP-SC	SP-SC	SP	SP	SP		

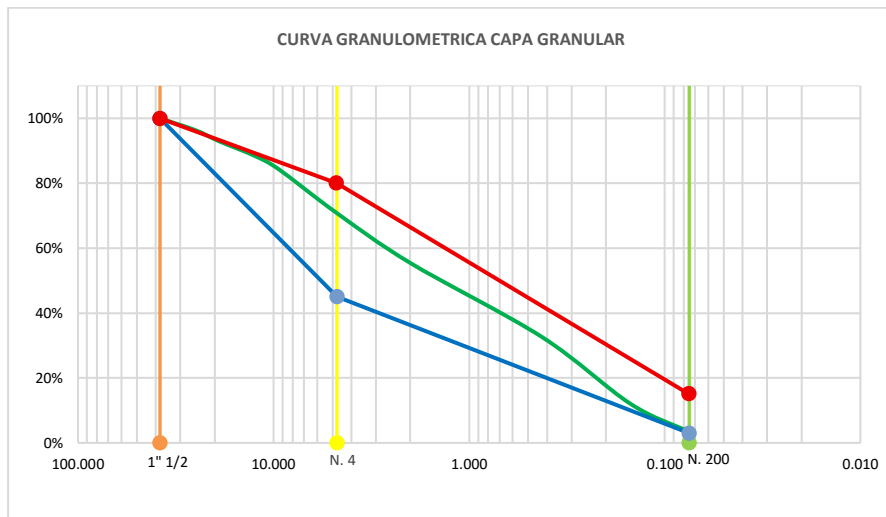


Figura 12. Curva Granulométrica Capa granular.

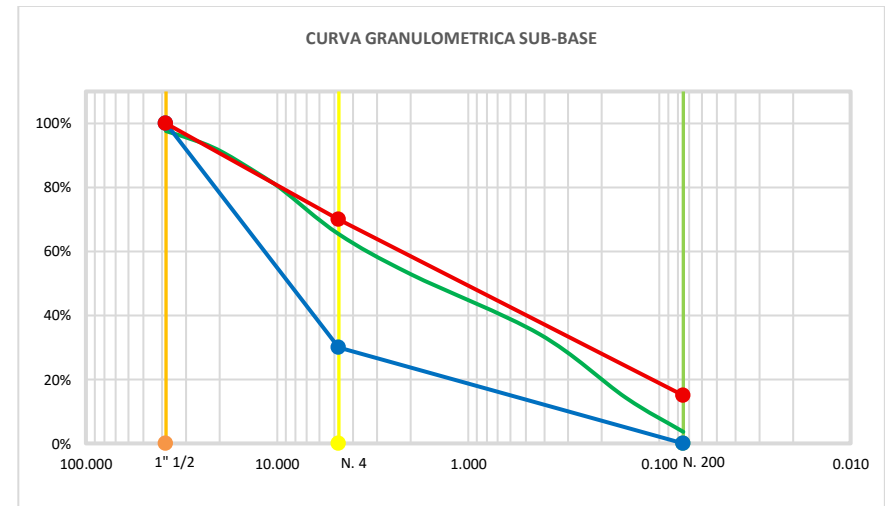


Figura 14. Curva Granulométrica Capa Sub-Base.

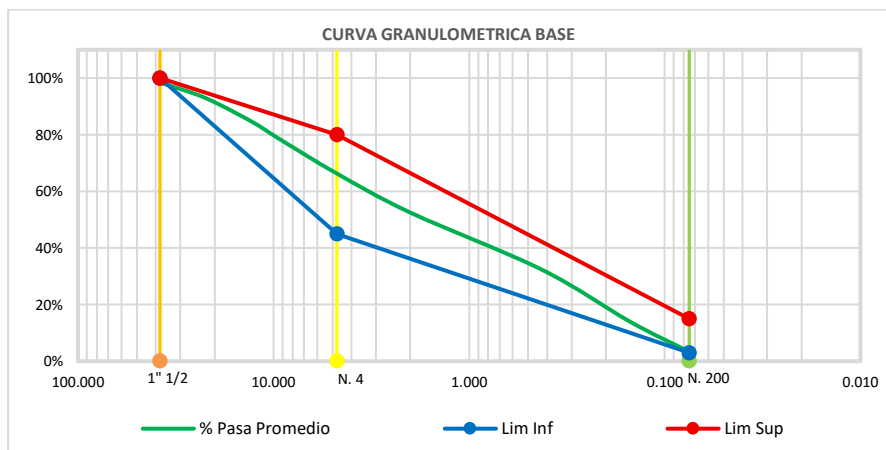


Figura 13. Curva Granulométrica Capa Base.

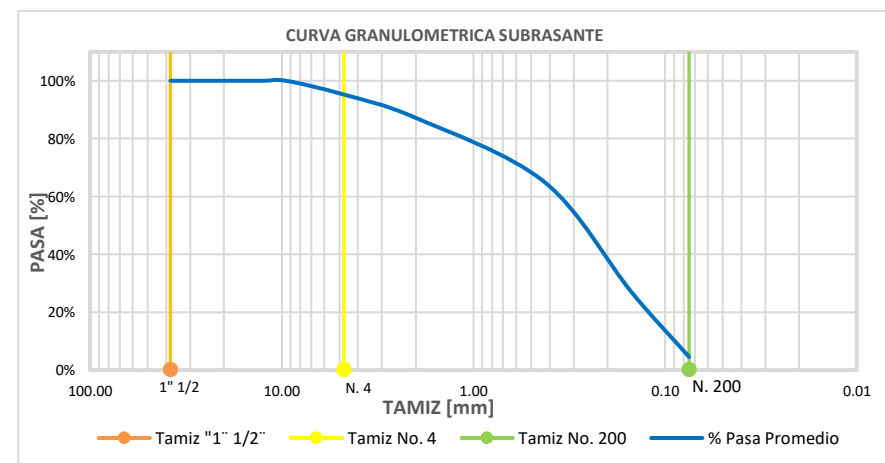


Figura 15. Curva Granulométrica Capa Subrasante.

Las curvas granulométricas de las cuatro capas del pavimento flexible evidencian una transición en la distribución de tamaños, desde materiales más finos en la subrasante hasta gradaciones controladas en las capas superiores; sin embargo, las Figura 12 revelan que la capa granular muestra un ajuste más estricto con respecto a su límite superior e inferior garantizando un soporte competente de la carpeta asfáltica, la Figura 13 correspondiente al porcentaje promedio que pasa de la base, presenta pendientes irregulares y poco continuas, indicativas de una distribución deficiente de partículas. De acuerdo con el análisis de la base, los coeficientes de uniformidad $C_u = 27.25$ y curvatura $C_c = 0.39$, junto con los parámetros establecidos por el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), permiten clasificarla como un material mal graduado, semejante a una base de clase 3, la (MOP 001F, 2002) la define como una base constituida principalmente de fragmentos de roca o grava triturada, además deberá hallarse graduadas uniformemente dentro de los límites granulométricos indicados.

De manera similar la Figura 14 correspondiente a la subbase, presenta el comportamiento propio de una arena mal graduada asemejándose bastante a una subbase clase 1, esta según (MOP 001F,2002) está formada por agregados gruesos provenientes de trituración de grava o roca, mezclado con arena natural con el fin de alcanzar la granulometría especificada, Por último, la Figura 15, muestra la curva granulométrica de la subrasante, la cual se clasifico como una arena mal graduada con presencia de arcilla, debido a su gran porcentaje de contenido de finos.

4.1.3 Ensayo Limite Liquido y Plástico

Tabla 6. Resultados de las características de las capas granulares del pavimento flexible.

Capas		M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	PROMEDIO
Capa Granular	Limite Liquido	16,97%	17,17%	14,93%	15,88%	16,85%	16,36%
	Limite Plástico	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	índice Plasticidad	NP	NP	NP	NP	NP	NP
Capa Base	Limite Liquido	16,45%	16,95%	20,76%	18,19%	18,50%	18,17%
	Limite Plástico	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	índice Plasticidad	NP	NP	NP	NP	NP	NP
Capa Sub-Base	Limite Liquido	22,22%	14,85%	15,08%	14,97%	19,20%	17,26%
	Limite Plástico	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	índice Plasticidad	NP	NP	NP	NP	NP	NP
Capa Subrasante	Limite Liquido	21,09%	22,67%	21,25%	24,79%	23,66%	22,69%
	Limite Plástico	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

La Tabla 6 se muestran los valores determinados del límite líquido. Estos valores tienden a disminuir para las capas más profundas, esto puede ser debido a que las partículas finas tienden a migrar a las partes inferiores durante la colocación. Además, el hecho que se encuentren en profundidades más grandes hace que conserven mejor su humedad natural. Todos los estratos están dentro de los parámetros establecidos por la (MOP 001F,2002), el cual menciona un límite líquido máximo de 25%. En el análisis de todas las muestras realizadas no se obtuvo la presencia de límite plástico ni índice de plasticidad, debido a que, al ejecutar el ensayo que consiste en realizar rollos cilíndricos de aproximadamente 3 mm de diámetro, las muestras presentaron fisuras y rupturas, evidenciando la inexistencia de plasticidad en las muestras de analizadas.

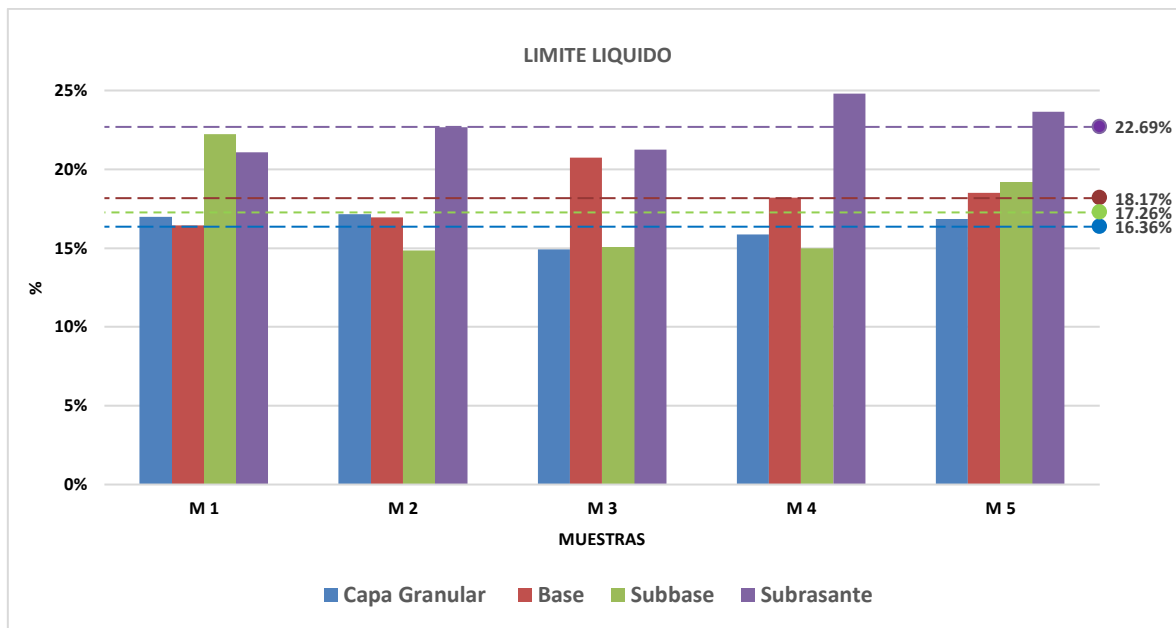


Figura 16. Resultados límite líquido.

En la figura 16 se muestran los resultados del límite líquido obtenidos para las distintas capas del pavimento flexible. Se observa como los valores promedios varían entre 16% y 23%, lo cual coincide con los parámetros de la (MOP 001F, 2002) ya que menciona valores de límite líquido menores a 25% e índices de plasticidad menores a 6 para bases granulares. La subrasante es la capa que más porcentaje de humedad, alcanza el cual indica una mayor presencia de finos y, por ende, una mayor retención de humedad.

4.1.4 Densidad y absorción del agregado (grueso y fino).

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de los ensayos de densidad y absorción en el agregado grueso en la Tabla 7 y fino correspondiente a la Tabla 8 de las diferentes capas del pavimento flexible. Cabe señalar que, debido a que la subrasante no presentar presencia de áridos grueso, se hace el ensayo correspondiente al material fino.

Tabla 7. Resultados de pesos específicos y absorción de agregado fino.

AGREGADO FINO					
CAPA	Muestra	Peso específico seco al horno [g/cm3]	Peso específico saturado superficial mente seca [g/cm3]	Peso específico aparente [g/cm3]	Absorción del material [%]
CAPA GRANULAR	M1	2,753	2,833	2,991	2,88%
	M2	2,204	2,320	2,493	5,26%
	M3	1,848	1,905	1,960	3,09%
	M4	1,857	1,934	2,013	4,17%
	M5	1,698	1,757	1,806	3,52%
BASE	M1	2,119	2,212	2,337	4,38%
	M2	2,030	2,146	2,296	5,71%
	M3	1,440	1,538	1,597	6,84%
	M4	2,122	2,262	2,468	6,61%
	M5	1,983	2,110	2,271	6,38%
SUB-BASE	M1	1,495	1,550	1,583	3,73%
	M2	1,525	1,615	1,677	5,93%
	M3	1,513	1,580	1,621	4,38%
	M4	1,834	1,927	2,021	5,04%
	M5	1,742	1,842	1,935	5,71%
SUBRASANTE	M1	1,763	1,883	2,004	6,84%
	M2	1,633	1,733	1,815	6,16%
	M3	1,549	1,647	1,718	6,38%
	M4	1,756	1,848	1,935	5,26%
	M5	1,702	1,815	1,918	1,92%

Tabla 8. Resultados de pesos específicos y absorción de agregado grueso.

AGRAGDO GRUESO					
CAPA	MUESTRA	Peso específico seco al horno [g/cm ³]	Peso específico saturado superficial mente seca [g/cm ³]	Peso específico aparente [g/cm ³]	Absorción del material [%]
CAPA GRANULAR	M1	2,551	2,631	2,773	3,15%
	M2	2,654	2,698	2,778	1,68%
	M3	2,395	2,451	2,538	2,34%
	M4	2,531	2,590	2,691	2,36%
	M5	2,443	2,519	2,646	3,14%
BASE	M1	2,456	2,513	2,604	2,30%
	M2	2,212	2,313	2,459	4,53%
	M3	2,206	2,272	2,363	3,02%
	M4	2,409	2,496	2,639	3,62%
	M5	2,343	2,430	2,568	3,74%
SUB-BASE	M1	2,552	2,639	2,793	3,38%
	M2	2,693	2,791	2,985	3,64%
	M3	2,272	2,337	2,428	2,82%
	M4	2,345	2,417	2,527	3,07%
	M5	2,096	2,165	2,251	3,30%

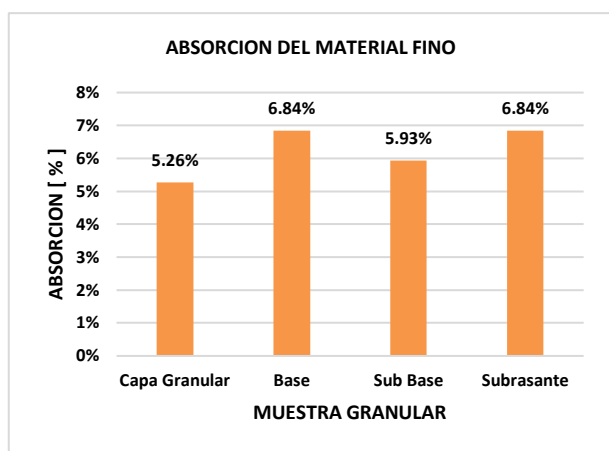


Figura 17. Absorción Material Fino.

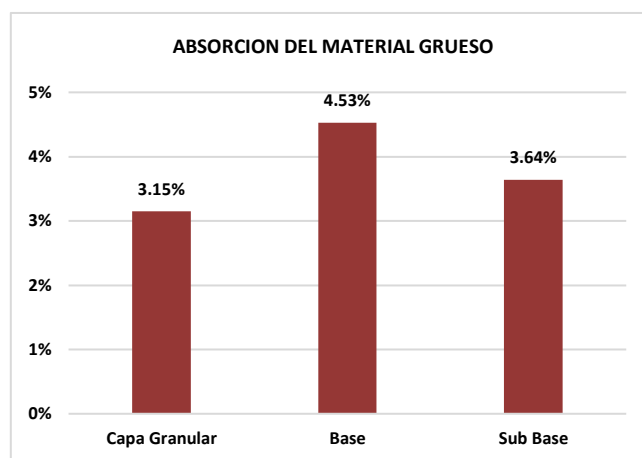


Figura 18. Absorción Material Grueso

Las Figuras 17 y 18, evidencian que el material fino presenta mayores valores de absorción que el material grueso, debido a su mayor porosidad. La capa granular muestra un mejor desempeño con valores bajos, mientras que la base registra valores altos, lo que sugiere una mayor susceptibilidad a la humedad al igual que la subrasante el cual presenta un valor alto, asociado directamente la humedad natural que posee el suelo

4.1.5 Abrasión.

La Tabla 9 se muestran los resultados obtenidos del ensayo de abrasión, así como el promedio de esta. Se observa un desgaste máximo del 23.29%, estando por debajo de 40% que corresponde al límite máximo permitido correspondiente a la capa base del pavimento, al igual que la subbase con el 22.22%, cuyo límite máximo de desgaste permitido corresponde al 50 %, según los criterios establecidos en el (MOP 001F, 2002),

Tabla 9. Resultados de ensayo de degradación.

Capas	Tipo	# Esferas	Revoluciones	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	Degradación Promedio
Capa Granular	A	12	500	15,83%	15,42%	14,87%	14,93%	14,86%	15,18%
Base	A	12	500	23,34%	24,21%	23,24%	22,88%	22,78%	23,29%
Sub-Base	B	11	500	22,66%	23,85%	22,06%	21,55%	20,99%	22,22%
Subrasante	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

4.1.6 Compactación Proctor Estándar

La Tabla 10 muestra un resumen de los resultados obtenidos tras la ejecución del ensayo de Proctor estándar en las diferentes muestra y estratos del pavimento flexible, además de las curvas de compactación obtenidas en el análisis de las bases granulares y subrasante. Los valores de densidad máxima seca de referencia según la (NEVI12, 2013)[36] deben ser no superiores a 3%, lo cual vemos que cumplen todos los estratos analizados

Tabla 10. Resultados del ensayo Proctor estándar.

Estrato	Características	M1	M2	M3	M4	M5	Promedio
Capa Granular	Humedad Optima %	11,88%	10,23%	12,68%	9,30%	12,68%	11,36%
	Densidad máxima seca gr/cm3	1,995	1,985	2,001	2,014	1,992	1,997
Base	Humedad Optima %	12,24%	11,74%	11,58%	10,90%	12,59%	11,81%
	Densidad máxima seca gr/cm3	1,961	1,927	1,963	1,936	1,968	1,951
Subbase	Humedad Optima %	11,33%	12,90%	11,60%	11,33%	11,53%	11,74%
	Densidad máxima seca gr/cm3	1,872	1,824	1,945	1,888	1,769	1,860
Subrasante	Humedad Optima %	18,95%	19,45%	16,13%	18,09%	19,67%	18,46%
	Densidad máxima seca gr/cm3	1,618	1,597	1,620	1,663	1,666	1,633

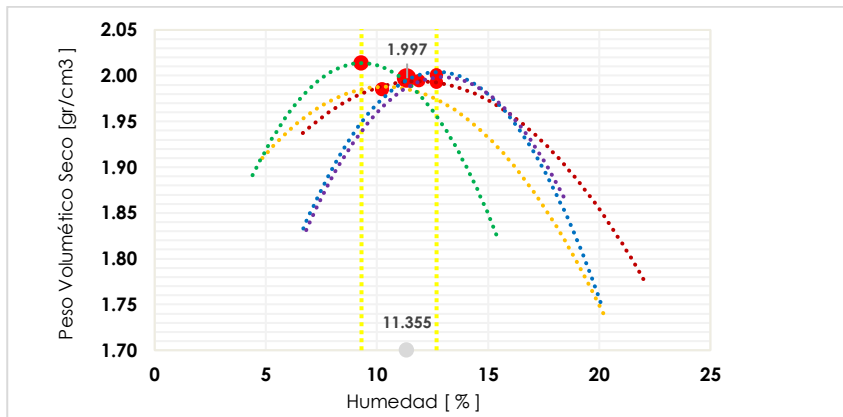


Figura 19. Curvas de compactación de la Capa Granular

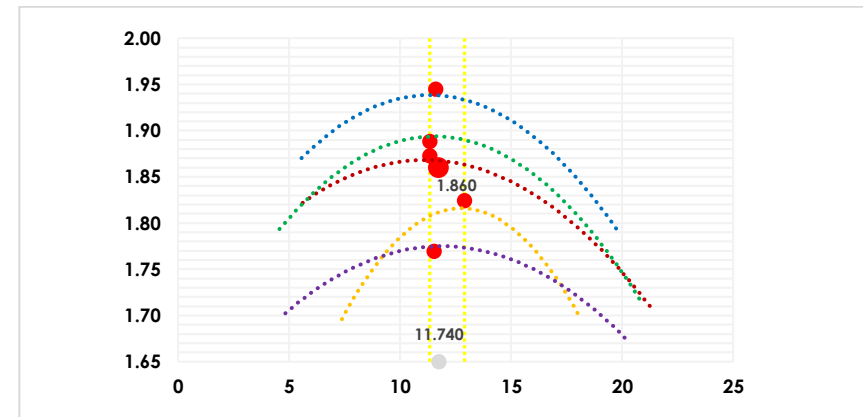


Figura 21. Curvas de compactación de la Subbase.

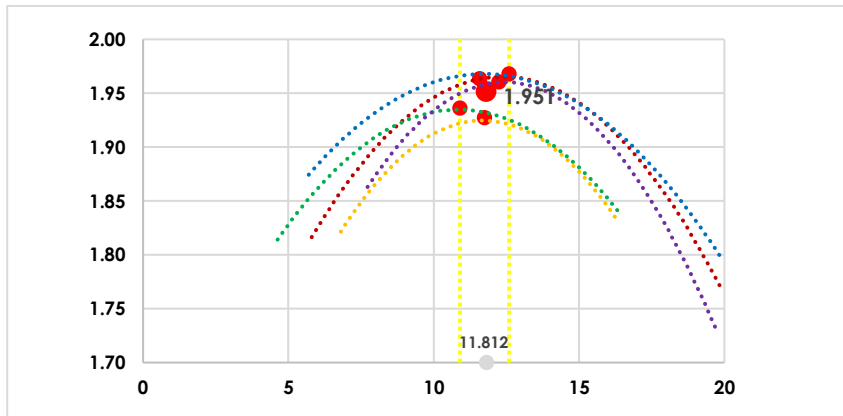


Figura 20. Curvas de compactación de la Base.

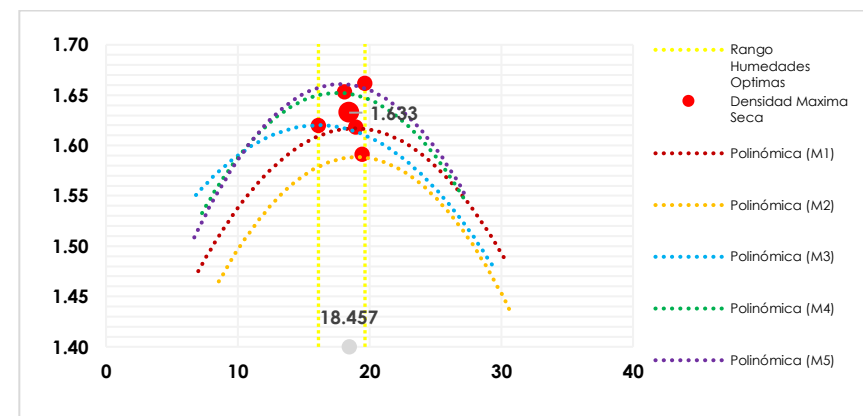


Figura 22. Curvas de compactación de la Subrasante.

Las gráficas presentadas, muestran las curvas de compactación obtenidas para los diferentes estratos de la estructura del pavimento flexible, correspondiente a un tramo de la Panamericana E35 San Andrés, en la cual para los estratos granulares, presentan humedades optimas que varían en un rango de 9 % a 13 %, con los siguientes valores promedios: capa granular 11.355 %, base 11.812 %, subbase 11.740 % y subrasante 18.457 %.

A partir de estas humedades se obtuvo las siguientes densidades máximas secas: capa granular 1.997 T/m³, base 1.951 T/m³, subbase 1.860 T/m³ y subrasante 1.633 T/m³. Se observa la disminución de la densidad máxima seca debido al incremento de la humedad y porcentaje de finos que presentan cada una de las muestras.

4.1.7 Cono de Arena

Tabla 11. Resumen resultados cono de arena.

Características				
Estrato	Humedad Natural [%]	Densidad Suelo Húmedo [gr/cm3]	Densidad Suelo Seco [gr/cm3]	Compactación [%]
Capa Granular	4,54%	1,977	1,892	94,71%
Base	6,77%	1,740	1,630	83,56%
Subbase	6,71%	1,636	1,534	82,52%
Subrasante	15,60%	1,597	1,382	84,67%

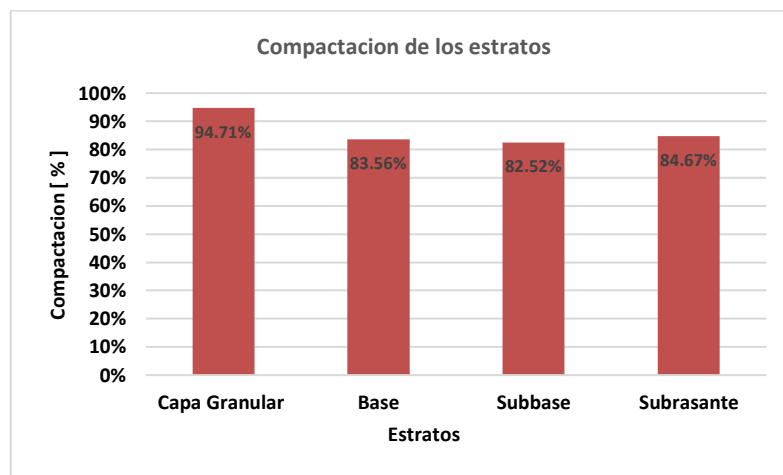


Figura 23. Resumen resultados de compactación.

La Figura 23 muestra la compactación de todos los estratos que comprenden la estructura del pavimento flexible analizado. Se observa una adecuada compactación en la capa granular, con valores similares a los establecidos en la (MTO, 2013), En contraste, los demás estratos presentan valores inferiores a los requeridos por la normativa.

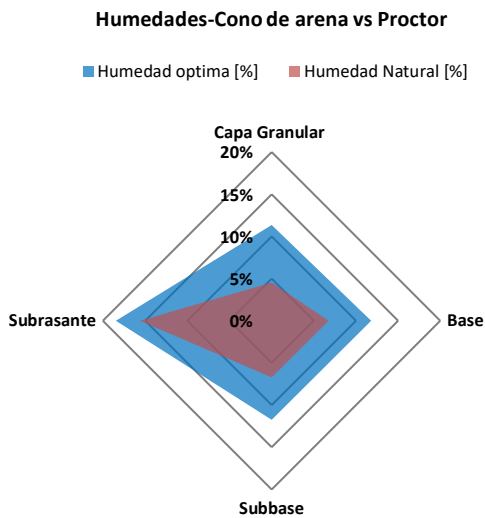


Figura 24. Humedad óptima y humedad natural.

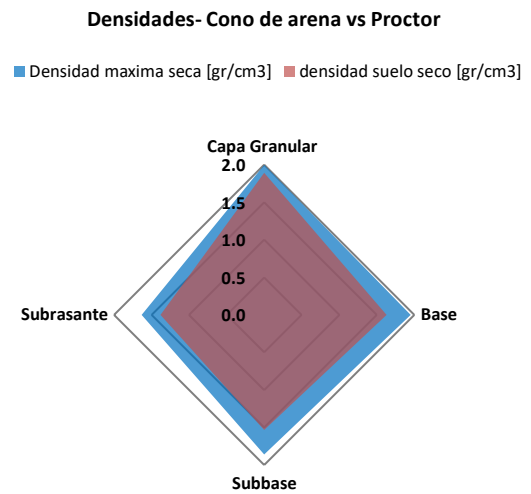


Figura 25. Densidad máxima seca y densidad suelo seco.

La Figura 24 muestra la comparación entre humedades óptimas obtenidas en el ensayo Proctor y la humedad natural obtenida en el ensayo in situ cono de arena para las distintas capas del pavimento. En general se observa que la humedad natural es menor que la humedad óptima, lo que indica una deficiencia de humedad de las diferentes capas para alcanzar su máxima compactación.

Por su parte, la Figura 25 representa la comparación de densidades, en la cual la densidad de suelo seco es ligeramente menor en todas las capas, esto debido a que difícilmente se puede replicar las condiciones de laboratorio en campo. La capa granular representa los valores más altos de densidad, reflejando un mayor grado de compactación y mejor calidad del material, mientras que la subbase muestra la menor densidad seca, considerándose el estrato mal débil o menos compactado.

4.1.8 Macrotextura

Según los lineamientos establecidos por el ministerio de obras públicas (MOP001F), el valor mínimo de profundidad medida de macrotextura a partir del método del círculo de arena corresponde a 0.5 mm. Para el ensayo se utilizó un volumen 25.000 mm³ de arena calibrada, con el fin de determinar la rugosidad superficial mediante una extensión de área del material utilizado sobre el pavimento.

Tabla 12. Resultados circulo de arena.

Muestra	Altura [mm]
M1	0,529
M2	0,854
M3	0,863
M4	0,759
M5	0,747
Promedio	0,750

La Figura 26 muestra los valores de altura de macrotextura obtenidos a partir del ensayo de circulo de arena. La línea azul representa la medida promedio que posee la vía, estando esta sobre la línea roja, que indica el valor mínimo exigido por el MOP| (Ministerio de Obras Públicas, 2022).

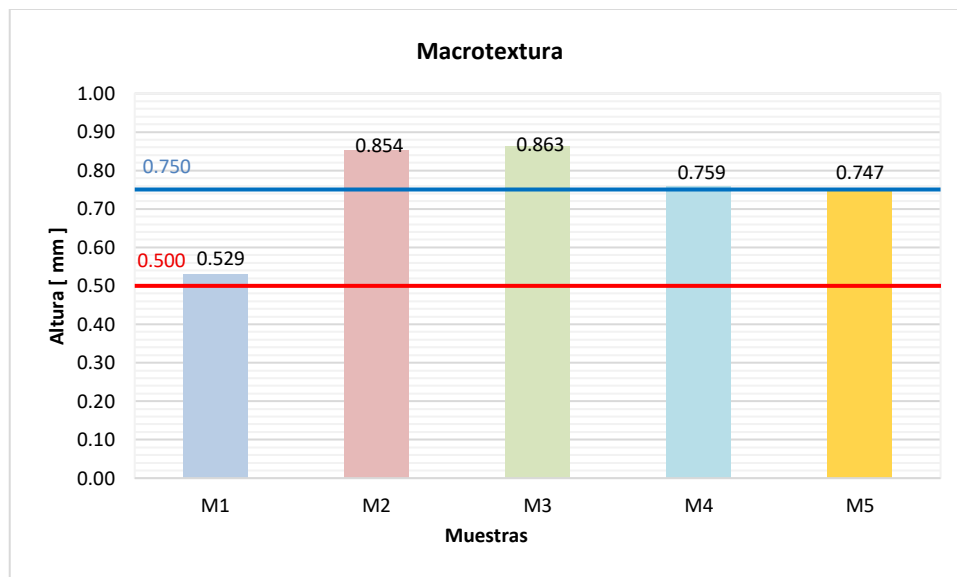


Figura 26. Macrotextura pavimento flexible.

4.1.9 Datos Núcleos

Tabla 13. Resultados de caracterización de núcleos.

Briqueta	Coordenada x	Coordenada y	Diámetro [cm]	Altura [cm]
Núcleo 1	754299	98252778	9,45	5,67
Núcleo 2	754693	9824355	9,50	5,45
Núcleo 3	755562	9823883	9,51	6,51
Núcleo 4	755996	9823442	9,51	5,77
Núcleo 5	756378	9822938	9,52	6,94

4.1.10 Densidades de Núcleos

La Tabla 14, representa los resultados de densidades obtenidos en cinco núcleos de briquetas extraídas. Se observa que la densidad bruta es inferior a la densidad teórica máxima, lo cual es esperado ya que el material siempre presenta vacíos. Por otro lado, la variación en la densidad bruta sugiere variaciones de compactación o buena heterogeneidad en el material analizado.

Tabla 14. Resumen de resultados de densidad bruta (BULK) y teórica máxima (RICE)

Briqueta	Densidad Bruta [g/cm ³]	Densidad Teórica Máxima [gr/cm ³]
Núcleo 1	2,238	2,320
Núcleo 2	2,055	2,159
Núcleo 3	2,254	2,379
Núcleo 4	2,047	2,148
Núcleo 5	1,961	2,057
Promedio	2,111	2,213

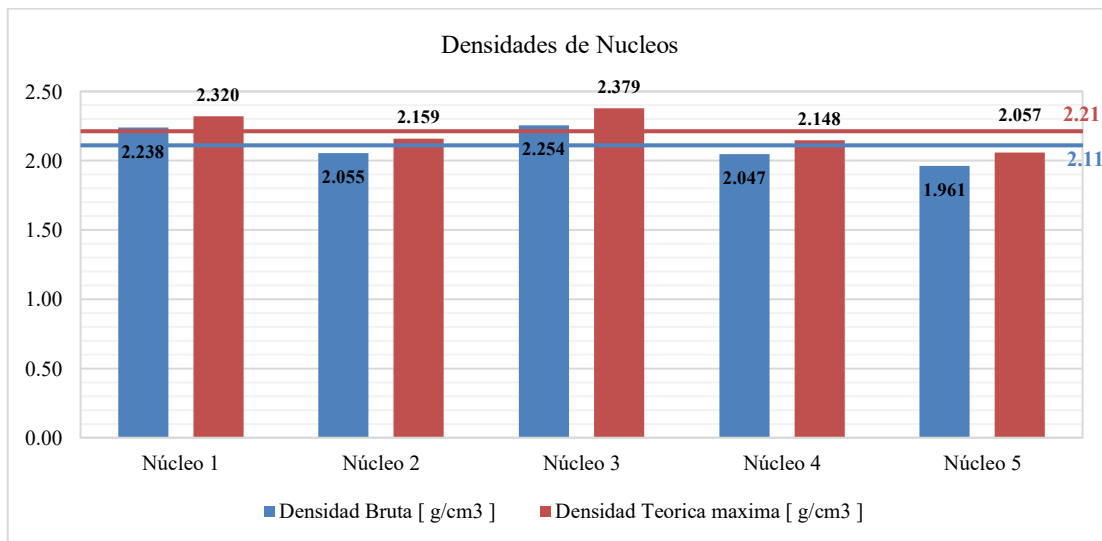


Figura 27. Resultados de densidades de los núcleos.

4.1.11 Humedad y absorción de los núcleos

La Figura 28, muestra los resultados del porcentaje de humedad y absorción, la cual refleja diferencias claras en la capacidad de retención de agua.

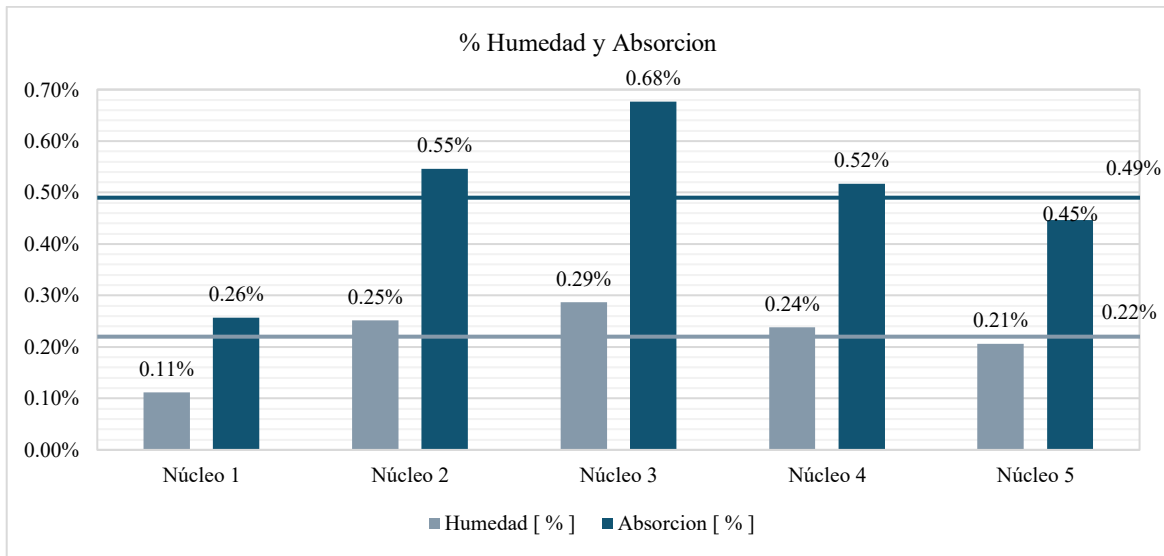


Figura 28. Resultados porcentaje de humedad y absorción.

4.2 Propiedades mecánicas del pavimento flexible

4.2.1 Resultados GeoGauge

La Tabla 15, presenta los resultados de las lecturas obtenidas mediante el uso del equipo GeoGauge. El cual registró datos referentes al módulo de rigidez y módulo resiliente.

A partir de diferentes correlaciones elaboradas por (Michelle Maila,2022) se pudo estimar el porcentaje de CBR de las capas granulares que conforman el pavimento flexible, a pesar de que las bases mantienen los valores mas altos de CBR no satisfacen el valor de soporte que debe ser igual o mayor a 80 %, al igual que la subbase mantienen valores cercanos al valor mínimo permitido por el (MOP 001F,2002) del 30% .

Tabla 15. Lecturas obtenidas del GEOGAUGE.

N° de Muestras	Capa	Módulo Rigidez [MPa]	Módulo de Young [MPa]	Módulo de Young [PSI]	Modulo Rigidez [Kg/cm²]	CBR [%]
1	Carpeta Asfáltica	16,77	124,36	17992,93	1487,32	..
	Capa Granular	10,22	75,94	10987,32	906,41	35,66
	Base Antigua	5,63	41,78	6044,91	499,32	21,53
	Sub-Base	5,21	39,82	5761,32	462,07	20,91
	Subrasante	3,48	25,75	3725,62	308,64	16,99
2	Carpeta Asfáltica	12,43	92,17	13335,54	1102,41	..
	Capa Granular	9,54	70,76	10237,85	846,10	33,03
	Base Antigua	8,19	60,69	8780,88	726,37	28,47
	Sub-Base	7,74	57,41	8306,32	686,46	27,12
	Subrasante	5,99	44,39	6422,53	531,25	22,37

	Carpeta Asfáltica	14,54	108,74	15732,96	1289,54	..
	Capa Granular	9,69	79,78	11542,91	859,40	37,75
3	Base Antigua	4,88	36,03	5212,97	432,80	19,77
	Sub-Base	4,76	35,49	5134,84	422,16	19,62
	Subrasante	4,52	33,52	4849,81	400,88	19,05
	Carpeta Asfáltica	19,2	142,37	20598,69	1702,84	..
	Capa Granular	12,63	102,13	14776,60	1120,15	52,52
4	Base Antigua	6,6	48,97	7085,19	585,35	23,94
	Sub-Base	5,95	44,14	6386,36	527,70	22,29
	Subrasante	5,79	42,91	6208,40	513,51	21,89
	Carpeta Asfáltica	27,16	201,38	29136,50	2408,80	..
	Capa Granular	12,72	94,31	13645,17	1128,13	46,79
5	Base Antigua	6,76	50,15	7255,91	599,54	24,36
	Sub-Base	6,04	44,76	6476,06	535,68	22,50
	Subrasante	4,25	31,52	4560,45	376,93	18,50

4.2.2 Estabilidad y Flujo Marshall

La Figura 29, representa gráficamente la relación entre estabilidad y flujo de núcleos, se observa un comportamiento ascendente en todas las curvas, indicando el aumento de la fluencia hasta alcanzar un punto máximo. A pesar de que la estabilidad máxima alcanzada 3199 Lb supere los 2200 Lb mínimos propuesto por (MOP 001F,2002)[37], el flujo supero el rango máximo establecido de 14 in/100, lo que deja en evidencia la plasticidad de la carpeta asfáltica, ya sea por un mal diseño de la mezcla asfáltica o bajo control de calidad de los materiales empleados en su construcción.

Tabla 16. Resultado ensayo MARSHALL

Briqueta	Estabilidad [Lb]	Flujo [in/100]
Núcleo 1	1714	31,00
Núcleo 2	3199	39,00
Núcleo 3	2467	37,00
Núcleo 4	2775	33,00
Núcleo 5	2559	35,00

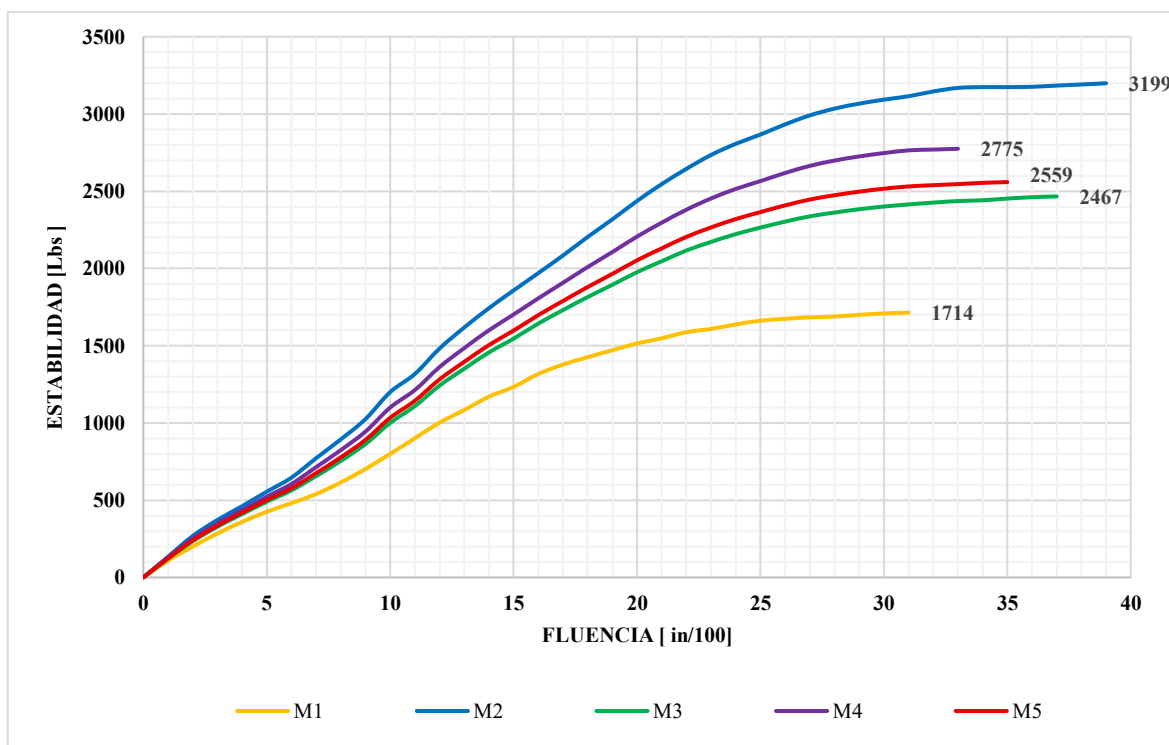


Figura 29. Estabilidad vs Flujo de Núcleos.

4.2.3 Tracción Indirecta

La Tabla 17, muestra los valores obtenidos a partir de una correlación planteada por distintos autores con respecto a la estabilidad con la tracción indirecta. Estos resultados permiten obtener valores de estabilidad que se asemejan a aquellos determinados mediante el ensayo de laboratorio.

Tabla 17. Resultados correlación Tracción Indirecta.

Briqueta	Área [cm ²]	Tracción Indirecta [Kpa]	Tracción Indirecta [psi]
Núcleo 1	70,17	132,96	19,28
Núcleo 2	70,93	245,49	35,60
Núcleo 3	71,04	188,98	27,41
Núcleo 4	70,98	212,78	30,86
Núcleo 5	71,22	195,61	28,37
Promedio			28,31

4.3 PROPIEDADES HIDRÁULICAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

4.3.1 Datos de la prueba de infiltración

Se adoptó la normativa ASTM, ya que esta muestra los procedimientos y lineamientos necesarios para llevar a cabo en ensayo. También se tuvieron en cuenta las adaptaciones introducidas por la UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO, con la finalidad de optimizar y mejorar la recolección de datos, ya que se toma en cuenta detalles como humedad, textura y equipos que se emplean durante el ensayo.

4.3.2 Resultados de la prueba de infiltración.

A continuación, la Tabla 18 presenta los resultados referentes a las pruebas de infiltración, en la cual se muestran los valores numéricos correspondientes a la tasa de infiltración [K], evaluados en relación con el tiempo, considerando también el clima y el estado del pavimento en cada uno de los puntos de control donde se realizaron las pruebas.

Tabla 18. Resultados de infiltración.

VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN VS TIEMPO						
Tiempo Acumulado [horas]	Velocidad de infiltración K [cm/horas]					
	Muestras					
	M1	M2	M3	M4	M5	
0	0	0	0	0	0	
0,5	0,6	0,4	0,8	0,4	0,2	
1	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	
1,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	
2	0,2	0	0	0,2	0,2	
2,5	0,2	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	0	
3,5	0	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	0	
4,5	0	0	0	-	-	
5	0	0	0	-	-	
Estado del pavimento	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	
Clima	Llovizna	Nublado-Llovizna	Soleado	Nublado-Llovizna	Nublado	
Fracción de infiltración [%]	1,64%	0,82%	1,22%	1,01%	0,82%	

Coefficiente de escurrimiento C [%]	98,36%	99,18%	98,78%	98,99%	99,18%
Observaciones	El Infiltrómetro se colocó a un lado de la vía, con una ligera inclinación de la superficie debido al bombeo propio de la vía, el estado del asfalto era bueno.	El Infiltrómetro se colocó a un costado de la vía, sobre una superficie plana, el estado de la vía es bueno con presencia de pequeñas fisuras	El Infiltrómetro se colocó a un costado de la vía, sobre una superficie plana, el estado de la vía es bueno con presencia de pequeñas fisuras	El Infiltrómetro se colocó a un lado de la vía, 0,6 metros del borde de la vía, el estado del asfalto era bueno.	El Infiltrómetro se colocó a un lado de la vía, 0,9 metros de la cuneta, el estado del asfalto era bueno.

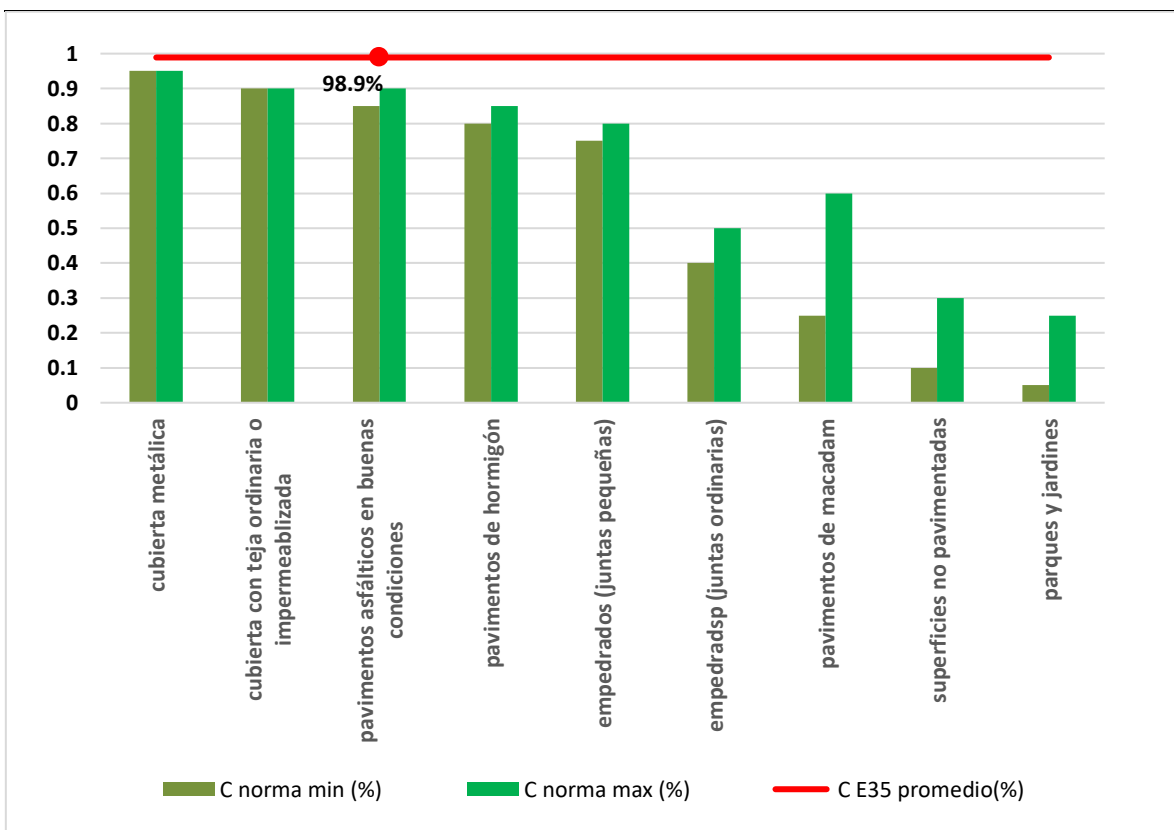


Figura 30. Comparación coeficiente " C " obtenido vs normativa.

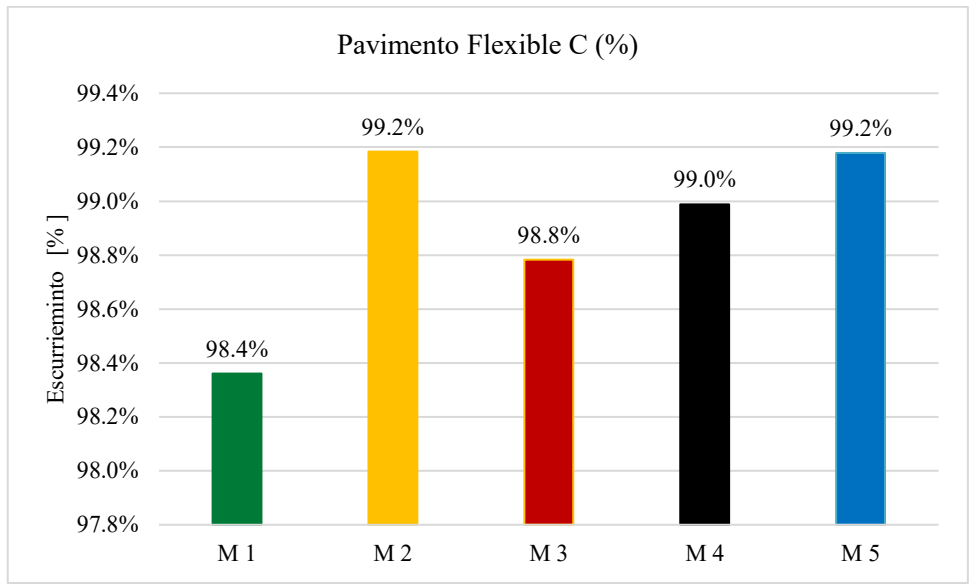


Figura 31. Porcentajes de escurrimiento.

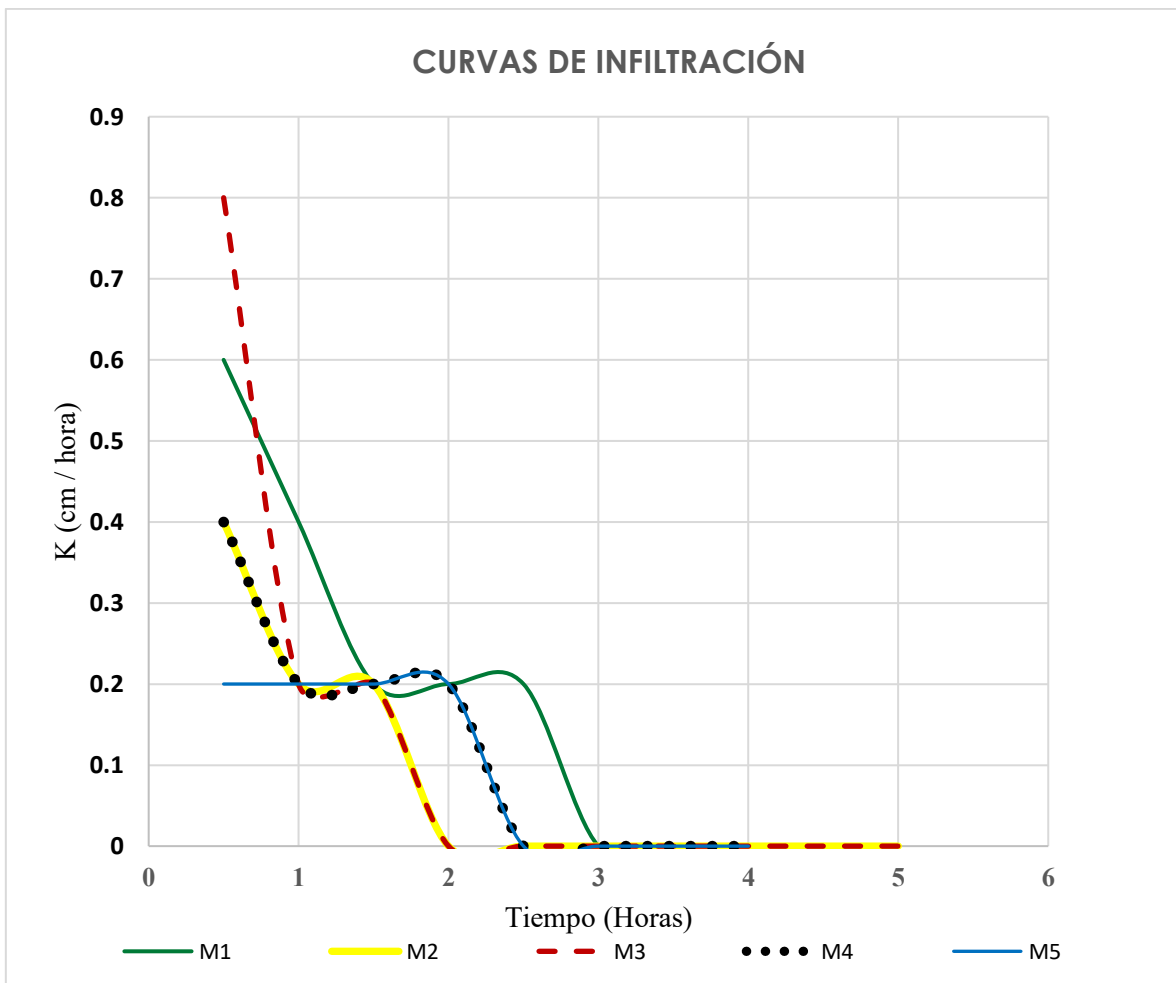


Figura 32. Curvas de infiltración pavimento flexible.

4.3.3 Análisis curvas de infiltración

La Figura 32, muestran las diferentes curvas de infiltración obtenidas de los diferentes puntos de control, divididos a lo largo de los 5 km del tramo de prueba del pavimento flexible. Las gráficas muestran como la conductividad hidráulica de todas las muestras disminuyen de manera progresiva hasta acercarse a cero, conforme avanza el tiempo. Las muestras M1 y M3 presentan los valores iniciales más altos, al igual que también presentan los descensos más rápidos, lo que sugiere la similitud en la conformación estructural, situación de la vía debido a la presencia de pequeñas fisuras y además de características equivalentes en sus materiales granulares, lo cual provoca una fácil saturación.

Por su parte, M2 y M4 presentan valores intermedios, estabilizándose alrededor de las 1.5 horas, antes de reducirse por completo. La superposición que presentan las curvas de estas muestras manifiesta condiciones ambientales y estados físicos de la vía similares, durante el proceso de ejecución del ensayo. Mientras que M5 presenta valores de velocidades de infiltración (K) más estables, lo que sugiere que en esta zona está conformada por materiales granulares más densos.

4.3.4 Análisis coeficiente de escorrentía.

La Figura 31 muestra la representación de los porcentajes de escurrimiento del pavimento flexible analizado. Los valores de escorrentía varían de 98.4 % de M1 hasta un valor de 99.2 % de M2 indicando un comportamiento homogéneo en todos los puntos analizados.

Los puntos M2 y M5 presentan los valores más altos de escorrentía lo que se infiere como una mayor capacidad de drenaje superficial. El punto M1 muestra el valor más bajo, sin embargo, la diferencia con respecto al valor máximo es mínima al igual que los puntos M3 y M4. Por tanto, se infiere que la estructura del pavimento presenta un excelente comportamiento hidráulico en todos los puntos analizados, garantizando un adecuado escurrimiento superficial

Los puntos M2 y M5 son más eficientes, probablemente debido a factores como una mayor eficiencia de la pendiente de bombeo y una buena textura superficial, lo cual reduce el riesgo de deterioro prematuro.

4.4 Relación entre las propiedades físico-mecánicas y propiedades hidráulicas del pavimento articulado.

A pesar de que las siguientes correlaciones no están marcadas dentro de los objetivos específicos de la presente investigación, se han considerado dentro del análisis debido a que ayudan a una mejor comprensión de las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas de los materiales granulares que comprenden la estructura del pavimento analizado.

4.4.1 Absorción capa granular material (fino, grueso) vs Fracción de infiltración

La Figura 33 presenta la relación entre la absorción de los materiales finos y gruesos correspondientes a la capa granular de distintos puntos evaluados. Se confirma el dominio del material fino mostrado en las curvas granulométricas, el cual influye directamente en el comportamiento hidráulico del sistema. En consecuencia, se infiere que una mayor absorción en conjunto (finos + gruesos) implica mayor retención de agua dentro del sistema por ende una menor capacidad de infiltración superficial.

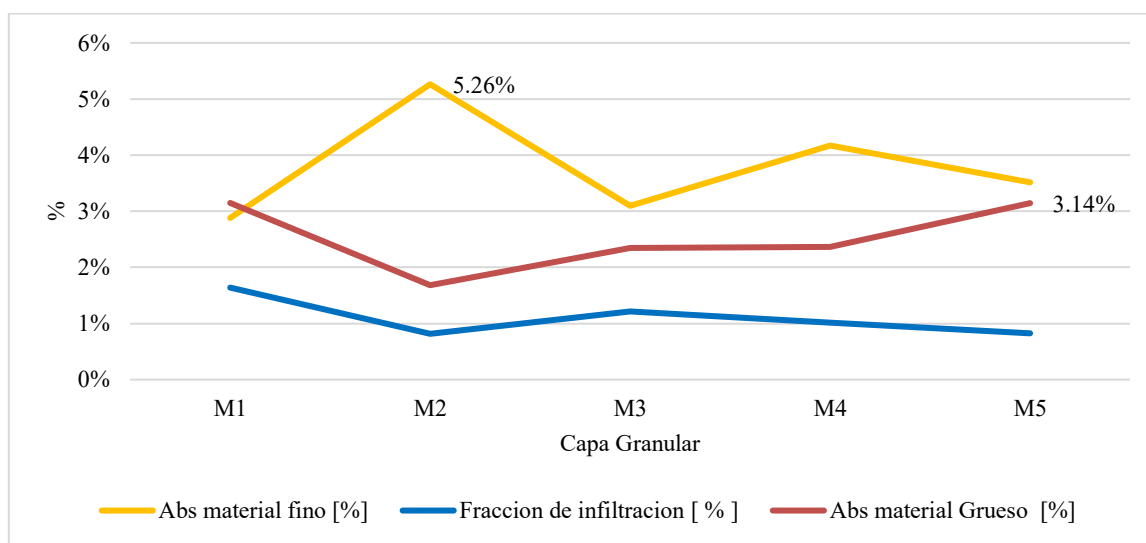


Figura 33. Diagrama de relación absorción materia fina, grueso vs Fracción de infiltración.

4.4.2 Módulo de Young vs Fracción de infiltración

La Figura 34, muestra dos conjuntos de datos superpuestos para cinco muestras, en la cual se observa una relación inversa entre ambas características. A medida que el valor del módulo de Young aumenta, la fracción de infiltración tiende a disminuir, y viceversa. Esto sugiere que a mayor rigidez los materiales, presentan mayor densidad y mejor compactación, por lo cual su capacidad de infiltración disminuye porque la mayoría de sus poros están cerrados.

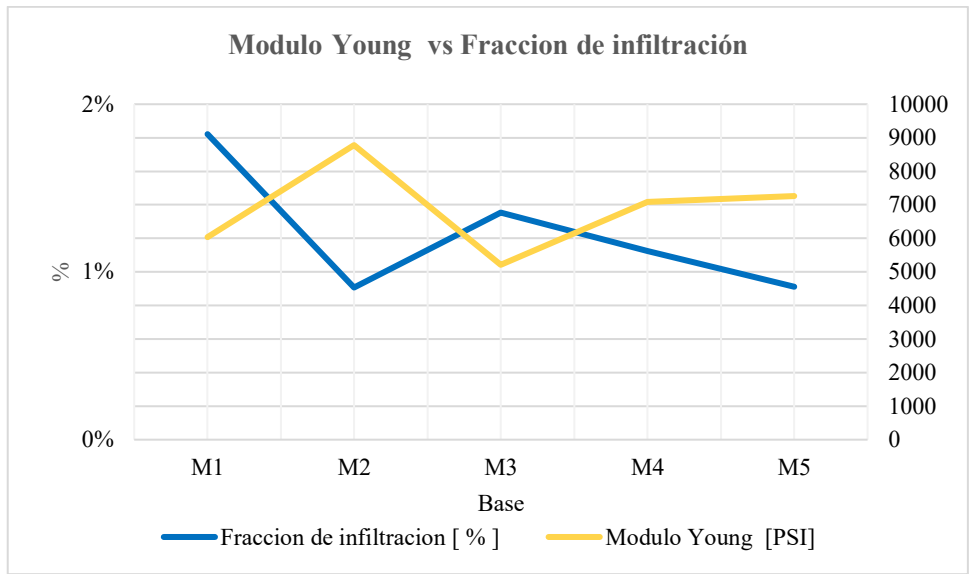


Figura 34. Diagrama de relación Modulo de Young vs Fracción de infiltración.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

A partir del análisis del tramo de prueba de la vía estudiada, se identificó en los cinco puntos de control existe una estructura poco habitual a lo convencional. Esta presenta capas como la carpeta de rodadura y la capa granular colocadas sobre un paquete estructural de pavimento flexible existente conformado por una capa de rodadura antigua, base, subbase y subrasante que corresponde al terreno natural de la zona.

Con base a los diferentes ensayos realizados, se infiere que la capa granular y capa base presentan características similares a una base clase 3, mientras que la subbase se asimila a una base clase 1, de acuerdo con los lineamientos planteados en la MTOP con respecto a la clasificación de materiales granulares.

La subrasante por el contrario mediante la clasificación SUCS presenta una clasificación dual SP-SC, el cual corresponde a una arena mal graduada con presencia de arcilla.

Complementando el análisis de las características físicas, se determinó el grado de compactación de las diferentes capas granulares a partir de un ensayo in situ de Cono de Arena. Se obtuvieron valores de 95% para la capa granular y de 85% para las bases granulares. Estos resultados se encuentran cercanos al valor mínimo requerido por MTOP, dando como resultado un rendimiento poco óptimo de las bases granulares en términos de compactación.

Las propiedades mecánicas obtenidas en campo a partir de la aplicación del equipo GeoGauge, el cual ayuda a la recolección de datos como los módulos de rigidez. Se observa una tendencia decreciente de sus valores en sus distintas capas, siendo la carpeta asfáltica la capa más rígida con un valor máximo 29136.50 PSI, por el contrario, la subrasante con un valor de 6422.53 PSI, evidenciando así el principio de diseños de pavimentos basado en la distribución jerárquica de la rigidez dentro de la estructura.

Se empleó el método de extracción de núcleos y ensayo Marshall, dando un resultado de estabilidad máxima de 3199 lb y una fluencia de 39 in/100. A pesar de que la mayoría de los núcleos cumple con la estabilidad mínima especificada en la normativa, el flujo de estas supera el rango recomendado, lo cual indica un exceso de plasticidad en la mezcla asfáltica. Analizando las propiedades hidráulicas del tramo de vía in situ, mediante el uso del Infiltrómetro, obteniendo así datos con respecto a la infiltración y escurrimiento de la vía,

replicando el proceso en todos puntos de investigación, se determinó una infiltración promedio de 1.10 % y un porcentaje de escurrimiento de 98.89 %. Al compararlo con los valores límites de escurrimiento establecidos en la norma, CO 10.07-601, Código Ecuatoriano de la Construcción de Obras Sanitarias [38], se observa que el valor C promedio encontrado sobrepasa el valor límite máximo permitido indicando un comportamiento hidráulico de alta permeabilidad.

Al analizar las propiedades físico-mecánicas e hidráulicas se pudo identificar una relación directamente proporcional entre la absorción y la fracción de infiltración, lo que implica que, a mayor absorción, menor será la capacidad de infiltración de la estructura. Por el contrario, al comparar el módulo de rigidez con respecto a la fracción de infiltración, se evidencia una relación inversamente proporcional, ya que mientras más grande sea el valor del módulo, el valor de la infiltración tiende a disminuir.

5.2 Recomendaciones

Para el análisis en campo, se recomienda realizar un ensayo preliminar con el fin de identificar datos claves y optimizando procesos experimentales. Además, es fundamental considerar el estado de clima, y duración del ensayo para evitar interrupciones que puedan afectar la validez de los resultados.

Para el ensayo de infiltración, se sugiere planificar la ejecución considerando horas pico de tráfico, precipitaciones previas y uso de elementos de señalización y seguridad vial, para controlar el tráfico y garantizar la integridad y seguridad del individuo. Estas medidas contribuyen a la obtención de datos preciosos, verídicos y confiables.

Con base a los hallazgos de esta investigación, se recomienda para futuras investigaciones evaluar el pavimento flexible a largo plazo, abarcando las diferentes temporadas climáticas de la zona. Asimismo, se sugiere considerar factores como el tráfico y contenidos residuales de la carpeta de rodadura, los cuales pueden influir significativamente en el desempeño estructural e hidráulico del pavimento.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. DE Del Consumo Horario Residencial and A. Zela Freddy Alejandro Carrión Tenesaca Juan Carlos, “UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil Autores”.
- [2] “ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO MODELO DE GESTIÓN PARA EL DESARROLLO TERRITORIAL SOSTENIBLE DE LA PARROQUIA SAN ANDRÉS, CANTÓN GUANO AUTORA ANA PATRICIA PUCHA PILCO”.
- [3] M. Eduardo et al., “Provincia De Chimborazo Canton Guano Rural De San Andrés Plan De Desarrollo Y Ordenamiento,” 2014.
- [4] M. Zambrano and E. Tejada, “Materiales granulares tratados con emulsión asfáltica para su empleo en bases o subbases de pavimentos flexibles.,” *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, vol. 13, no. 3, p. 14, 2019, [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193961007002>
- [5] F. Borja Campos, “Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados del pavimento flexible de la carretera Cañete - Lunahuana,” 2014.
- [6] F. L. Castaño Martínez, J. M. H. Betín, and J. N. G. Sáenz, “Análisis cualitativo del flujo de agua de infiltración para el control del drenaje de una estructura de pavimento flexible,” *Infraestructura Vial*, vol. 1, p. 6, 2009, [Online]. Available: <https://search.ebscohost.com/>
- [7] H. Lynch Blackman, *Diseño estructural de pavimentos Flexibles y rígidos: nuevos y de refuerzo (vías urbanas, estacionamientos, carreteras y aeropuertos)*. 2022. [Online]. Available: https://acading.org.ve/wp-content/uploads/2023/02/DISENO_ESTRUCTURAL_DE_PAVIMENTOS_HLB.pdf
- [8] J. M. Casco Guevara and V. A. Salcán León, “Características físicas, mecánicas e hidráulicas evaluadas en el pavimento flexible del corredor vial Flores - Cebadas.,” May 2024, Accessed: Jul. 15, 2025. [Online]. Available: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/12872>
- [9] I. J. Pinargote, “EXTENSIÓN CHONE CARRERA INGENIERÍA CIVIL TRABAJO DE TITULACIÓN PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PROPUESTA

DE ACCIONES PARA LA CONSERVACIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DEL SITIO NARCISO DEL CANTÓN CHONE AUTORES RODRÍGUEZ CEDEÑO JIMMY ANDRÉS VERA ESPINOZA EDUIN FERNANDO TUTOR,” 2017.

- [10] R. Miranda, “Deterioro En Pavimentos Flexibles Y Rigidos,” 2010.
- [11] B. J. Castro López and S. N. Zambrano Olivares, “Propuesta de empleo de diferentes tecnologías de capa de rodadura para pavimento flexible y en reforzamiento con diferentes tipos de sellado usando el equipo de riego con Slurry Seal y Micro pavimento de la Prefectura del Guayas,” 2020, [Online]. Available: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/51690>
- [12] O. LA Orlando Rodriguez Rubio Universidad Gran Colombia Facultad De Ingeniería Bogotá D C, “DOCUMENTO DE TRABAJO DE GRADO,” 2014.
- [13] " Jose and S. Cañas, “UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA”, Accessed: Jul. 13, 2025. [Online]. Available: <http://geotech.uta.edu/lab/Main//sieve/index.htm>,
- [14] A. Tejada, E. Miguel, T. Bustamante, and B. Jimmy, Universidad Católica de Santa María Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. 2019. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/233005864.pdf>
- [15] P. Llerena, “Análisis Para La Obtención De Límite Líquido Y Límite Plástico Según La Norma Astm D4318 En Comparación Con La Norma Bs 1377:1990 En Suelos De Diferente Plasticidad,” 2022.
- [16] J. Garzón Roca, M. E. Garrido de la Torre, and C. Hidalgo Signes, “Clasificación de un suelo según SUCS,” 2017, Universitat Politècnica de València. Accessed: Jul. 15, 2025. [Online]. Available: <https://riunet.upv.es/handle/10251/84314>
- [17] " Jose and S. Cañas, “UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA”.
- [18] A. C-127, “Designación Designación C-127 Densidad y absorción del agregado grueso”.
- [19] E. Martines, “DEFINICIONES DE HUMEDAD Y SU EQUIVALENCIA”.
- [20] S. P. Collins et al., “Ensayo de Humedad Optima,” 2021.
- [21] L. P. Specht, T. Rozek, F. Hirsch, and R. T. Dos Santos, “Teoria e Prática na Engenharia Civil,” Julho, no. 10, pp. 30–38, 2007.
- [22] V. DE Mexico, “CONCRETO HIDRAULICO PERMEABLE, UNA ALTERNATIVA PARA LA RECARGA DE LOS MANTOS ACUIFEROS DEL”.

- [23] P. Martínez and M. Azuaga, “Determinación del módulo de Young-Patricia Martínez y Marcelo Azuaga Medición del módulo de elasticidad de Young”.
- [24] M. Maila, “Comparación técnica entre los ensayos de laboratorio de módulo de Young y C.B.R. para base y sub base. Casos de estudio Mina Segundo (Latacunga-Cotopaxi),” pp. 1–167, 2022.
- [25] C. Flores and M. Vásquez, “Relación De Las Propiedades Marshall De Estabilidad Y Flujo De Una Mezcla Asfáltica En Caliente, Durante Su Colocación Y Posterior a La Misma,” pp. 1–200, 2017, [Online]. Available: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28039>
- [26] J. L. Amoros, V. Beltran, A. Escardino, and M. J. Orts, “Permeabilidad al aire de soportes cocidos de pavimento cerámico. L Influencia de las variables de prensado y de la temperatura de cocción,” *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr*, vol. 31, no. January, pp. 33–38, 1992.
- [27] A. Manilla, J. Valadéz, P. Garnica, and Martínez Guadalupe, “La Permeabilidad De Los Suelos En Los Problemas De Transporte De Contaminantes. Aplicación En La Infraestructura Del Transporte,” no. 195, pp. 1–89, 2002.
- [28] D. De, E. Superficial, and Y. C. De, “UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL”.
- [29] “Nte inen 696 p5 (Granulometria),” vol. 5.
- [30] S. Andr, M. Estudiante, and C. P. Hern, “Limites de Atterberg LIMITES DE COTSISTENCIA DEL SUELO (LIMITES DE ATTERBERG) Limites de Atterberg,” pp. 1–10.
- [31] “Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m/m³)) 1”, doi: 10.1520/D0698-12E01.
- [32] “NORMA TÉCNICA GUATEMALTECA COGUANOR NTG 41010 h20”.
- [33] “Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Asphalt Mixtures 1”, doi: 10.1520/D6927-22.
- [34] “Practice for Sampling Compacted Bituminous Mixtures for Laboratory Testing,” Jun. 2016, doi: 10.1520/D5361_D5361M-16.
- [35] “Designación: D 3385 - 03,” vol. 04, pp. 1–7, 2003.
- [36] N. Ecuatoriana Vial, “MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS DEL ECUADOR SUBSECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA DEL

TRANSPORTE VOLUMEN No 3 ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES”.

- [37] M. DE Obras Públicas, “ESPECIFICACIONES GENERALES ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES DE CAMINOS Y PUENTES,” 2002.
- [38] “CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN DE PARTE IX OBRAS SANITARIAS NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES”, doi: 10.07.

ANEXOS



Anexo 1. Medición de espesores.



Anexo 4. Copa de casa grande, ensayo limite líquido.



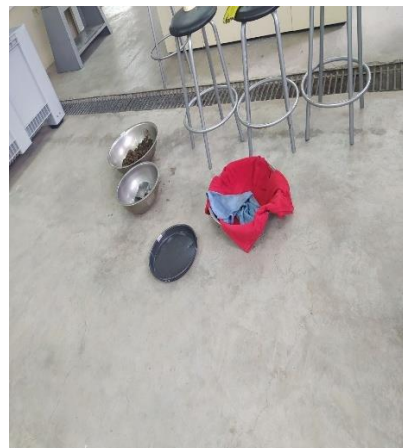
Anexo 2. Secado de muestras.



Anexo 5. Limite plástico para la subrasante (No posee).



Anexo 3. Análisis granulométrico subrasante.



Anexo 6. Ensayo peso específico superficialmente seco. Agregado grueso – Base



Anexo 7. Ensayo peso específico agrado fino - Sub-Base,



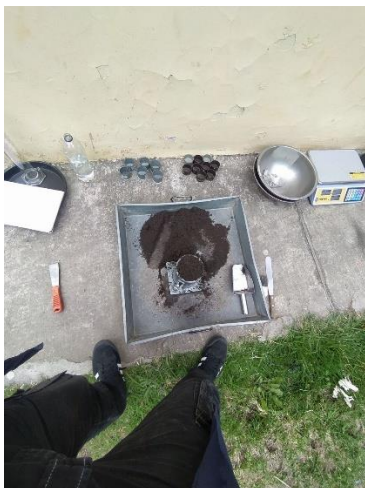
Anexo 10. Cono de arena -Subrasante.



Anexo 8. Máquina de los ángeles, ensayo de abrasión.



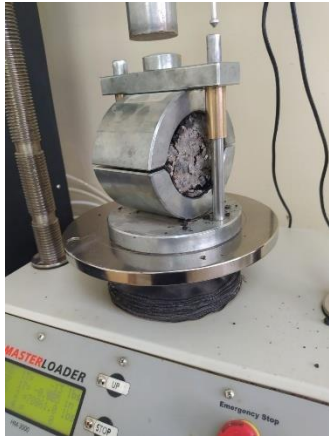
Anexo 11. Extracción de núcleos vía Panamericana E35.



Anexo 9.Ensayo Proctor estándar- Base



Anexo 12. Toma de datos de los núcleos.



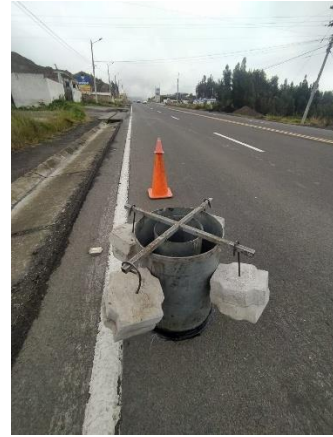
Anexo 13. Ensayo Marshall,



Anexo 16. Medición módulos-GeoGauge.



Anexo 14. Gravedad máxima teórica núcleos,
Pícnometro de vacío.



Anexo 17. Ensayo Infiltrómetro de doble anillo,



Anexo 15. Macrotextura de la carpeta de rodadura.



Anexo 18. Muestras granulares analizadas.