



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

Características físicas e hidráulicas del pavimento rígido existente en la vía Balbanera –
Pallatanga en la provincia de Chimborazo.

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero civil

Autor:

Sanipatín Chiluíza Michael Raúl

Tutor:

Ing. Vladimir Pazmiño Chiluíza

Riobamba, Ecuador. 2024

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, Sanipatín Chiluiza Michael Raúl, con cédula de ciudadanía 1724555089, autor del trabajo de investigación titulado: Características físicas e hidráulicas del pavimento rígido existente en la vía Balbanera – Pallatanga en la provincia de Chimborazo. certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

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

En Riobamba, 23 de mayo de 2024.



Sanipatín Chiluiza Michael Raúl
C.I: 1724555089

ACTA FAVORABLE - INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En la Ciudad de Riobamba, a los 4 días del mes de abril de 2024, luego de haber revisado el Informe Final del Trabajo de Investigación presentado por el estudiante **Michael Raúl Sanipatín Chilulza** con CC: **1724555089**, de la carrera de **INGENIERIA CIVIL** y dando cumplimiento a los criterios metodológicos exigidos, se emite el **ACTA FAVORABLE DEL INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN** titulado "**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E HIDRÁULICAS DEL PAVIMENTO RÍGIDO EXISTENTE DE LA VÍA BALBANERA – PALLATANGA EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO**", por lo tanto se autoriza la presentación del mismo para los trámites pertinentes.



Ing. Vladimir Pozmiño
TUTOR

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación "**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E HIDRÁULICAS DEL PAVIMENTO RÍGIDO EXISTENTE DE LA VÍA BALBANERA – PALLATANGA EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO**", presentado por **MICHAEL RAÚL SANIPATÍN CHILUIZA**, con cédula de identidad número 1724555089, bajo la tutoría de Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza, 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 el día 23 de mayo de 2024.

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



Firma

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



Firma

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



Firma



CERTIFICACIÓN

Que, **SANIPATIN CHILUIZA MICHAEL RAÚL** con CC: **1724555089**, estudiante de la Carrera **INGENIERIA CIVIL**, Facultad de **INGENIERIA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E HIDRÁULICAS DEL PAVIMENTO RÍGIDO EXISTENTE EN LA VÍA BALBANERA – PALLATANGA EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO**", cumple con el 9 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **TURNITIN**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 17 de Mayo de 2024



Mg. Hernán Pazmiño
TUTOR

DEDICATORIA

En este momento de culminación y celebración, mi corazón se llena de gratitud al recordar a aquellos que siempre creyeron en mí, quienes con su amor y sabiduría moldearon mi camino y guiaron mis pasos.

Abuelito y abuelita, por parte de mamá y papá, ustedes fueron los pilares de nuestra familia, la fuente inagotable de amor y la inspiración detrás de cada logro. Vuestras enseñanzas y valores resonarán eternamente en mi vida y en este trabajo que hoy presento.

En honor a su memoria, dedicó este trabajo. Que su ejemplo de perseverancia, dedicación y amor perdure en cada palabra escrita y en cada logro alcanzado.

Con amor y gratitud infinitos,

Sanipatín C. Michael R.

AGRADECIMIENTO

A Dios, quien me brindó la fuerza y la sabiduría necesarias para completar este importante capítulo de mi vida. Su guía y protección han sido fundamentales en cada paso del camino. A mis queridos padres, Raúl y Patricia, su amor incondicional, apoyo inquebrantable y sacrificios han sido el pilar de mi éxito. Su constante aliento y confianza en mí han sido mi mayor motivación. A Nathalia Bravo quiero expresarte mi más profundo agradecimiento por haber sido mi compañera, mi apoyo inquebrantable y mi inspiración durante este viaje de investigación y redacción de tesis. A mis amigos por estar siempre presentes, brindándome ánimo, comprensión y momentos de distracción necesarios para recargar energías. Su amistad ha iluminado los días más oscuros y ha hecho posible este logro. A todas las personas que de alguna manera contribuyeron a la realización de esta tesis, su apoyo, consejos y ánimos han sido de gran valor para mí.

A cada uno de ustedes, les expreso mi más profundo agradecimiento. Este logro no habría sido posible sin su generosidad, apoyo y amor incondicional.

¡Gracias!

Sanipatín C. Michael R.

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORIA

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICACION ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

LISTA DE ABREVIATURAS

RESUMEN

ABSTRACT

1. CAPITULO I. INTRODUCCION	18
1.1. Introducción	18
1.2. Colector Vial E487, tramo Balbanera – Pallatanga	19
1.3. Planteamiento del problema.....	21
1.4. Justificación del problema	22
1.5. Objetivos	23
1.5.1. General	23
1.5.2. Específicos.....	23
2. CAPITULO II. MARCO TEORICO.....	24
2.1. PAVIMENTO RIGIDO.....	24
2.1.1. Pavimento rígido en Ecuador	24
2.1.2. Ventajas del pavimento rígido	24
2.1.3. Capa de rodadura de concreto	26
2.1.4. Capas granulares	26
2.2. PROPIEDADES FISICAS DEL PAVIMENTO RIGIDO	28
2.2.1. Granulometría.....	28
2.2.2. Clasificación del suelo	29
2.2.3. Macrotextura.....	29
2.2.4. Desgaste a la abrasión en subbase	30

2.2.5.	Densidad	30
2.2.6.	Absorción	30
2.2.7.	Humedad	31
2.3.	PROPIEDADES MECANICAS DEL PAVIMENTO RIGIDO.....	31
2.3.1.	Métodos destructivos de evaluación en pavimentos rígidos	31
2.4.	PROPIEDADES HIDRAULICAS DEL PAVIMENTO RIGIDO	32
2.4.1.	Permeabilidad en pavimentos rígidos	32
2.4.2.	Hidroplaneo	33
2.4.3.	Coefficiente de escurrimiento	33
2.4.4.	Velocidad de infiltración	34
2.4.5.	Tiempo de saturación	34
2.4.6.	Superficie saturada seca	34
3.	CAPITULO III. METODOLOGIA.....	35
3.1.	Tipo de investigación.....	35
3.2.	Diseño de investigación.....	35
3.3.	Diagrama metodológico.....	35
3.4.	Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos.	36
3.4.1.	Granulometría de agregados NTE INEN 696.....	36
3.4.2.	Desgaste del árido grueso de partículas menores a 37.5 mm NTE INEN 860.....	37
3.4.5.	Extracción de núcleos ASTM C42.....	37
3.4.6.	Resistencia a la compresión de núcleos NTE INEN 1573	38
3.4.7.	Contenido de humedad NTE INEN 862	38
3.4.8.	Porcentaje de vacíos.....	38
3.4.9.	Tracción indirecta de núcleos ASTM C496	39
3.4.11.	Tasa de infiltración en pavimento rígido ASTM D3385	39
3.5.	Definición de la muestra.....	42
3.5.1.	Población.....	42
3.5.2.	Muestra.....	42
3.5.3.	Tipo de muestreo.....	42
3.5.4.	Tamaño de la muestra.....	42
3.5.5.	Criterios de selección	42

3.5.5.1.	Uniformidad de la vía.....	42
3.5.5.2.	Topografía.....	43
3.5.5.3.	Falla geológica.....	45
3.5.5.4.	Clima.....	47
3.5.5.5.	Hidrología e Hidrografía.....	48
3.5.5.6.	TPDA.....	50
3.5.5.7.	Ubicación estratégica.....	50
4.	CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
4.1.	FORMACIÓN GEOLÓGICA.....	52
4.2.	ENSAYOS SUBBASE CLASE 3.....	52
4.2.1.	Resultados granulometrías.....	52
4.2.2.	Promedio granulometrías.....	53
4.2.3.	Resultados de abrasión.....	56
4.2.4.	Densidad de agregados.....	56
4.3.	ENSAYOS NUCLEOS.....	58
4.3.1.	Datos núcleos de pavimento rígido corredor vial Balbanera – Pallatanga.....	58
4.3.2.	Resultados ensayo densidad aparente de núcleos.....	58
4.3.3.	Resultado densidad real de los núcleos.....	59
4.3.4.	Resultado humedad, absorción y vacíos.....	59
4.3.5.	Resultados ensayo de tracción indirecta y compresión de núcleos.....	60
4.4.	RESULTADOS DE ENSAYOS IN – SITU.....	62
4.4.1.	Resultado ensayo circulo de arena.....	62
4.4.2.	Resultados prueba de infiltración en el pavimento rígido.....	63
4.4.3.	Resultados de porcentaje de escorrentía.....	64
4.5.	Resumen de resultados.....	65
5.	CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	66
5.1.	Conclusiones.....	66
5.2.	Recomendaciones.....	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de clasificación de subbase.	28
Tabla 2. Coordenadas de inicio a fin de zonas establecidas.	45
Tabla 3. Coordenadas de toma de muestras.	51
Tabla 4. Información de la formación geológica de sitios de muestreo.	52
Tabla 5. Datos y resumen de resultados de granulometrías de subbase	52
Tabla 6. Granulometría promedio de subbase.	53
Tabla 7. Resultados de abrasión del agregado grueso.	56
Tabla 8. Densidad del agregado grueso de subbase	56
Tabla 9. Densidad del agregado fino de subbase	57
Tabla 10. Dimensiones de los núcleos.	58
Tabla 11. Densidad aparente sumergida de núcleos.	58
Tabla 12. Densidad real de los núcleos.	59
Tabla 13. Porcentajes de humedad, absorción y vacíos de núcleos.	59
Tabla 14. Resultado del ensayo de compresión de núcleos.	60
Tabla 15. Resultado del ensayo de núcleos a tracción indirecta	61
Tabla 16. Resultados del círculo de arena.	62
Tabla 17. Resumen de resultados de porcentaje de escorrentía (C).	64
Tabla 18. Resumen de resultados de ensayos.	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del tramo vial de análisis.	20
Figura 2. Análisis comparativo entre el pavimento rígido y flexible en términos de costos de mantenimiento.	25
Figura 3. Capas de la estructura de pavimentos rígidos y flexibles.	27
Figura 4. Diagrama metodológico de investigación.	36
Figura 5. Perfiles burletes alambrados 341. Esquema adaptado de GLOBAL RUBBER CORPORATION S.A.C.	40
Figura 6. Vista superior del caucho, donde se muestra el alma metálica.	40

Figura 7. Vista lateral del caucho.....	40
Figura 8. Contorno inferior de cilindros de caucho.	40
Figura 9. Esquema infiltrómetro de doble anillo.	41
Figura 10. Vista lateral infiltrómetro, 15kg por cada lado del marco portante.....	41
Figura 11. Relieve de inicio y fin de la vía.....	44
Figura 12. Relieve de fin de la vía.	46
Figura 13. Mapa climático de Chimborazo adaptado a la vía en estudio.....	47
Figura 14. Mapa de precipitaciones promedio anual de la provincia de Chimborazo adaptado a la vía en estudio.	48
Figura 15. Mapa hidrográfico de la provincia de Chimborazo.....	49
Figura 16. Vista superior de los puntos para la toma de muestras.	50
Figura 17. Agregado grueso de subbase.....	54
Figura 18. Curva promedio de granulometrías de subbase	55
Figura 19. Núcleo 1 después del ensayo a compresión.....	60
Figura 20. Núcleo 3 antes del ensayo a compresión.....	60
Figura 21. Vista frontal del núcleo 4 después del ensayo a tracción directa.	61
Figura 22. Vista lateral del núcleo 5 después del ensayo de tracción indirecta.....	61
Figura 23. Caras cortadas de los núcleos en orden donde se evidencia la altura de macrotextura en cada una.	62
Figura 24. Resumen de curvas de infiltración.	63
Figura 25. Comparación entre coeficientes actualizados y normados.	65
Figura 26. Curva granulométrica P3 de subbase	79

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Granulometría P1 de subbase.....	74
Anexo 2. Curva granulométrica P1 de subbase.....	75
Anexo 3. Granulometría P2 de subbase.....	76
Anexo 4. Curva granulométrica P2 de subbase.....	77
Anexo 5. Granulometría P3 de subbase.....	78
Anexo 6. Curva granulométrica P3 de subbase.....	79
Anexo 7. Resumen de resultados del ensayo de infiltración.....	80
Anexo 8. Datos de puntos tomados en campo de las prueba de infiltración.....	81
Anexo 9. Cálculos y curvas de pruebas de infiltración.....	83

LISTA DE ABREVIATURAS

NEVI: Norma Ecuatoriana Vial.

TPDA: Tráfico promedio diario anual.

MTOP: Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

IEOS: Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias. C: Coeficiente de escurrimiento.

NTE INEN: Norma Técnica Ecuatoriana – Instituto Ecuatoriano de Normalización.

ASTM: American Society for Testing and Materials, traducido al español como la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials, traducido al español como Asociación Americana de Carreteras y Transporte Estatales.

WSDOT: The Washington State Department of Transportation traducido al español como el Departamento de Transporte del Estado de Washington.

SH: Seca al horno.

SSS: Superficie satura seca.

HS: Altura de la mancha de arena.

PCA: Portland Cement Association, traducido al español como la Asociación de cemento portland.

RESUMEN

Los corredores estatales del Ecuador conectan varias regiones, zonas geológicas y pisos climáticos generando en su desarrollo variaciones del perfil estratigráfico sobre el cual está implementado. En la presente investigación se evaluaron las principales características físicas e hidráulicas del pavimento rígido existente de la vía Balbanera – Pallatanga utilizando el método de extracción de núcleos y métodos de infiltración. A través de una serie de ensayos de laboratorio como: análisis granulométrico, pruebas de tracción indirecta y compresión de núcleos, además de, evaluaciones in – situ para la recopilación de datos significativos con los que se puedan evaluar el desempeño y la calidad del pavimento en cuestión. Los resultados obtenidos proporcionan información detallada sobre aspectos clave como la absorción de agua, niveles de humedad, capacidad de infiltración y el coeficiente de escorrentía, lo que contribuye a identificar áreas de mejora y a plantear recomendaciones para abordar eficazmente los desafíos viales presentes en el corredor mencionado. Este estudio no solo arroja luz sobre la situación actual del pavimento, sino que también sienta las bases para futuras investigaciones y acciones correctivas que busquen optimizar la infraestructura vial y, garantizar así la seguridad y eficiencia de la red de transporte en la región.

Palabras clave: Pavimento rígido, características, físicas, mecánicas, hidráulicas, infiltración, coeficiente de escorrentía.

1. CAPITULO I. INTRODUCCION

1.1. Introducción

La infraestructura vial actual del Ecuador ha evolucionado a partir de un proceso de mejora de las antiguas carreteras incásicas y coloniales con una orografía difícil y complicada en la sierra, pantanosa y sinuosa en la costa y en el oriente. Inicialmente, se construyeron con sistemas manuales con normas de diseño y trazados muy básicos, para luego avanzar hacia sistemas modernos que requieren un uso intensivo de equipo adecuado (*Historia Vial Del Ecuador*, n.d.).

Un pavimento de concreto o pavimento rígido consiste básicamente en una losa de concreto simple o armado, apoyada directamente sobre una base o subbase. La losa debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento, lo que produce una buena distribución de las cargas de rueda dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante (AASHTO 93, 1993).

Es de suma importancia mantener en buen estado la infraestructura vial para el desarrollo social y económico de sus habitantes así como para su conectividad. Las intensas lluvias que afectan al país han dejado en evidencia diversas deficiencias que enfrenta la falta de mantenimiento de las carreteras. Los problemas más evidentes en las vías que conectan las regiones del país incluyen baches profundos, hundimientos y grietas.

De acuerdo con del Aguila (2016) en la investigación titulada “Diseño y construcción de pavimentos en zonas de altura” un pavimento situado en zonas de gran altitud se ve afectado por una serie de factores, como temperaturas nocturnas bajas, altas temperaturas diurnas, rápida velocidad de enfriamiento, cambios bruscos de temperatura hasta el punto de congelación, gradientes térmicos, exposición a la radiación solar, impacto de ráfagas de viento de montaña, escurrimiento e infiltración de agua superficial, y ascenso capilar de agua freática, entre otros.

Los factores previamente citados pueden vincularse con el análisis de esta ruta, ya que, al considerar las altitudes en cada punto, se puede concluir que se trata de un pavimento que se sitúa por encima de los 2500 metros sobre el nivel del mar y plantea desafíos singulares que requieren ser abordados con precaución durante la planificación, la ejecución y el mantenimiento con el fin de asegurar la resistencia, la seguridad y el correcto funcionamiento del pavimento.

Durante el proceso de análisis a lo largo del tiempo, este pavimento ha sido expuesto a diferentes tipos de esfuerzos como cargas vehiculares pesadas, variaciones climáticas extremas y envejecimiento natural, los cuales pueden afectar su estructura y rendimiento a largo plazo. Por consiguiente es esencial evaluar la condición física del pavimento para determinar si se requiere de mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción.

Asimismo, las condiciones hidráulicas de un pavimento rígido son fundamentales para gestionar el flujo de agua superficial durante eventos de lluvia. Un sistema de drenaje inadecuado puede ocasionar problemas como inundaciones, bombeo, erosión del pavimento, y disminución de la visibilidad en la carretera, incrementando los riesgos para la seguridad vial.

El propósito principal de este estudio es analizar las propiedades físicas e hidráulicas relacionadas con la permeabilidad en el pavimento del corredor vial E487 en el tramo Balbanera – Pallatanga que cuenta con aproximadamente 64 kilómetros de pavimento rígido en donde circulan alrededor de 4000 vehículos TPDA según el MTOP.

1.2. Colector Vial E487, tramo Balbanera – Pallatanga

La Vía Colectora La Unión-T del Triunfo E487 es una carretera secundaria que se extiende entre las provincias de Guayas y Chimborazo. Con una longitud de aproximadamente 140 km, su trazado va de oeste a este, iniciando en la Vía Colectora El Triunfo-Alausí E47 cerca de la zona conocida como la T del Triunfo al este de El Triunfo, y continúa en dirección nororiental hasta llegar a su destino final en la Troncal de la Sierra E35 en Cajabamba. El tramo vial en estudio inicia desde el sector de Balbanera y se extiende por 64 km hasta llegar a Pallatanga.

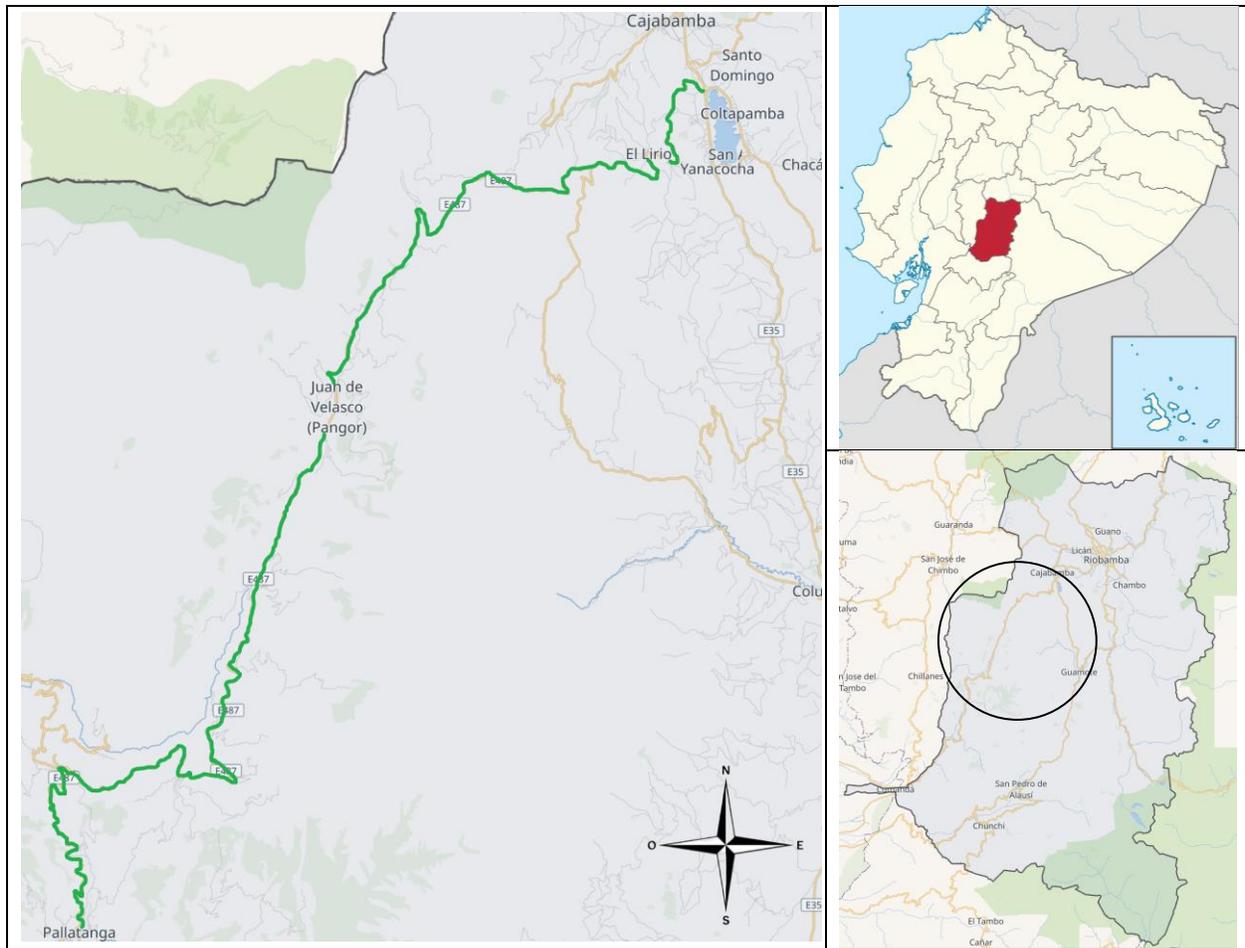


Figura 1. Ubicación geográfica del tramo vial de análisis.

Nota. Imágenes adaptadas de: (Google Maps, 2024)

La última reconstrucción, realizada por el gobierno en la administración 2007 – 2017, en la vía Balbanera – Pallatanga – Bucay, duró dos años con una inversión de \$ 61,9 millones (MTO, n.d.). Al momento de su inauguración, se aseguró que la vía duraría 30 años con los correspondientes beneficios y repercusiones para el comercio, turismo, producción y economía del sector (Los Andes, 2019). La vía Balbanera – Pallatanga – Bucay según (Los Andes, 2019) fue inaugurada en junio de 2012, en la actualidad, después de doce años, se encuentra en pésimas condiciones.

En la actualidad, esta carretera es una de las principales vías que conecta a la región Sierra Centro con la costa y se encuentra en constante deterioro debido al alto tráfico pesado que diariamente circula en la vía y a la variación del clima que cuentan con múltiples precipitaciones.

Con todos estos problemas la economía de los agricultores y productores de los cantones Pallatanga, Cumandá y Bucay se ven afectados por los constantes cierres de la vía Balbanera – Pallatanga – Bucay. El fuerte invierno provocó el hundimiento de un tramo de la carretera que dejó incomunicado a los tres cantones de Chimborazo y Guayas, respectivamente.

1.3. Planteamiento del problema

Los corredores estatales del Ecuador conectan varias regiones, zonas geológicas y pisos climáticos generando en su desarrollo variaciones del perfil estratigráfico sobre el cual está implementado.

En la actualidad, en el corredor E-487 Balbanera – Pallatanga se puede evidenciar un deterioro severo a largo de toda la vía, lo que plantea una serie de desafíos significativos dado que este pavimento está expuesto a una variedad de fuertes condiciones climáticas, cargas vehiculares de tráfico pesado y además ha experimentado un envejecimiento natural y posiblemente daños estructurales.

El problema principal al que se le adjudica el deterioro demás del 85% de esta vía se da por el fenómeno del bombeo, que según Nguyen (1979) es un fenómeno por el cual el agua ubicada entre la superficie inferior de las losa de concreto y el material de soporte, es expulsada por entre las juntas de las losas de concreto al contar con tráfico pesado. Este fenómeno arrastra en ciertos casos partículas finas del soporte del pavimento que con el tiempo va creando cavidades bajo la losa dejando estas trabajando en voladizo.

Todo esto afectando precisamente a las juntas y bordes de pavimento que son precisamente las zonas estructurales más débiles, lo que provoca que, la subbase pierda uniformidad, se incrementen los esfuerzos de flexión en el concreto y finalmente sobreviene la rotura de la losa como se puede evidenciar a lo largo de la vía.

La falta de una evaluación detallada del pavimento rígido en la vía Balbanera – Pallatanga no solo dificulta la planificación de mantenimiento, sino que también puede aumentar los costos de reconstrucción si no se dan atención a los problemas estructurales a tiempo. Por esta razón, realizar

estudios sistemáticos y obtener datos precisos es crucial para garantizar la sostenibilidad y la funcionalidad de la infraestructura vial en la región.

Para controlar la permeabilidad en pavimentos de concreto, se pueden utilizar técnicas como la adición de aditivos impermeabilizantes a la mezcla de concreto, el uso de juntas selladas y la aplicación de selladores de superficie. Estas medidas pueden ayudar a prolongar la vida útil del pavimento y a mantenerlo en buenas condiciones a lo largo del tiempo. La permeabilidad en pavimentos de concreto es un aspecto clave a considerar para garantizar la durabilidad y el rendimiento de las infraestructuras viales.

Por esto, es factible plantear la evaluación por medio de la extracción de núcleos y ensayos de las capas de la estructura del pavimento para adquirir un conocimiento detallado acerca de las condiciones físico – mecánicas y hidráulicas en la que se encuentra el pavimento rígido.

Sin embargo, a pesar de que es necesario en la actualidad, para planificar su mantenimiento o reconstrucción, su aplicación en la vía Balbanera - Pallatanga no se ha llevado a cabo de manera significativa. Esto plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son las principales condiciones físicas e hidráulicas del pavimento rígido existente en la vía Balbanera - Pallatanga?

1.4. Justificación del problema

Las propiedades físico-mecánicas tienen un impacto en la estructura y durabilidad del pavimento, mientras que las características hidráulicas afectan la capacidad del pavimento para gestionar el agua y prevenir problemas relacionados.

La evaluación de estas características, tanto en el campo como en el laboratorio, proporciona información fundamental y actualizada, para comprender y gestionar adecuadamente los pavimentos rígidos.

Una superficie rugosa y porosa, junto con una capacidad de drenaje adecuada, permite que el agua fluya rápidamente a través del pavimento y hacia los sistemas de drenaje correspondientes, evitando la acumulación de agua en la superficie de la carretera.

Responder a la pregunta de investigación permitirá esclarecer el verdadero comportamiento de propiedades físicas e hidráulicas del pavimento rígido existente. Además, la investigación será un aporte fundamental para aclarar la conducta del coeficiente de escurrimiento de vías con características similares a la vía colectora E487.

Es posible generar información que mejore el diseño hidráulico de las vías, lo que resulta en una mayor precisión en las obras y ventajas como la protección contra el deterioro causado por el agua, mayor estabilidad estructural, reducción del riesgo de accidentes, menor necesidad de mantenimiento y beneficios medioambientales.

1.5. Objetivos

1.5.1. General

Evaluar las principales características físicas e hidráulicas del pavimento rígido existente de la vía Balbanera – Pallatanga utilizando el método de extracción de núcleos y métodos de infiltración.

1.5.2. Específicos

- Determinar las características físico – mecánicas del pavimento rígido y capas granulares existentes.
- Examinar las propiedades hidráulicas de la capa de rodadura.

2. CAPITULO II. MARCO TEORICO.

2.1. PAVIMENTO RIGIDO

2.1.1. Pavimento rígido en Ecuador

El pavimento rígido en Ecuador data de su existencia a principios y mediados del siglo XX, cuando el país comenzó a invertir en la modernización de su infraestructura de transporte. El pavimento rígido, típicamente hecho de concreto, se convirtió en una parte integral de la red vial de Ecuador debido a su durabilidad y capacidad para soportar cargas de tráfico pesado.

Además, los avances en las técnicas y materiales de construcción han contribuido a la evolución del pavimento rígido en el Ecuador. Ingenieros y empresas constructoras han adoptado nuevas tecnologías y mejores prácticas para mejorar la calidad y longevidad de las carreteras de hormigón en el país.

En los últimos años, Ecuador ha seguido priorizando el desarrollo de infraestructura, incluido el mantenimiento y rehabilitación de carreteras existentes, así como la construcción de nuevas carreteras y vías urbanas.

En general, la historia del pavimento rígido en Ecuador es un testimonio del compromiso del país para modernizar su red vial y mejorar la conectividad para sus ciudadanos y empresas (Puga, 2018).

2.1.2. Ventajas del pavimento rígido

Las características más importantes que se puede obtener en la construcción de pavimentos rígidos son:

Costo de mantenimiento: Los pavimentos de concreto son más económicos por año de servicio.

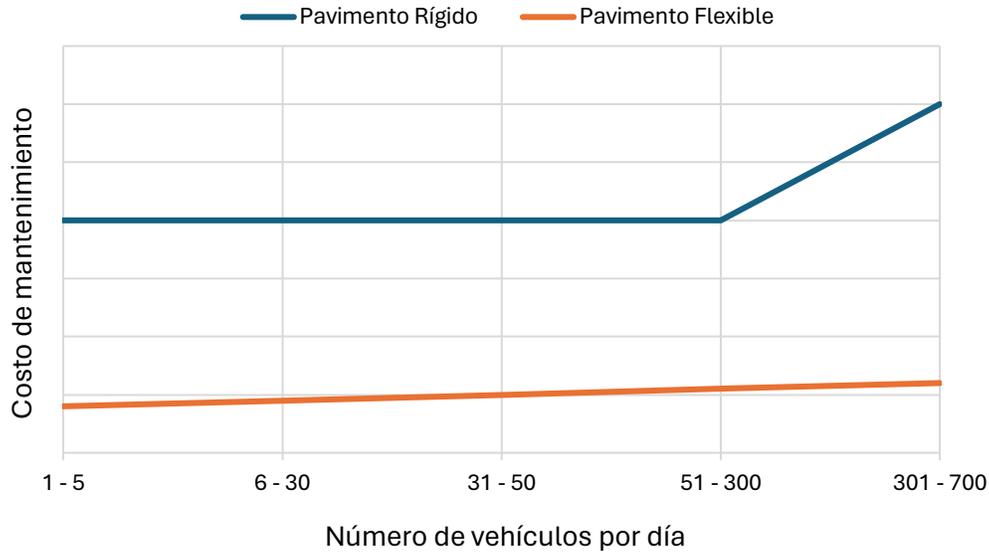


Figura 2. Análisis comparativo entre el pavimento rígido y flexible en términos de costos de mantenimiento.

Nota. Figura adaptada de (Londoño, 2022).

En la figura 1 se compara el costo directo de mantenimiento que se le debe hacer al pavimento de concreto durante su vida útil, se encuentra que equivale, como máximo, a una sexta parte del correspondiente a la alternativa en pavimentos flexibles para carreteras de tráfico pesado, y una cuarta parte para carreteras de tráfico liviano.

Seguridad: La seguridad se ha convertido en un factor esencial en el estudio, planeamiento y diseño de las mismas. Los pavimentos de concreto poseen unas características particulares desde el punto de vista de seguridad por su rugosidad, luminosidad, solidez y demarcación de carriles.

Rugosidad: Los pavimentos de concreto bien construidos pueden conservar su textura rugosa a través de su vida útil lo cual da lugar a una menor distancia de frenado, tanto en estado seco como húmedo.

Resistencia: Los pavimentos de concreto están hechos con un material duradero, de comportamiento predecible; su resistencia aumenta con la edad.

Ahorro de combustible: Estudios realizados por la PCA demostraron que existe un menor consumo de combustible, hasta del 20% en vehículos pesados cuando circulan por los pavimentos de concreto, con respecto al consumo de combustible en otras alternativas. Esto se debe a que los camiones producen mayor deflexión en los pavimentos flexibles, aumentando la energía que el vehículo necesita para moverse.

Comportamiento ante el agua: Mejor comportamiento, por lo cual es una buena opción utilizarlo en zonas donde estará en contacto continuo con el agua, como por ejemplo en zonas bajas o de frecuente inundación (UNIFORT, n.d.).

2.1.3. Capa de rodadura de concreto

La capa de rodadura es la capa superior de la estructura del pavimento, en donde su superficie entra en contacto directo con el tráfico y experimenta desgaste constante debido a la fricción y la carga de los vehículos; por lo que esta capa, debe ser resistente al desgaste, a los impactos y proporcionar suficiente adherencia para evitar derrapes.

Así mismo, esta capa está diseñada para soportar la carga del tráfico y ofrecer una superficie de conducción segura y duradera. Por lo general, está compuesta de hormigón y se construye sobre la base o subbase del pavimento.

2.1.4. Capas granulares

Las capas granulares típicas de un pavimento son la subbase y base. En el caso de los pavimentos rígidos puede omitirse la capa de base granular, dependiendo esto del nivel de solicitudes del tráfico y de la calidad de la fundación (Quispe, 2020).

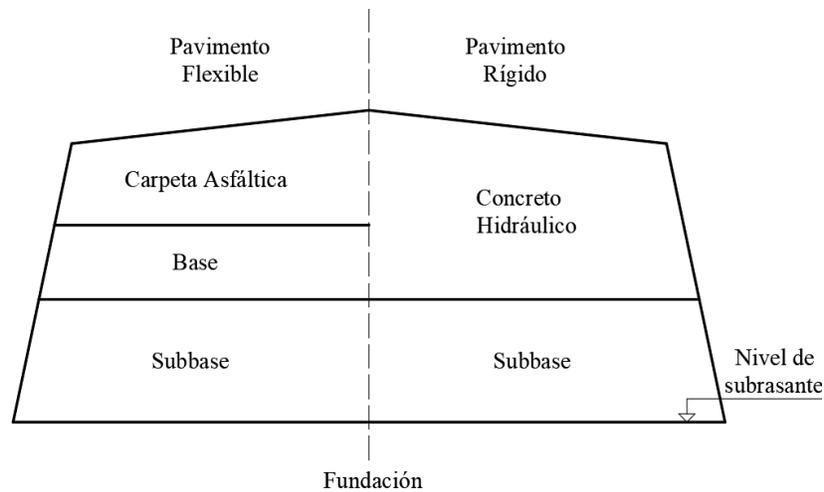


Figura 3. Capas de la estructura de pavimentos rígidos y flexibles.

Nota. Adaptado de (Quispe, 2020).

2.1.4.1. Subbase

La subbase generalmente está compuesta por material granular como grava, piedra triturada o material procesado y clasificado de canteras locales. Este material debe cumplir con los estándares de calidad y gradación establecidos por normativas estandarizadas, en el caso de Ecuador por el MTOP. La subbase es una capa granular que se construye sobre la subrasante para mejorar sus propiedades mecánicas y proporcionar un soporte adecuado para la capa de rodadura.

2.1.4.1.1. Clasificación de subbase

Según la MOP (2002), existen tres clases de subbase:

- Subbase clase 1: está formada por agregados gruesos provenientes de la trituración de grava o roca.
- Subbase clase 2: está formada por agregados gruesos, obtenidos mediante trituración o cribado de gravas o yacimientos cuyas partículas estén fragmentadas naturalmente.
- Subbase clase 3: está formada por agregados gruesos, obtenidos mediante cribado de gravas o roca.

Todas las clases antes mencionadas son mezcladas con arena natural o material finamente triturado para alcanzar la granulometría especificada (Mop-001-F, 2002).

Los agregados gruesos deben representar la composición del material, con un contenido de finos que no supere el 20%. El tamaño máximo de los agregados no debe exceder los 76.2 mm. Esto garantiza un buen drenaje y resistencia estructural. Los materiales empleados utilizados en la construcción de capas de subbase deben ser clasificados de manera uniforme de grueso a fino y deben cumplir con las exigencias de granulometría que se clasificarán con lo impuesto en la Tabla 1.

Tabla 1. Tabla de clasificación de subbase.

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada		
	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 3
3" (76.2 mm.)	--	--	100
2" (50.4 mm.)	--	100	--
1 1/2" (38.1 mm.)	100	70 - 100	--
Nº 4 (4.75 mm.)	30 - 70	30 - 70	30 - 70
Nº 40 (0.425 mm.)	10 - 35	15 - 40	--
Nº 200 (0.075 mm.)	0 - 15	0 - 20	0 - 20

Nota. Adaptado de (Mop-001-F, 2002)

2.2. PROPIEDADES FISICAS DEL PAVIMENTO RIGIDO

2.2.1. Granulometría

La granulometría es un método de análisis que se emplea para determinar la distribución de tamaños de partículas en un material determinado.

La correcta granulometría en la subbase es fundamental para asegurar la resistencia, estabilidad y capacidad de drenaje del pavimento. Una combinación de agregados bien graduados contribuye a crear una estructura sólida y uniforme que puede soportar de manera eficiente las cargas del tráfico y distribuir las de forma homogénea a lo largo de la estructura del pavimento (HOLCIM, n.d.).

2.2.2. Clasificación del suelo

Los sistemas de clasificación de suelos como el SUCS y la AASHTO son ampliamente utilizados en ingeniería civil para describir y clasificar los suelos según sus propiedades físicas y mecánicas, dependiendo del contexto específico del proyecto.

2.2.2.1. SUCS

Según la clasificación del sistema SUCS, la clasificación de los suelos se fundamenta en diferentes criterios, tales como el tamaño de las partículas, la distribución de tamaños de partículas, la plasticidad y la cohesión.

Los principales grupos de suelos incluyen gravas (GW), arenas (SW), limos (ML), arcillas (CL), mezclas de grava-arena-limo (GW-GM-GC) y mezclas de arcilla-limo (CL-ML), entre otros (Borselli, 2024).

2.2.2.2. AASHTO

Según la clasificación del sistema AASHTO, los suelos se dividen en grupos principales y subgrupos en función de sus propiedades granulométricas, índices de plasticidad y comportamiento bajo carga.

Los grupos principales de suelos abarcan gravas (A-1), arenas (A-2), limos (A-4), arcillas (A-7), entre otros, y cada uno cuenta con subgrupos que detallan las propiedades del suelo de manera más específica (Borselli, 2024).

El sistema AASHTO se emplea principalmente en el diseño y la construcción de carreteras y estructuras de transporte.

2.2.3. Macrotextura

La macrotextura hace referencia al relieve de la capa de rodadura que es visible a simple vista, y guarda una estrecha relación con el drenaje superficial del pavimento, lo cual incide en la expulsión del agua durante y después de una precipitación. (Instituto Mexicano del Transporte & Secretaria de Comunicaciones y transportes., 1988).

En el Ecuador, ha sido adoptada como práctica habitual en la construcción de pavimentos rígidos el cepillado transversal; que consiste en el arrastre en el sentido transversal de un implemento tipo peine metálico que genera una serie de surcos sobre la superficie del pavimento, que funcionan como pequeños canales a través de los cuales el agua puede escapar más fácilmente de la huella de contacto entre el pavimento y el neumático, reduciendo de esta manera el potencial de hidroplaneo (Calo et al., 2012).

2.2.4. Desgaste a la abrasión en subbase

La abrasión por desgaste de la subbase se refiere a la pérdida de material que sufre la capa de subbase de una estructura (como una carretera, una plataforma, etc.) debido a la acción abrasiva de agentes externos, como el tráfico vehicular, la erosión, la abrasión por partículas arrastradas por el agua, entre otros. Este desgaste puede ocasionar la degradación progresiva de la subbase, comprometiendo su capacidad para brindar soporte estructural y estabilidad a la capa superior (IMCYC, 2007).

2.2.4.1. Clasificación de índice de desgaste

Los agregados gruesos no tendrán un índice de desgaste superior al 50% en la prueba de abrasión. Si es así, este índice demuestra que el material tiene una buena resistencia al desgaste, lo que significa que no se deformará fácilmente con el paso del tiempo (Mop-001-F, 2002).

2.2.5. Densidad

La densidad se relaciona principalmente con la densidad aparente de materiales como el suelo, la grava, el concreto, entre otros. La densidad aparente se calcula dividiendo la masa de un material entre su volumen aparente, es decir, el volumen total ocupado por el material, incluyendo los espacios vacíos entre partículas.

2.2.6. Absorción

En el caso del hormigón, la absorción de agua puede tener un impacto en su resistencia, durabilidad y capacidad de resistir la congelación y descongelación. El agua absorbida

puede favorecer la corrosión del refuerzo de acero dentro del hormigón y contribuir a la degradación del material.

En cuanto al suelo, la absorción de agua puede afectar su capacidad para soportar cargas, su estabilidad y su comportamiento durante eventos como fuertes lluvias. Los suelos con alta capacidad de absorción pueden expandirse al absorber agua y contraerse al secarse, lo que puede ocasionar problemas de asentamiento y grietas en las estructuras construidas sobre ellos.

2.2.7. Humedad

En cuanto a las especificaciones técnicas, las regulaciones y estándares de construcción pueden establecer restricciones en cuanto al nivel de humedad permitido en el concreto antes de la colocación del pavimento. Estas restricciones pueden variar dependiendo del tipo de proyecto y las condiciones locales, pero generalmente se encuentran en un rango de 3-5% de humedad (Tejerina, n.d.).

2.3. PROPIEDADES MECANICAS DEL PAVIMENTO RIGIDO

2.3.1. Métodos destructivos de evaluación en pavimentos rígidos

Los métodos destructivos en el pavimento de concreto son técnicas que implican la extracción de muestras del pavimento para su análisis o la aplicación de cargas directamente sobre el pavimento para evaluar su comportamiento estructural.

2.3.1.1. Extracción de núcleos

Este método implica la perforación de un núcleo cilíndrico de concreto del pavimento para su análisis en laboratorio. Los núcleos extraídos proporcionan información sobre el espesor del concreto, la calidad del concreto, la presencia de grietas y otras características del pavimento.

2.3.1.2. Resistencia a la compresión

Este ensayo se realiza por medio de una prensa que comprime la probeta hasta provocarle la rotura a la misma, obteniendo de esta manera el valor último de carga para ese tipo de hormigón (Hern et al., 1909).

2.3.1.3. Resistencia a la tracción indirecta

El ensayo de tracción indirecta consiste en deformar por compresión diametral a una probeta cilíndrica situada horizontalmente entre los platos de una prensa, hasta causar la falla de la misma por fractura a lo largo del plano vertical (Coloma & Tabango, 2006).

2.4. PROPIEDADES HIDRAULICAS DEL PAVIMENTO RIGIDO

Es importante tener en cuenta en el diseño las propiedades hidráulicas en los pavimentos de concreto para asegurar un correcto drenaje del agua en la superficie de la carretera, con el objetivo de evitar situaciones como el hidropneumático y el deterioro temprano del pavimento debido a la infiltración de agua.

2.4.1. Permeabilidad en pavimentos rígidos

La permeabilidad en pavimentos de concreto se refiere a la capacidad del agua de penetrar a través de la superficie del concreto. Esto puede depender de varios factores, como la porosidad del concreto, la calidad de la mezcla y el sellado aplicado. Es importante tener en cuenta la permeabilidad para prevenir problemas como la infiltración de agua, que puede causar daños en el pavimento a largo plazo (Association, 2006).

En pavimentos rígidos de acuerdo con Guaman (2019), la permeabilidad es un aspecto importante para considerar por varias razones tales como:

Drenaje superficial: La permeabilidad del pavimento de concreto puede ayudar a facilitar el drenaje superficial del agua de lluvia. Si el pavimento es permeable, el agua puede filtrarse a través de la superficie y las juntas hacia los sistemas de drenaje, como cunetas y desagües, en lugar de acumularse en la superficie de la carretera. Esto ayuda a prevenir el estancamiento de agua, reduce el riesgo de hidropneumático y mejora la seguridad vial.

Evacuación de agua subterránea: En algunos casos, puede ser deseable que el pavimento de concreto permita el paso del agua hacia capas subsuperficiales del suelo. Esto ayuda a prevenir la acumulación de agua debajo del pavimento, lo que podría provocar problemas como el levantamiento del concreto debido a la presión del agua o la expansión del suelo.

Control de la humedad del suelo: La permeabilidad del pavimento de concreto puede influir en la capacidad del pavimento para controlar la humedad del suelo subyacente. En algunas situaciones, un pavimento permeable puede ayudar a controlar la humedad del suelo y prevenir problemas como la expansión del suelo o la erosión.

Es importante tener en cuenta que el nivel de permeabilidad del concreto puede variar según factores como la calidad del concreto, el diseño de juntas, el tipo de agregados utilizados y las condiciones climáticas locales. Al construir pavimentos se deben considerar cuidadosamente estos factores al diseñar y construir carreteras de concreto para garantizar un rendimiento óptimo y duradero del pavimento.

2.4.2. Hidroplaneo

El fenómeno del hidroplaneo en pavimentos rígidos se produce cuando una capa de agua se acumula sobre la superficie del pavimento, lo que provoca una pérdida temporal de contacto entre los neumáticos del vehículo y la carretera. A pesar de que el hidroplaneo se asocia comúnmente con pavimentos flexibles, también puede presentarse en pavimentos rígidos en determinadas condiciones.

Cuando llueve, el agua puede estancarse en la superficie del pavimento, especialmente en áreas con depresiones, pendientes o un sistema de drenaje inadecuado. Si la velocidad del vehículo es alta y la profundidad del agua en la superficie supera la capacidad de drenaje del pavimento, los neumáticos del vehículo pueden perder contacto con el suelo, lo que resulta en un efecto de hidroplaneo.

Para prevenir el hidroplaneo en pavimentos rígidos, es esencial mantener un sistema de drenaje adecuado en las carreteras y superficies texturizadas que minimicen el riesgo de hidroplaneo para asegurar un drenaje eficiente del agua de lluvia (*DRENAJE DE PAVIMENTOS EN CARRETERAS*, 2021).

2.4.3. Coeficiente de escurrimiento

El coeficiente de escurrimiento (C) es el porcentaje de agua de la lluvia total que termina generando escurrimiento superficial después de que el suelo se haya saturado por completo. Su valor

depende de las características específicas del terreno que determinan la infiltración del agua en el suelo (Asensio et al., 2011).

2.4.4. Velocidad de infiltración

Según Anónimo (2019), la velocidad de infiltración en pavimentos rígidos hace referencia a la velocidad con la que el agua puede penetrar a través del pavimento y llegar a las capas inferiores del suelo. Por lo general este valor se expresa en mm/h y disminuye con el tiempo hasta alcanzar un valor constante. Es esencial controlar la velocidad de infiltración para evitar problemas de drenaje y acumulación de agua en la superficie del pavimento, lo que puede causar deterioro prematuro, pérdida de resistencia estructural y otros problemas de seguridad vial .

Estrategias como el diseño adecuado de sistemas de drenaje y la selección de materiales de pavimentación apropiados pueden contribuir a controlar la velocidad de infiltración en los pavimentos rígidos.

2.4.5. Tiempo de saturación

El tiempo de saturación en pavimentos es el lapso que se requiere para que el agua llene por completo los poros del pavimento y alcance su capacidad máxima de retención de agua. Dicho tiempo puede cambiar según diversos factores, como el tipo de pavimento, la porosidad del material, la cantidad y la intensidad de la precipitación, entre otros (Erazo & Asociados Ltda., 1994).

Según Nazeno (2014), en los pavimentos rígidos debido a su alta impermeabilidad y baja porosidad, el tiempo que se tarda en saturar puede ser relativamente largo, a diferencia de pavimentos permeables como los construidos con adoquines, en los cuales el tiempo puede ser más corto, esto debido a facilidad con la que penetra el agua a través de la superficie.

2.4.6. Superficie saturada seca

Según Espinoza (2005), en los pavimentos rígidos en épocas de lluvia el agua llega a infiltrarse en el pavimento y llenar los poros del material, hasta llegar a un estado de saturación en su interior, aunque a simple vista la superficie del pavimento parece seca. Es fundamental considerar que a pesar de que la superficie pueda aparentar estar seca, el pavimento se encuentra en un estado de

saturación y existen posibles peligros relacionados con la tracción y la seguridad vial, sobre todo si el agua continúa infiltrándose y no se drena de manera adecuada.

3. CAPITULO III. METODOLOGIA.

3.1. Tipo de investigación

En este trabajo se aplicó el tipo de investigación “cuantitativa”, ya que se recolecto información, mediante ensayos de campo y laboratorio para determinar y analizar las condiciones en las que se encuentra la capa de rodadura y la subbase.

3.2. Diseño de investigación

El diseño de la investigación que se ha usado es de tipo descriptivo, este se fundamenta en la teoría que se construye a través de la recolección, análisis y presentación de los datos obtenidos (Muguira, 2023), dando así a conocer las características físico – mecánicas e hidráulicas del pavimento rígido que se presenta en el corredor vial Balbanera – Pallatanga; datos verídicos que posteriormente sirvan para futuros trabajos de investigación.

3.3. Diagrama metodológico

El diagrama a continuación muestra la secuencia de pasos para la realización de los objetivos planteados en este trabajo.

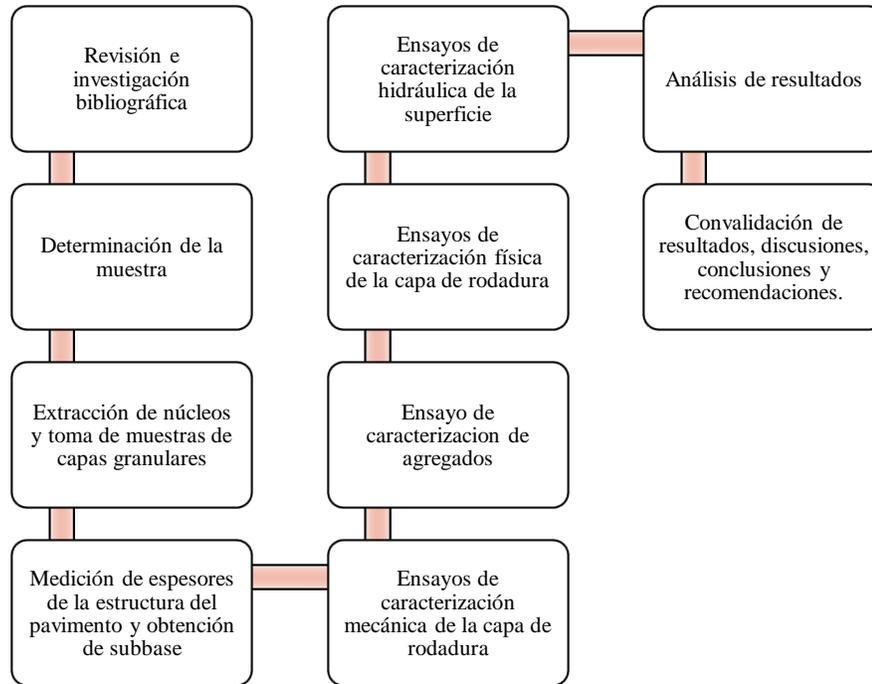


Figura 4. Diagrama metodológico de investigación.

3.4. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos.

Las normas descritas a continuación, son una guía para la realización de cada una de las pruebas, tanto en campo como en laboratorio; en donde se indican los procedimientos e instrumentos que se usar en cada uno de los ensayos.

3.4.1. Granulometría de agregados NTE INEN 696

Este método de prueba se emplea principalmente para determinar la clasificación de materiales con el fin de utilizarlos como agregados para hormigón o como agregados para otros propósitos. Los resultados se utilizan para verificar si la distribución de tamaño de las partículas cumple con los requisitos de las especificaciones correspondientes y proporcionar la información necesaria para el control de la producción de diversos productos que contengan agregados y mezclas de agregados. La información también puede ser útil en el desarrollo de relaciones para estimar la porosidad y la disposición de las partículas (INEN NORMA TÉCNICA ECUATORIANA, 2011).

3.4.2. Desgaste del árido grueso de partículas menores a 37.5 mm NTE INEN 860

La degradación se utiliza como indicador de la calidad o competencia de los áridos y fuentes de áridos con composiciones mineralógicas similares. Los resultados de este ensayo no permiten comparar fuentes de diferente origen, composición o estructura. Los áridos mencionados en esta norma pueden ser gravas, piedras naturales u otros materiales obtenidos por trituración (INEN 860, 2011).

3.4.3. Densidad y absorción de agregado fino NTE INEN 856

Este procedimiento de prueba se utiliza para calcular la densidad media en una muestra de árido fino (sin tener en cuenta el volumen de los espacios vacíos entre partículas), la densidad relativa y la absorción del árido (INEN, 2010b).

3.4.4. Densidad y absorción de agregado grueso NTE INEN 857

Este procedimiento de prueba se utiliza para calcular la densidad promedio en una muestra de árido grueso (sin tener en cuenta el volumen de los espacios vacíos entre partículas), la densidad relativa y la absorción del árido (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010).

3.4.5. Extracción de núcleos ASTM C42

Esta regulación establece los protocolos habituales para obtener y examinar núcleos perforados y vigas cortadas de concreto. El propósito principal de esta norma es ofrecer métodos uniformes y confiables para evaluar la resistencia y otras características del concreto en estructuras ya existentes o recién construidas (ASTM, 2016)

En resumen, la norma ASTM C42 define los métodos convencionales para obtener muestras de concreto y llevar a cabo pruebas que posibiliten la evaluación de su resistencia y demás características, lo cual ayuda a asegurar la seguridad y la longevidad de las estructuras de concreto.

3.4.6. Resistencia a la compresión de núcleos NTE INEN 1573

Este procedimiento de prueba es válido para especímenes cilíndricos tales como cilindros moldeados y núcleos perforados de hormigón de cemento hidráulico, con una densidad superior a 800 kg/m^3 (INEN, 2010a).

3.4.7. Contenido de humedad NTE INEN 862

Este método de prueba es suficientemente preciso para los propósitos comunes, como ajustar las cantidades de ingredientes para una mezcla de hormigón. En general, el método mide de manera confiable la humedad presente en la muestra de prueba, pero no determina las variaciones que pueden ocurrir en el depósito. En casos donde el agregado se ve afectado por el calor, o cuando se requiere una medición más precisa, la prueba debe realizarse utilizando un horno ventilado con temperatura controlada (CPE INEN 5 Parte 9-1, 2003).

3.4.8. Porcentaje de vacíos

Esta norma describe el procedimiento para determinar la densidad, la absorción de agua y los vacíos en el concreto endurecido.

De acuerdo con la norma ASTM C642, donde se establece un método estándar para medir la densidad, la absorción de agua y los vacíos en muestras de concreto endurecido, como cilindros o núcleos. Es necesario contar con cilindros de concreto endurecido, preferiblemente extraídos de la estructura en estudio, para llevar a cabo las pruebas.

Los cilindros se someten a un proceso de secado en un horno a una temperatura específica para eliminar la humedad antes de realizar las mediciones. Se toman con precisión las dimensiones de los cilindros (diámetro y altura) y de igual manera su masa.

La densidad del concreto se calcula mediante la medición de su masa y su volumen después del secado. Los cilindros secos se sumergen en agua durante un período determinado y luego se mide la masa del cilindro después de la inmersión para determinar la cantidad de agua absorbida.

Utilizando los datos de densidad y absorción, se calcula el porcentaje de vacíos en el concreto. Este cálculo tiene en cuenta la densidad del agua y la densidad del concreto (ASTM C642, 2006).

3.4.9. Tracción indirecta de núcleos ASTM C496

En este ensayo se aborda la determinación de la resistencia a la fractura bajo tensión de muestras cilíndricas de concreto, como los cilindros moldeados o los núcleos extraídos (ASTM C496, 2010).

3.4.10. Macrotextura del pavimento ASTM E965

De acuerdo con la norma ASTM E965, dónde se indica un procedimiento para calcular la profundidad promedio de la macrotextura de una superficie pavimentada mediante la aplicación precisa de una cantidad conocida de material en la superficie y la posterior medición del área total cubierta.

3.4.11. Tasa de infiltración en pavimento rígido ASTM D3385

De acuerdo con la norma ASTM D3385, dónde se describe un procedimiento para medir la tasa de infiltración de un líquido, generalmente agua, en superficies utilizando un infiltrómetro de doble anillo. Este método de prueba se puede realizar en la superficie del suelo o a diferentes profundidades en pozos, ya sea en suelo desnudo o con vegetación, dependiendo de las condiciones en las que se desee medir la tasa de infiltración.

Para este ensayo en campo y tomando en cuentas las especificaciones de la norma antes mencionada, se utilizó un infiltrómetro con dos cilindros concéntricos, los cuales tendrán las siguientes medidas: el diámetro del cilindro interior será de 250 mm, mientras que el diámetro del cilindro exterior será de 450 mm. Ambos cilindros tendrán una altura de 600 mm.

Los cilindros están elaborados de acero galvanizado de 1.5 mm de espesor con un peso total de 22.5 kg.

En el contorno inferior de ambos cilindros para mejor adaptabilidad con el pavimento se colocará un caucho (burlate) con alma metálica de uso común para sellar contenedores. Se utilizó este caucho por la facilidad de encaje con ambos filos del tol.

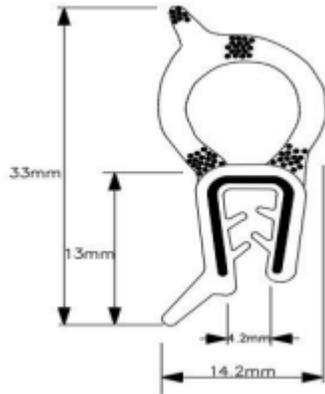


Figura 5. Perfiles burletes alambrados 341. Esquema adaptado de GLOBAL RUBBER CORPORATION S.A.C.



Figura 6. Vista superior del caucho, donde se muestra el alma metálica.



Figura 7. Vista lateral del caucho.



Figura 8. Contorno inferior de cilindros de caucho.

Para realizar este ensayo en pavimento rígido se tomaron algunas consideraciones al momento de adaptar el instrumento en el área de prueba.

Una vez colocado el caucho en los cilindros, se asientan los mismos en el pavimento y en las 4 esquinas del marco portante se colgará un peso de 15 kg por lado, es decir, un total de 60 kg con la finalidad de evitar filtración de agua por los contornos de los cilindros.

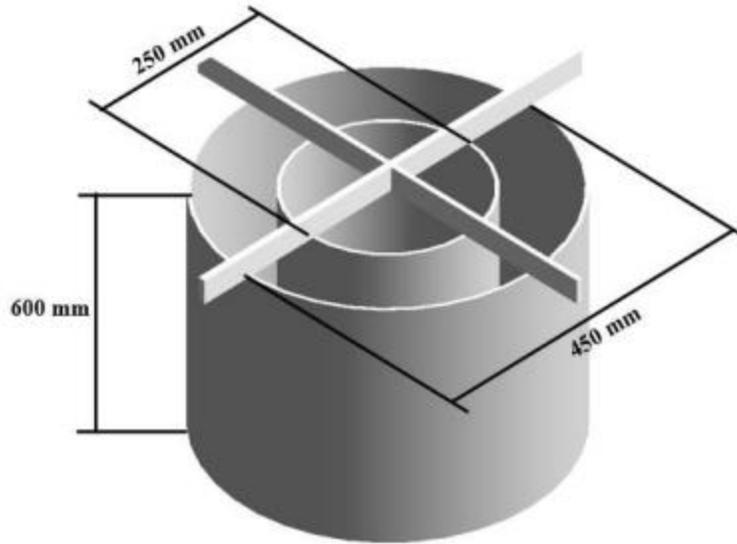


Figura 9. Esquema infiltrómetro de doble anillo.

Nota. Tomado de (Rosero & Cepeda, 2024)

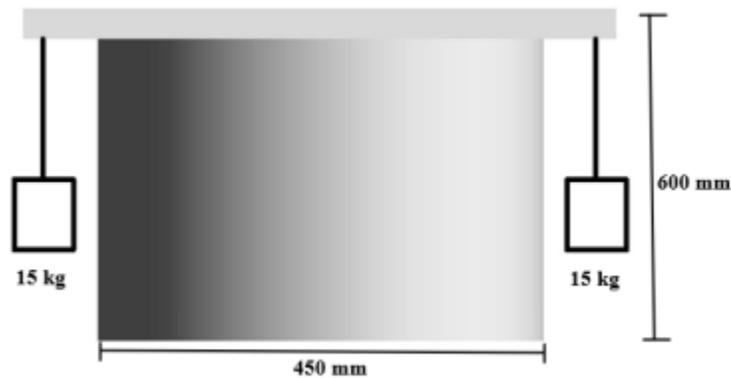


Figura 10. Vista lateral infiltrómetro, 15kg por cada lado del marco portante.

Nota. Tomado de (Rosero & Cepeda, 2024)

Con el fin de garantizar una mayor seguridad, se utilizará un adhesivo sellador de uso múltiple para evitar la filtración de agua entre el pavimento rígido y el caucho, así como en la unión entre el inicio y el final del caucho. La silicona se distribuirá en los contornos inferiores de los cilindros mediante una pistola metálica para cartucho de silicón. Es fundamental asegurarse de que la superficie esté completamente seca para lograr una correcta adhesión de la silicona sin ningún inconveniente.

3.5. Definición de la muestra

3.5.1. Población

Pavimento rígido de la vía colectora E487 que tiene como inicio en el sector de Balbanera (Colta) y termina en el sector “Barrio Lindo” entrada de Pallatanga, ubicada en la provincia de Chimborazo.

3.5.2. Muestra

Este tramo de vía cuenta con 64 km y se obtuvieron 5 especímenes cilíndricos de hormigón de 3.75 in (95mm) de diámetro aproximadamente, de acuerdo con la normativa ASTM C42.

Se determinaron estos puntos estratégicamente de acuerdo con las zonas similares en clima, geología, hidrología, TPDA, entre otros aspectos. Considerando de igual forma la seguridad y comodidad en la toma de muestras in situ.

3.5.3. Tipo de muestreo

Probabilístico Estratificado

3.5.4. Tamaño de la muestra

En los 64 km de vía se requiere al menos una muestra por cada zona definida puntualmente de la vía, con el fin de llevar a cabo los ensayos correspondientes, tal como se indica en la metodología de investigación.

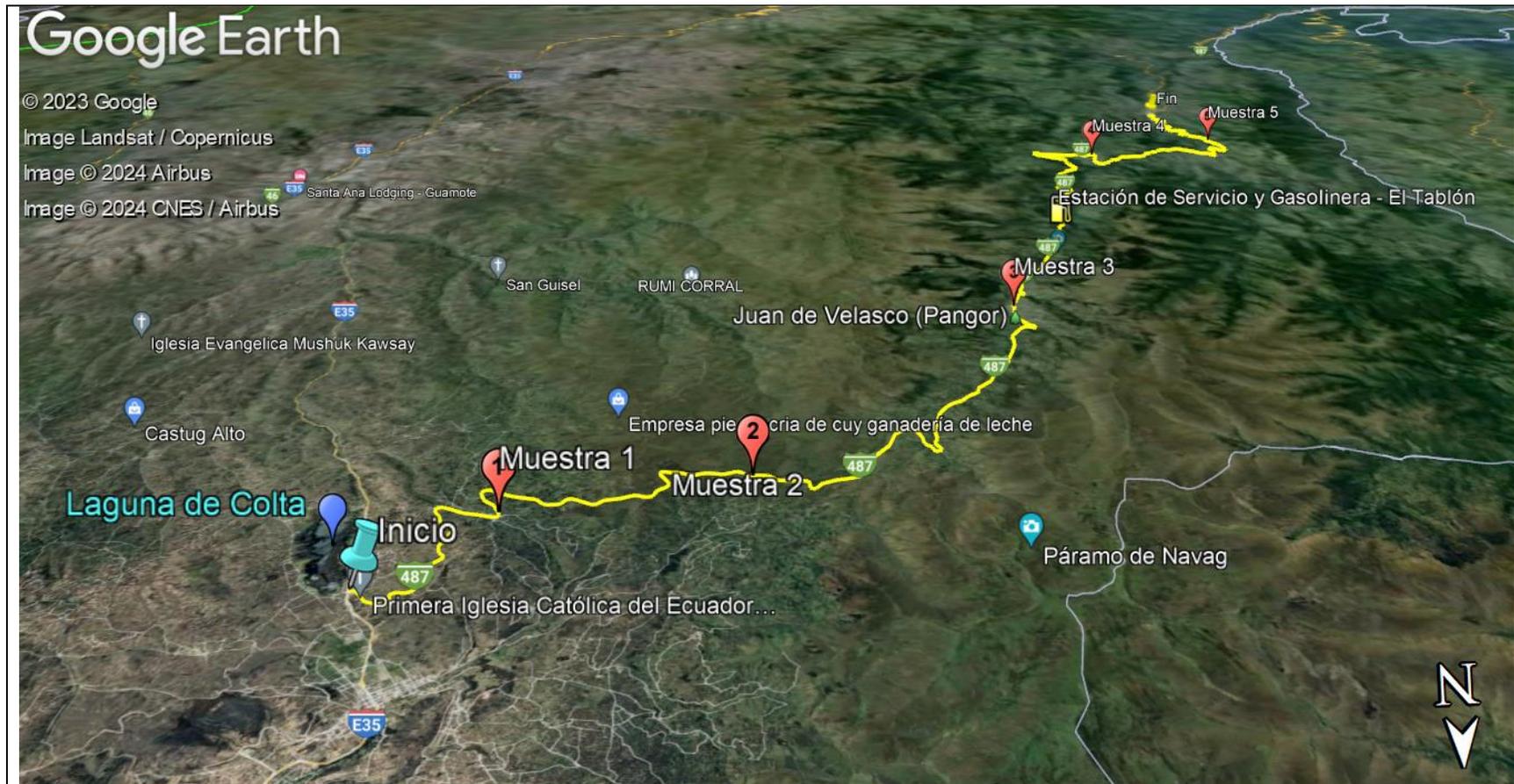
3.5.5. Criterios de selección

3.5.5.1. Uniformidad de la vía

Mediante una evaluación visual a lo largo de la vía, como primer punto se puede determinar que el pavimento se encuentra en un estado crítico, donde las losas de hormigón se encuentran fisuradas en aproximadamente un 80%, esto adicionalmente con climas y precipitaciones presentes en estas zonas deteriora más a la estructura del pavimento (Los Andes, 2019). Es por lo que se toma esta vía como punto de análisis en el presente trabajo.

3.5.5.2. Topografía

El estudio de la topografía es un punto esencial para el diseño, la construcción y el mantenimiento de una infraestructura vial. Como se observa en las figuras 11 y 12, se puede determinar que el relieve en donde se encuentra la vía es tipo montañoso, ya que atraviesa la Cordillera de los Andes. Para determinar los puntos de estudio se analizó las zonas geográficas, donde se destacaron 5; zona baja montaña, zona de alta montaña; páramo alto, valle y falla geológica.



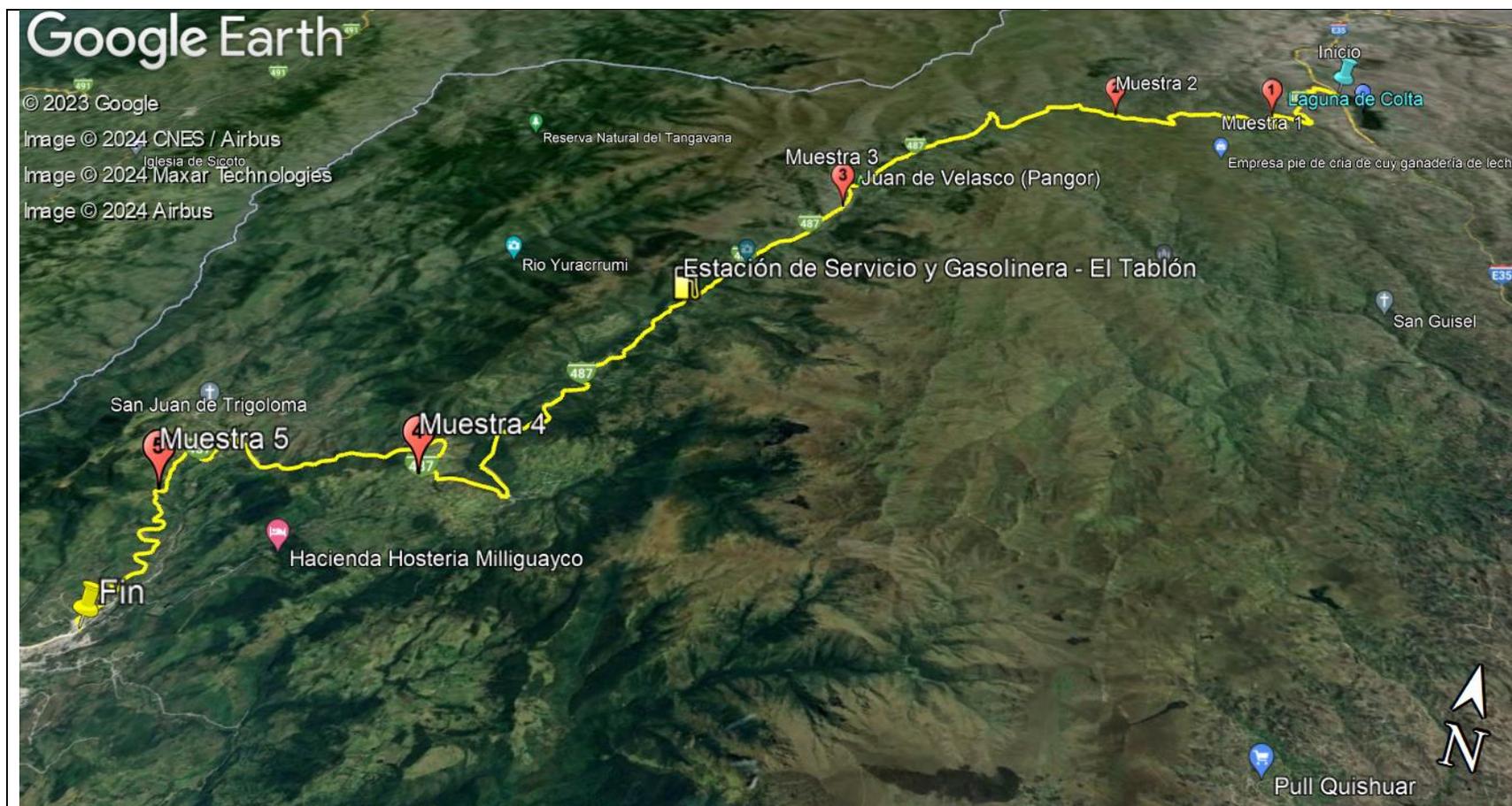


Figura 11. Relieve de inicio y fin de la vía.

Nota. Adaptado de: (Google Earth, 2024)

En la tabla a continuación se indica las coordenadas de principio a fin de los tramos que se han establecido en esta vía.

Tabla 2. Coordenadas de inicio a fin de zonas establecidas.

Tramos	COORDENADAS UTM			
	INICIO		FIN	
	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE
Inicio - 1	748964,00	9809133,00	742268,40	9806812,90
1 - 2	742268,40	9806812,90	742268,40	9805727,60
2 - 3	742268,40	9805727,60	735550,10	9797931,60
3 - 4	735550,10	9797931,60	729985,30	9784560,90
4 - 5	729985,30	9784560,90	725402,10	9782913,60
5 - Fin	725402,10	9782913,60	726415,00	9779354,00

3.5.5.3. Falla geológica

Según Vallejo (2023), la falla Pallatanga se extiende desde el Golfo de Guayaquil y atraviesa la cordillera occidental bordeando el río Pangor y se prolonga al norte hacia la población de Cajabamba, zona a la cual se le atribuye el epicentro del mismo terremoto de 1797 que destruyó la antigua ciudad de Riobamba. (Vallejo, 2023)

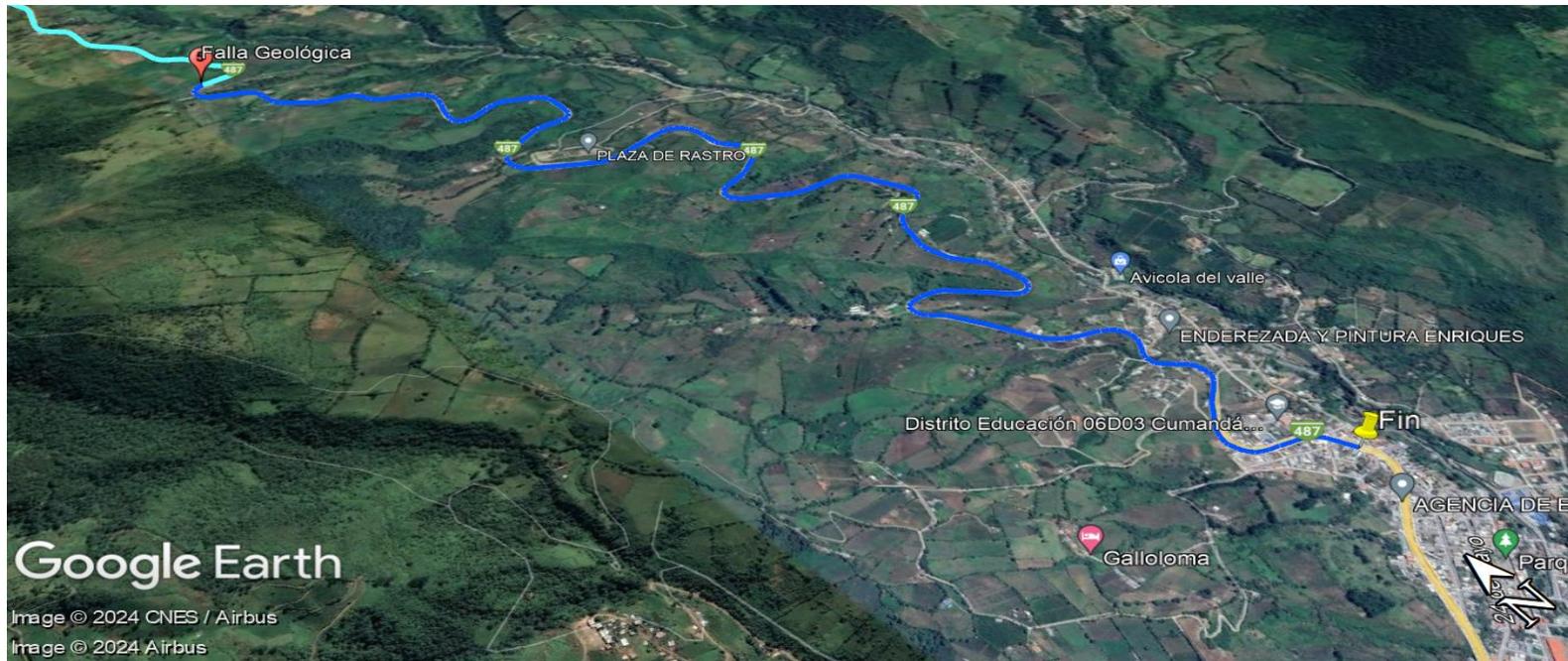


Figura 12. Relieve de fin de la vía.

Nota. Adaptado de: (Google Earth, 2024)

Dada esta falla se determinó como un punto de estudio en el sector de San Juan de Trigoloma, ya que por esta zona se registran deslizamientos de tierras.

Según el informe preliminar de los técnicos de Secretaría de Estado en 2017, el actual deslizamiento ocurrió en una zona con tendencia muy alta a movimientos en masa. De igual manera, conforme el Mapa de Fallas y Pliegues Cuaternarias de Ecuador, del Servicio Geológico de los Estados Unidos, por ese sector atraviesa la falla geológica regional de Pallatanga (*SGR Realiza Inspección En Deslizamiento de La Vía Riobamba-Pallatanga-Guayaquil – Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, 2017*).

3.5.5.4. Clima

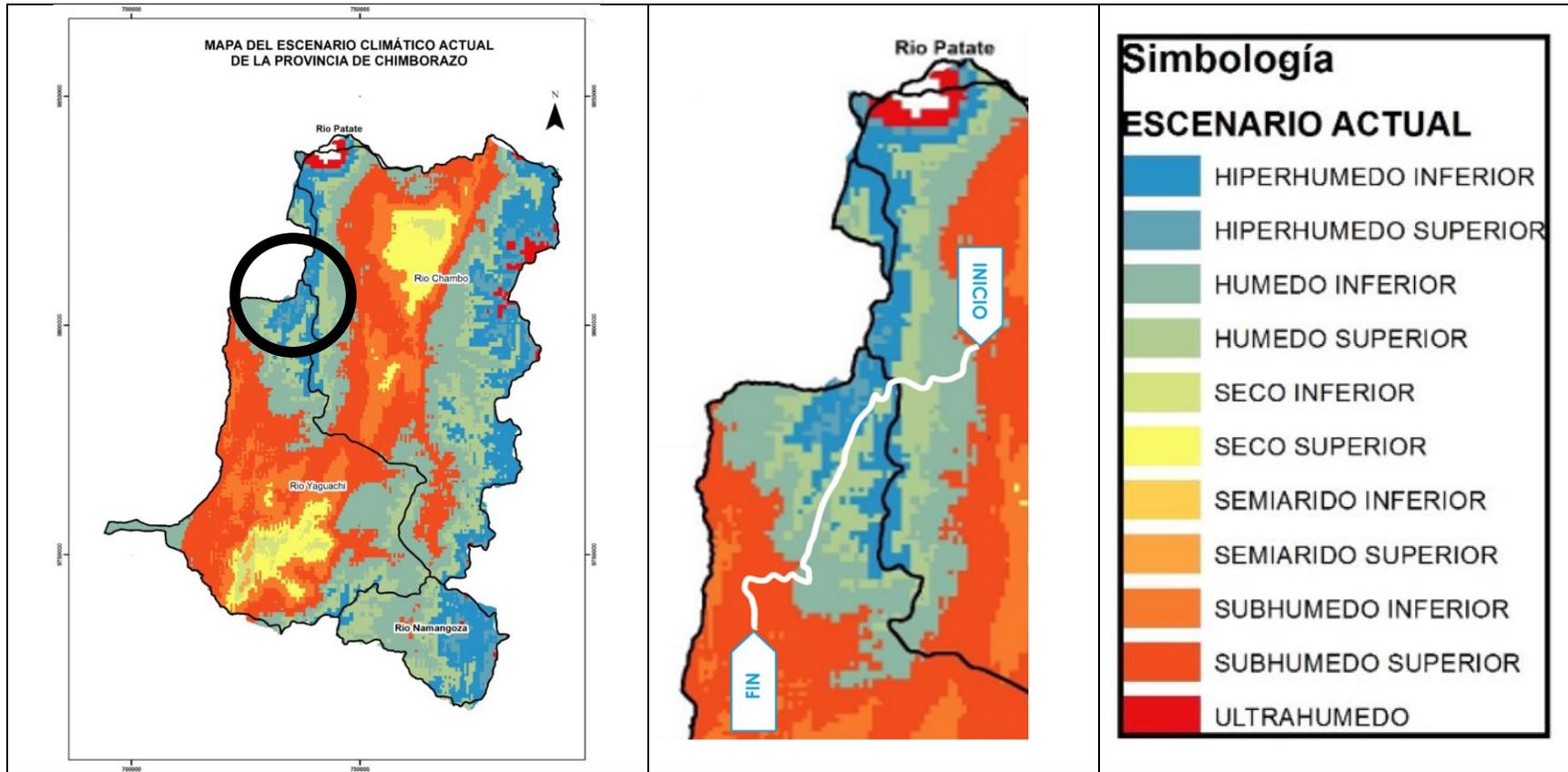


Figura 13. Mapa climático de Chimborazo adaptado a la vía en estudio.

Nota. Adaptado de: (Bustamante, 2017)

El clima es otro factor para tomar en cuenta en estas zonas ya que como se indica en la figura 13, esta vía atraviesa más de 3 escenarios climáticos a lo largo de toda la vía, por lo que un aspecto importante que considerar para el estudio de los puntos.

3.5.5.5. Hidrología e Hidrografía

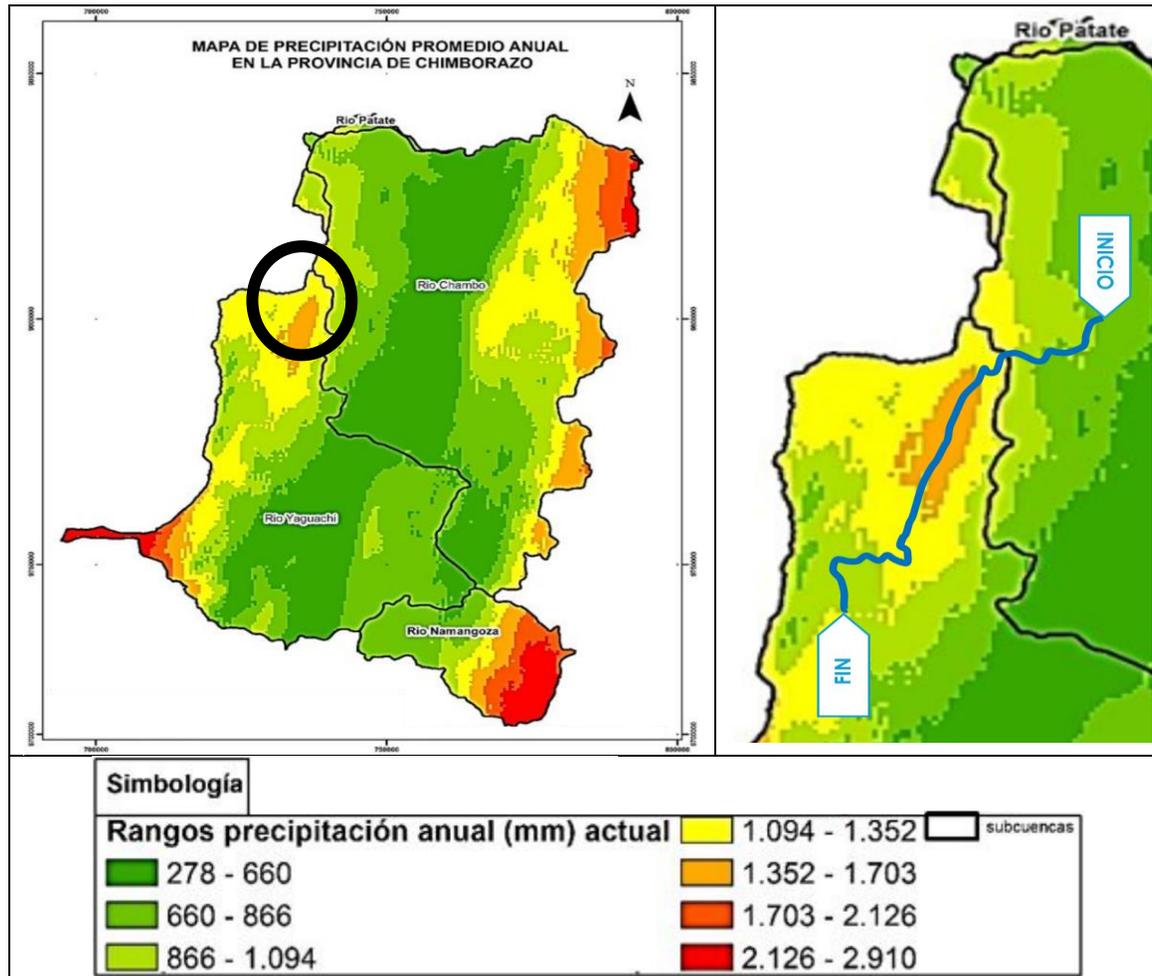


Figura 14. Mapa de precipitaciones promedio anual de la provincia de Chimborazo adaptado a la vía en estudio.

Nota. Adaptado de: (Bustamante, 2017)

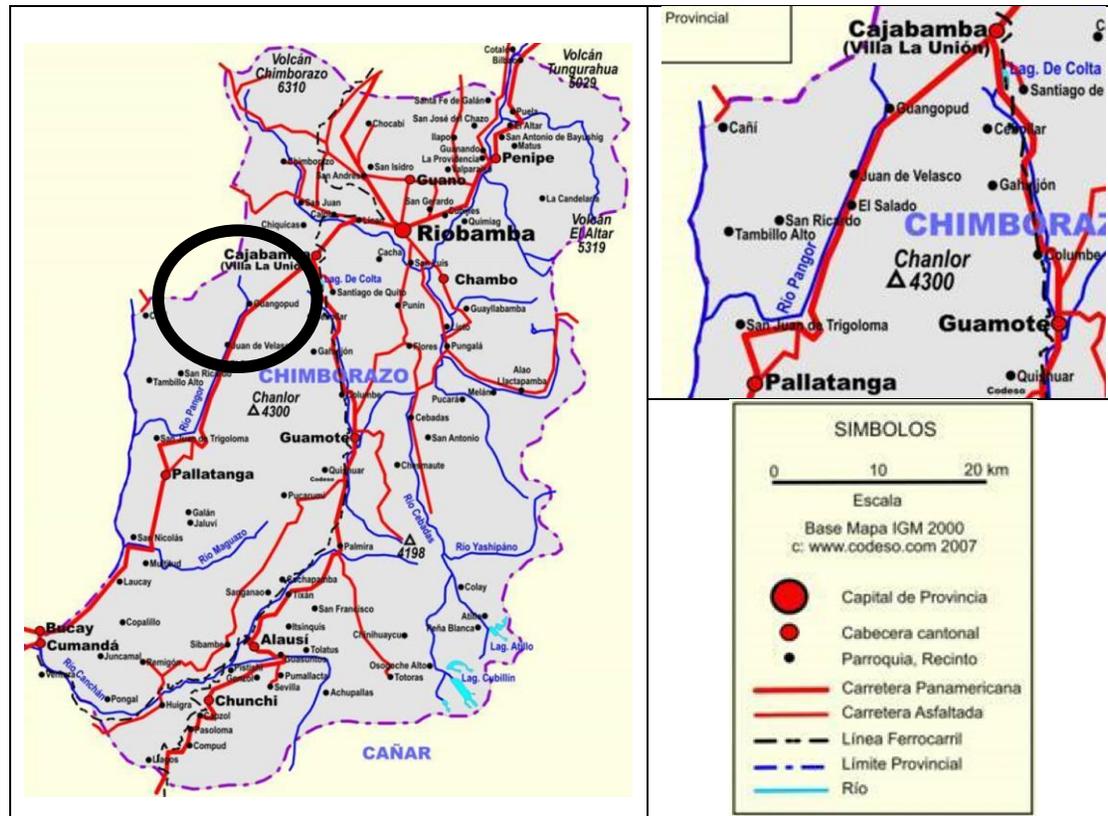


Figura 15. Mapa hidrográfico de la provincia de Chimborazo.

Nota. Adaptado de: (Mapas de Carreteras de Chimborazo, n.d.)

Las precipitaciones son otro tema muy importante que se tomó en cuenta para la asignación de los puntos en estas zonas, según el mapa de la figura 14 se registran rangos de precipitación altos por las zonas donde atraviesa la vía.

Todas estas lluvias producen un flujo de agua que desemboca en el río Pangor, el cual es un tributario que corre paralelo a la carretera E487.

3.5.5.6. TPDA

Según el MTOP (2020) en el informe técnico Nro. 001-2020, titulado “Contrato de Mantenimiento por Resultados” en donde se indica que la vía colectora E487 tiene un TPDA de 4503 vehículos por día y que de esto, el 34.86% son de carga pesada. Es el último estudio oficial que registra el MTOP en este informe técnico.

Al examinar y relacionar las inclinaciones en las áreas geográficas, junto con el porcentaje de vehículos pesados que transitan por esa vía diariamente y el deterioro en el que se encuentra actualmente, se puede concluir que esta carretera representa un riesgo para los conductores tanto de vehículos de carga como de vehículos livianos.

3.5.5.7. Ubicación estratégica

Se toman en cuenta todos los elementos previamente mencionados con respecto al tráfico TPDA para la recolección de muestras, además de evaluar las condiciones superficiales de la capa de rodadura, asegurándose de que no haya grietas ni fisuras, y que la extracción se realice en una zona libre de varillas.

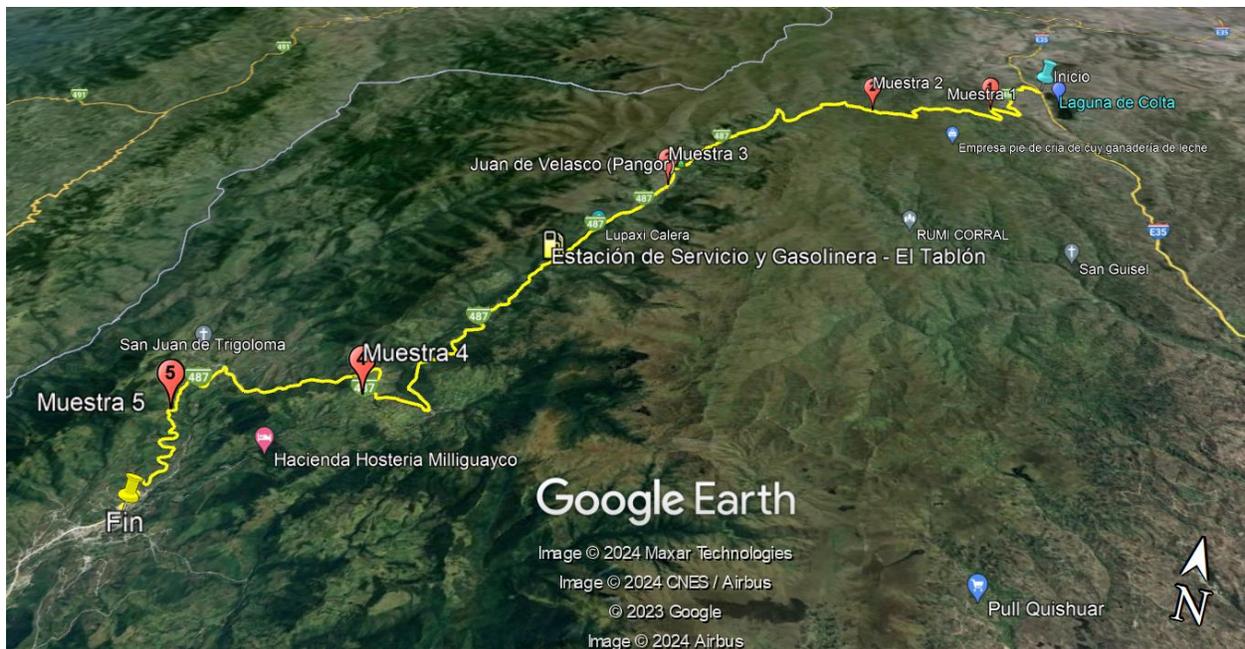


Figura 16. Vista superior de los puntos para la toma de muestras.

Nota. Adaptado de: (Google Earth, 2024)

En la figura 20 se puede observar los puntos exactos en donde se extrajeron los núcleos y se realizó el análisis de las características físico – mecánicas e hidráulicas en esta vía. Así mismo, en la tabla 3 se muestran las coordenadas de cada estrato.

Tabla 3. Coordenadas de toma de muestras.

PUNTOS	COORDENADAS UTM		ALTURA
	ESTE	NORTE	(m)
1	746864,10	9806812,90	3634
2	742268,40	9805727,60	3831
3	735550,10	9797731,60	3140
4	729985,30	9784560,90	2570
5	725402,10	9782913,60	2026

4. CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. FORMACIÓN GEOLÓGICA

Tabla 4. Información de la formación geológica de sitios de muestreo.

Muestra	Clasificación SUCS	Caracterización del suelo (IGM, 2022)	Formación geológica (Camaño & Pucha, 2018)	Descripción (IGM, 2022)
1	GW – GC	Franco arenoso	Volcánicos Tarqui	Depósitos piroclásticos de caída de composición intermedia a ácida.
2			Facie distal	Piroclastos primarios y retrabajados; escombros, lahares, flujos de lava.
3			Fm, Yunguilla	Lutitas, calizas y volcanoclastos.
4			Sedimentos Apagua	Lulitas y grauvacas.
5				

4.2. ENSAYOS SUBBASE CLASE 3

4.2.1. Resultados granulometrías

Tabla 5. Datos y resumen de resultados de granulometrías de subbase

Ensayo	Tipo de Material	Procedencia del Material	Masa Inicial Seca (g)	Masa Final (g)	Porcentaje de Error (%)	% Error <3% No se repite el Ensayo	Tamaño Máximo (in)	Tamaño Nominal Máximo (in)
Granulometría P1	Subbase	Corredor vial Balbanera - Pallatanga	1000	998,00	0,20	CUMPLE	1	1 1/2"
Granulometría P2	Subbase	Corredor vial Balbanera - Pallatanga	1000	999,00	0,10	CUMPLE	1	1 1/2"

Granulometría P3	Subbase	Corredor vial Balbanera - Pallatanga	1000	998,00	0,20	CUMPLE	1	1 1/2"
-------------------------	---------	--	------	--------	------	--------	---	--------

4.2.2. Promedio granulometrías

Como se muestra en el punto anterior, se realizaron 3 pruebas de granulometrías; las cuáles se encuentran adjuntas en la parte de anexos.

Tabla 6. Granulometría promedio de subbase.

Abertura en [mm]	Tamiz ASTM	Pasa 1 [%]	Pasa 2 [%]	Pasa 3 [%]	PROMEDIO PASA [%]	Material Obtenido	Límite superior [%]	Límite inferior [%]	PROM. ARENA [%]	PROM. GRAVA [%]	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
50,00	2	100	100	100	100,00	Grava Gruesa G R A V A	100	100	35,76%	62,64%	SUBBASE CLASE 3 CORREDOR VIAL	
37,50	1 1/2	100	100	100	100,00						Profundidad de la muestra: 30 cm	
25,00	1	84	96	93	90,95						Peso de la muestra: 1000 g	
19,00	3/4	78	88	80	82,24						Tamaño máximo nominal: 1 1/2"	
12,5	1/2	63	73	66	67,11							
9,5	3/8	58	62	56	58,53							
6,3	1/4	43	49	44	45,17	Grava Fina						
4,75	4	35	40	37	37,36							
2	10	19	23	22	21,30	Arena Gruesa	70	30			Clasificación SUCS	GW GC
0,425	40	7	8	8	7,78	Arena Fina						
0,15	100	3	3	3	3,17							
0,075	200	2	2	2	1,60		15	0			Clasificación AASHTO	A-1-b

Figura 17. Agregado grueso de subbase.



Evaluación visual del tipo de subbase, donde se observa aristas puntiagudas.

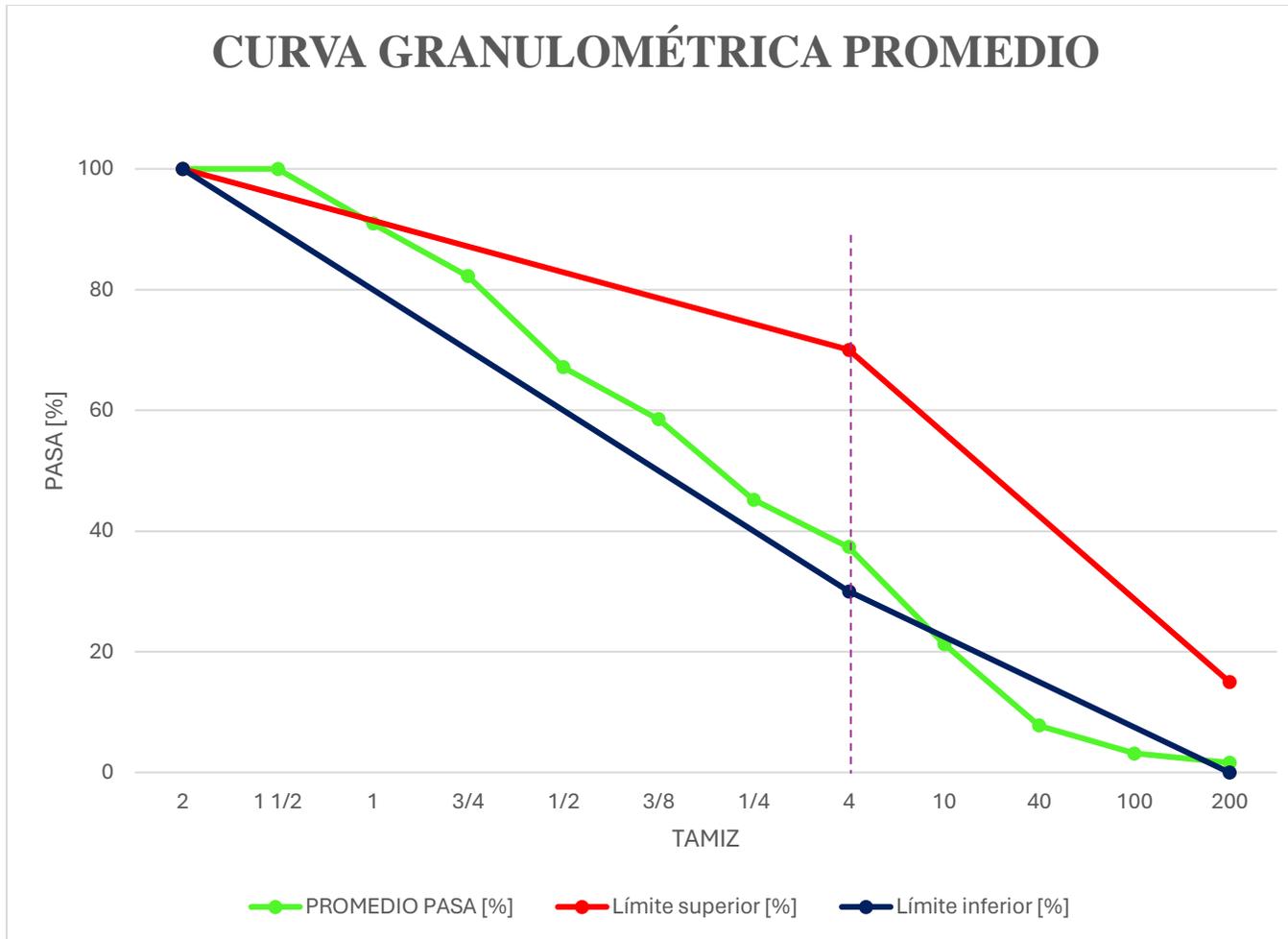


Figura 18. Curva promedio de granulometrías de subbase

En la Figura 18 se ilustra el resultado promedio de las pruebas del ensayo de granulometría, en donde se indica mediante la línea entrecortada la división de partículas gruesas y finas, determinando así que la subbase en análisis contiene un 75.41% de partículas

gruesas y un 23.93% de partículas finas. A su vez se muestra que predomina la presencia de partículas gruesas y además su gradación se encuentra dentro de los límites establecidos.

De acuerdo con el sistema de clasificación SUCS es una grava bien gradada con arena de baja plasticidad y en el caso de la clasificación AASHTO es un suelo tipo A-1-a, es decir este suelo está conformado de piedra grava y arena.

4.2.3. Resultados de abrasión

Tabla 7. Resultados de abrasión del agregado grueso.

Nro.	Tipo de Material	Procedencia del Material	Grado de la muestra	Número de vueltas	Número de esferas	Masa de carga (g)	Muestra Inicial de ensayo (g)	Muestra retenida en el tamiz No12	Degradación %
1	Subbase Clase 3	Corredor vial	A	500	12	5000±25	5072	3625,7	28,52
2	Subbase Clase 3	Balbanera -	A	500	12	5000±25	5080	3520,1	30,71
3	Subbase Clase 3	Pallatanga	A	500	12	5000±25	5065	3596,4	29,00
Promedio									29,41

4.2.4. Densidad de agregados

Resultado densidad agregado grueso

Tabla 8. Densidad del agregado grueso de subbase

DENSIDAD DE AGREGADO GRUESO				
Descripción		Variable	Valor	Unidad
Masa seca		A	1983	g
Masa en estado SSS		B	2064	g
Masa aparente en agua de la muestra saturada		C	1160,50	g
RESULTADOS				
Densidades relativas				
Gravedad específica seca al horno		SG _{SH}	2,195	-
Gravedad específica saturada superficialmente seca		SG _{SSS}	2,284	-
Gravedad específica aparente		SG _A	2,411	-
Densidad				
Densidad seca al horno		d _{SH}	2189,311	kg/m ³

Densidad saturada superficialmente seca	d _{SSS}	2278,738	kg/m ³
Densidad aparente	d _A	2404,915	kg/m ³
Absorción			
Porcentaje de absorción del material	Abs	4,085	%

Resultado densidad agregado fino

Tabla 9. Densidad del agregado fino de subbase

DENSIDAD DE AGREGADO FINO				
Descripción	Variable	Valor	Unidad	
Masa seca	A	497,6	g	
Masa picnómetro + agua	B	1227,3	g	
Masa picnómetro + agua + agregado	C	1503,9	g	
Masa en estado SSS	S	500	g	
Masa seca (ensayo de absorción)	S _{abs}	488,00	g	
RESULTADOS				
Densidades relativas				
Gravedad específica seca al horno	SG _{SH}	2,227	-	
Gravedad específica saturada superficialmente seca	SG _{SSS}	2,238	-	
Gravedad específica aparente	SG _A	2,252	-	
Densidad				
Densidad seca al horno	d _{SH}	2221,826	kg/m ³	
Densidad saturada superficialmente seca	d _{SSS}	2232,543	kg/m ³	
Densidad aparente	d _A	2245,955	kg/m ³	
Absorción				
Porcentaje de absorción del material	Abs	2,459	%	

4.3. ENSAYOS NUCLEOS

4.3.1. Datos núcleos de pavimento rígido corredor vial Balbanera – Pallatanga

Tabla 10. Dimensiones de los núcleos.

Probeta	Diámetro 1 (mm)	Diámetro 2 (mm)	Diámetro 3 (mm)	Diámetro promedio (mm)	Longitud 1 (mm)	Longitud 2 (mm)	Longitud 3 (mm)	Longitud promedio (mm)
Núcleo 1	94	93,5	94,02	93,84	194	193,5	192,2	193,23
Núcleo 2	94	94	94,03	94,01	199	206,25	189,21	198,15
Núcleo 3	94,01	94	94,02	94,01	210	211,02	214,12	211,71
Núcleo 4	94,5	95	94,45	94,65	212,45	214,2	215,45	214,03
Núcleo 5	94,5	94,5	94,25	94,42	216,52	215,12	215,4	215,68

4.3.2. Resultados ensayo densidad aparente de núcleos

Tabla 11. Densidad aparente sumergida de núcleos.

Probeta	Masa (kg)	Masa aparente sumergida (kg)	Densidad del agua (kg/m ³)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
Núcleo 1	3,271	1,9043	997.5	1370,1	2,387
Núcleo 2	3,332	1,9398		1395,7	2,387
Núcleo 3	3,499	2,0302		1472,5	2,376
Núcleo 4	3,765	2,2585		1510,3	2,493
Núcleo 5	3,743	2,209		1537,8	2,434
				Promedio	2,416

4.3.3. Resultado densidad real de los núcleos

Tabla 12. Densidad real de los núcleos.

Probeta	Diámetro promedio (mm)	Longitud promedio (mm)	Área (mm ²)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Peso (g)	Densidad (g/cm ³)
Núcleo 1	93,84	193,23	6916,17	69,16	1336,44	3271	2,45
Núcleo 2	94,01	198,15	6941,25	69,41	1375,43	3332	2,42
Núcleo 3	94,01	211,71	6941,25	69,41	1469,56	3499	2,38
Núcleo 4	94,65	214,03	7036,09	70,36	1505,96	3765	2,50
Núcleo 5	94,42	215,68	7001,44	70,01	1510,07	3743	2,48
Promedio							2,45

4.3.4. Resultado humedad, absorción y vacíos

Tabla 13. Porcentajes de humedad, absorción y vacíos de núcleos.

Probeta	Procedencia de los núcleos	Masa Mo (g)	Masa Md (g)	Masa SSS (g)	Humedad (%)	Absorción (%)	Vacíos (%)
Núcleo 1	Corredor Vial Balbanera - Pallatanga	3271	3185	3288	2,70	3,13	7,53
Núcleo 2		3332	3240	3349	2,84	3,36	7,83
Núcleo 3		3499	3423	3515	2,22	2,69	6,26
Núcleo 4		3765	3681	3781	2,28	2,72	6,63
Núcleo 5		3743	3648	3766	2,60	3,23	7,69
Promedio					2,53	3,03	7,19

4.3.5. Resultados ensayo de tracción indirecta y compresión de núcleos

Tabla 14. Resultado del ensayo de compresión de núcleos.

Probeta	Fecha de ensayo	Diámetro 1 (mm)	Diámetro 2 (mm)	Diámetro 2 (mm)	Diámetro promedio (mm)	Longitud 1 (mm)	Longitud 2 (mm)	Longitud 3 (mm)	Longitud promedio (mm)	Longitud promedio (cm)	Área (mm ²)	Carga Máxima (KN)	Carga Máxima (N)	Resistencia Máxima (MPa)
Núcleo 1	28/11/2023	95	95,02	95,04	95,02	169,1	170,2	169	169,43	16,94	7091,20	382,70	382700	53,97
Núcleo 2	28/11/2023	95,03	95,05	95	95,03	185,21	184,4	185	184,87	18,49	7092,20	394,60	394600	55,64
Núcleo 3	28/11/2023	94,99	95,02	95	95,00	190	189,05	189,15	189,40	18,94	7088,72	402,50	402500	56,78
													Promedio	55,46



Figura 19. Núcleo 1 después del ensayo a compresión.



Figura 20. Núcleo 3 antes del ensayo a compresión.

Tabla 15. Resultado del ensayo de núcleos a tracción indirecta

Probeta	Fecha de ensayo	Diámetro 1 (mm)	Diámetro 2 (mm)	Diámetro 2 (mm)	Diámetro promedio (mm)	Longitud 1 (mm)	Longitud 2 (mm)	Longitud 3 (mm)	Longitud promedio (mm)	Longitud promedio (cm)	Área (mm ²)	Carga Máxima (KN)	Carga Máxima (N)	Resistencia Máxima (MPa)
Núcleo 4	29/11/2023	95,01	95,02	95	95,01	190	189,54	189,87	189,80	18,98	7089,71	88,05	88052	12,42
Núcleo 5	4/12/2023	94,99	95	95,02	95,00	196	196	195,97	195,99	19,60	7088,72	63,29	63287	8,93
													Promedio	10,67



Figura 21. Vista frontal del núcleo 4 después del ensayo a tracción directa.



Figura 22. Vista lateral del núcleo 5 después del ensayo de tracción indirecta.

4.4. RESULTADOS DE ENSAYOS IN – SITU

4.4.1. Resultado ensayo circulo de arena

Tabla 16. Resultados del círculo de arena.

	Diámetro promedio C1 (mm)	Altura (mm)	Diámetro promedio C2 (mm)	Altura (mm)	Diámetro promedio C3 (mm)	Altura (mm)	Altura Promedio Final (mm)
Punto 1	355,00	0,253	324,25	0,303	383,75	0,216	0,257
Punto 2	425,50	0,176	450,75	0,157	416,00	0,184	0,172
Punto 3	324,50	0,302	357,75	0,249	355,00	0,253	0,268
Punto 4	455,25	0,154	474,75	0,141	484,25	0,136	0,144
Punto 5	479,50	0,138	506,25	0,124	502,00	0,126	0,130



Figura 23. Caras cortadas de los núcleos en orden donde se evidencia la altura de macrotextura en cada una.

La tabla 16 exhibe las alturas que fueron obtenidas mediante el ensayo del círculo de arena para determinar las características de rugosidad y las irregularidades relativamente aparentes en la superficie del pavimento rígido, de acuerdo con el método ASTM E 965-96 (2006). Para el “Manual de construcción de pavimentos rígidos tomo 2, normas para pavimentos rígidos” del MTOP, los valores obtenidos no se encuentran entre $0,6 \text{ mm} \leq HS \leq 1,2 \text{ mm}$, estos resultados se pueden evaluar visualmente en los diferentes tramos de cada punto establecido ya que existe mucho desgaste de la capa de rodadura en casi toda la vía.

4.4.2. Resultados prueba de infiltración en el pavimento rígido

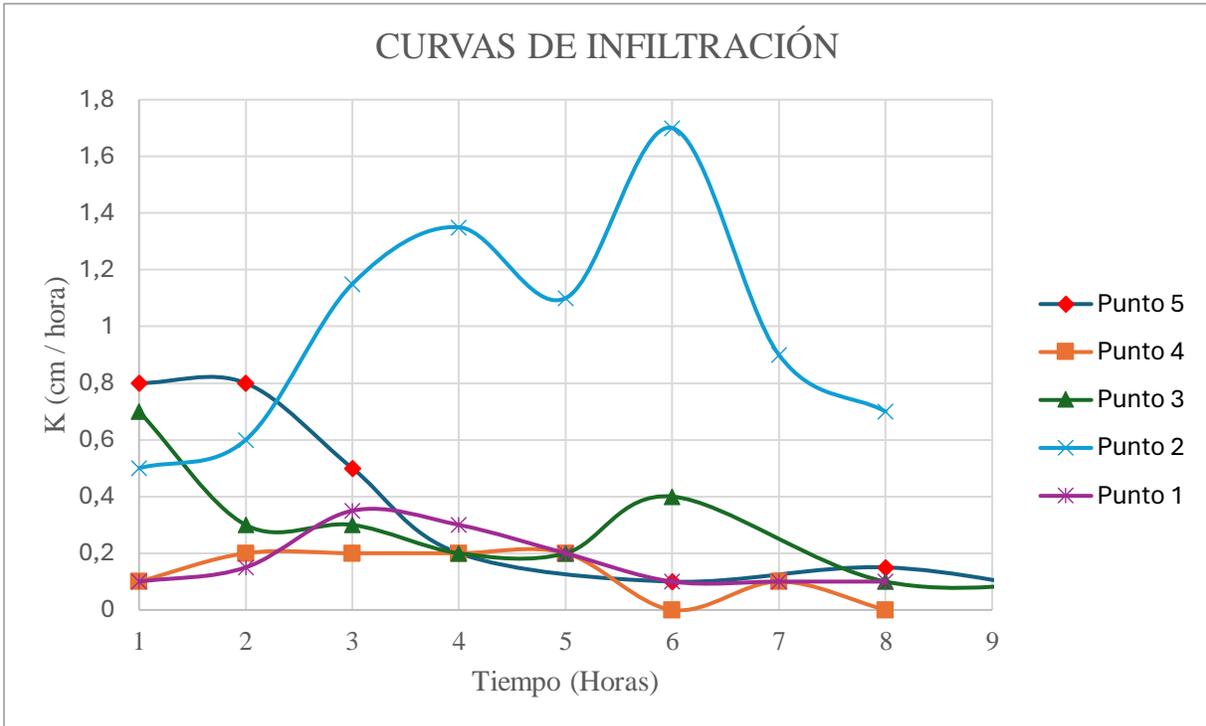


Figura 24. Resumen de curvas de infiltración.

Analizando el comportamiento de cada curva, se tiene uno peculiar en el punto 2; se puede analizar como en las primeras 4 horas la velocidad de infiltración tiene una forma creciente, esto debido a que el ensayo se lo realizó en un área donde existía presencia de grietas, en adición al día soleado que se presentó, se pudo apreciar el aumento de temperatura del mismo infiltrómetro y, en la superficie de la vía, factores que generaron que a la 6ta hora de la prueba siga filtrando agua, hasta el punto donde el suelo se satura y en la hora 8 empieza a disminuir la velocidad.

En cuanto a los demás puntos se puede observar que todas las curvas tienen una similitud, dado que casi en todos esos puntos se realizó el ensayo en condiciones similares.

En la curva del punto 5 hay la particularidad que la curva tiene un comportamiento perfecto, es decir, un suelo en condiciones de no saturación se comporta de tal manera que la velocidad inicialmente es alta hasta llenar los vacíos que existe y con el pasar del tiempo va disminuyendo hasta que su valor coincide con la conductividad hidráulica saturada, es decir, con un suelo completamente saturado la curva termina siendo asintótica.

En los puntos 1 y 4 se tiene que el comportamiento de ambas curvas es similar, aunque se puede observar que en el primer punto el suelo se satura en 3 horas y, por otro lado, en el punto 4 tiene una velocidad constante durante 5 horas hasta que la velocidad decrece, entonces ambas curvas tienden a volverse asintóticas lo que indica que los suelos se saturaron.

Lo que se puede decir del punto 3 es que la velocidad inicialmente es alta hasta que parece que la curva tiene un comportamiento de suelo saturado, pero en la hora 6 la velocidad aumenta ligeramente, esto puede deberse a que el agua encontró un espacio vacío en la capa de subbase, para finalmente demostrar que el suelo termina saturado.

4.4.3. Resultados de porcentaje de escorrentía

Tabla 17. Resumen de resultados de porcentaje de escorrentía (C).

TIPO DE SUPERFICIE: Pavimento Rígido	
Muestra	C (%)
1	97,2%
2	84,0%
3	95,0%
4	98,0%
5	94,2%
Promedio	93,7%
Mínimo	84,0%
Máximo	98,0%

Esta tabla muestra los porcentajes de escorrentía (C) de los 5 puntos, donde no se puede tomar al punto 2 como un dato representativo para un promedio del coeficiente de escorrentía, dado que en este punto se realizó en condiciones de baja calidad de pavimento. Por lo tanto, al tomar un promedio de los 4 puntos, se obtuvo un valor de escorrentía promedio de 96.1%. Este valor indica que cuando hay precipitaciones en esta vía de pavimento rígido aproximadamente el 96% de agua lluvia se escurre hacia las cunetas de la vía.

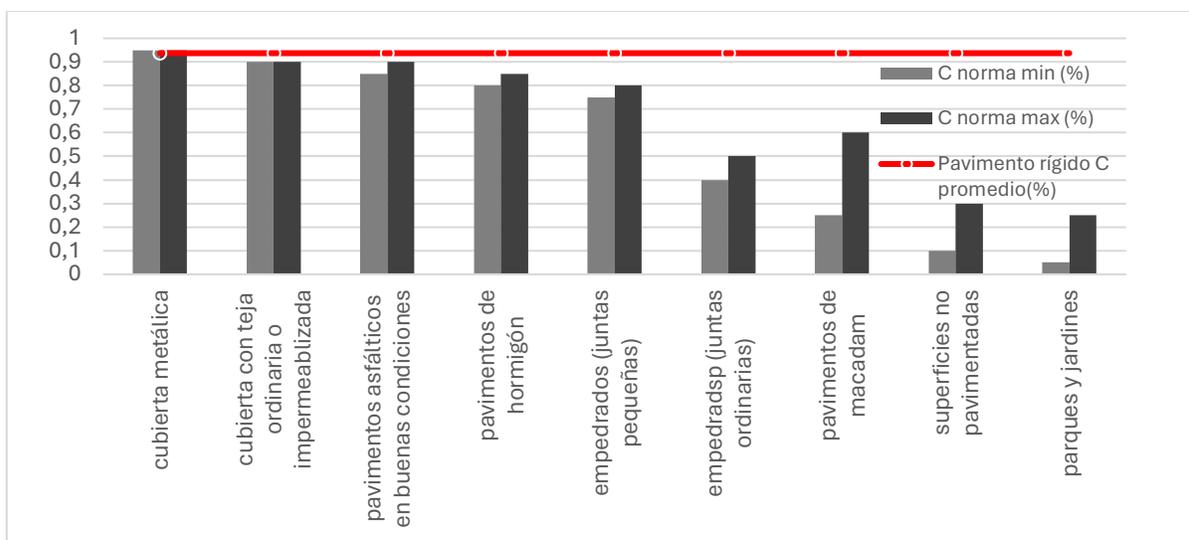


Figura 25. Comparación entre coeficientes actualizados y normados.

Nota. Adaptado de (IEOS, 1992)

Comparando los coeficientes entre los resultados del coeficiente de escurrimiento y de los establecidos por la normativa IEOS (1992); puede ser un problema, dado que la capacidad de las cunetas podrá estar subdimensionado ya que según la normativa el C esta entre 0.80 – 0.85, y, de acuerdo con el estudio realizado hemos determinado que C es de 0.96.

4.5. Resumen de resultados

Tabla 18. Resumen de resultados de ensayos.

CONDICIONES DEL PAVIMENTO		Buenas Condiciones	Malas Condiciones	Buenas Condiciones	Buenas Condiciones	Buenas Condiciones	PROMEDIO	
VARIABLES	UNIDADES	M1	M2	M3	M4	M5		
1	Escurrecimiento C	[%]	97.2	84	95	98	94.2	96.1
2	Densidad real núcleos	[g/cm ³]	2.45	2.42	2.38	2.5	2.48	2.45
3	Densidad aparente	[g/cm ³]	2.387	2.387	2.376	2.493	2.434	2.42
4	Humedad	[%]	2.70	2.84	2.22	2.28	2.6	2.53
5	Absorción	[%]	3.13	3.36	2.69	2.72	3.23	3.03
6	Vacíos	[%]	7.53	7.83	6.26	6.63	7.69	7.19
7	Gravas	[%]	64.73	60.46	62.73	-	-	62.64
8	Arenas	[%]	33.67	37.94	35.67	-	-	35.76
9	Materia pasa tamiz 200	[%]	2.00	2.00	2.00	-	-	2.00
10	Compresión	[MPa]	53.97	55.64	56.78	-	-	55.46
11	Tracción indirecta	[MPa]	-	-	-	12.42	8.93	10.67
12	Macro textura	[mm]	0.257	0.172	0.268	0.144	0.130	0.194
13	Abrasión	[%]	28.52	30.71	29	-	-	29.41

5. CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Dentro del análisis de las características físicas evaluadas en el pavimento rígido de la vía colectora E487 en el tramo Balbanera – Pallatanga, la granulometría de la subbase indica que mediante la clasificación de suelos SUCS, que el tipo de suelo al que pertenece esta subbase es de tipo GW GC, esto quiere decir que es una grava muy bien graduada mezclada con arena arcillosa de baja plasticidad. Para corroborar esta característica acorde con la clasificación AASHTO indica que el suelo es de tipo A-1-a, lo que indica que es un material con fragmentos de piedra, grava y arena de excelente a buena calidad.

En resultados de granulometría, se clasificó la subbase bajo los rangos establecidos de porcentajes que pasan por el tamiz No. 40. De acuerdo con la tabla 1 y el porcentaje que se obtuvo de 7.78% del material que pasa por el tamiz No. 40, se trata de una subbase clase 3. Además, mediante una evaluación visual establecida en la figura 21, por la forma geométrica de sus partículas en donde muestran aristas puntiagudas se evidencia que contiene un porcentaje material triturado.

Los resultados promedios presentes en la tabla 13 demuestran; la cantidad de agua presente en el pavimento en condiciones naturales tiene un valor de 2,53% de humedad; la cantidad de agua que es capaz de absorber el pavimento es de 3,03% y finalmente el porcentaje de vacíos en el pavimento es del 7,19%.

En tanto al porcentaje de abrasión después de realizar las pruebas como señala la norma INEN 860, se obtuvo un valor promedio de 29.41% de desgaste, esto indica que el material tiene una buena resistencia al desgaste, por lo que, según las especificaciones del MOP cumple como material Subbase, al no superar el 50% de desgaste a la abrasión, que resulta ser un dato importante en aplicaciones donde la durabilidad del material es crucial, como en la construcción de carreteras, pavimentos, hormigón, entre otros.

Se determinó la densidad del hormigón que compone a la capa de rodadura de 2.45 g/cm³ y para esta densidad, se obtuvo una resistencia promedio a la compresión es de 55.46 MPa. Según las especificaciones del MOP, se encuentra por encima del valor mínimo de resistencia a compresión para pavimentos rígidos que es de 28MPa. Esto se debe a que una mayor densidad generalmente implica una mayor cantidad de agregados y una menor proporción de vacíos en la mezcla, lo que contribuye a una mayor capacidad de soporte de carga.

Por otro lado, según las especificaciones del MOP la resistencia a la tracción mínima establecida es de 4MPa y se obtuvo un valor de resistencia a la tracción indirecta de 10.67 MPa; este valor representa una alta capacidad que tiene el pavimento rígido estudiado al momento de resistir fuerzas de tracción que se generan debido a las cargas de tráfico.

Con respecto a la superficie de la capa de rodadura mediante el ensayo de circulo de arena, se determinó que existen diferentes valores de macrotextura a lo largo de toda la vía, donde se obtuvo un valor promedio de 0.1942 mm, el cual no se considera representativo para el tramo estudiado, dado que, en los puntos de muestreo ubicados en los kilómetros iniciales de acuerdo a los ensayos y visualmente se puede evaluar que la capa de rodadura posee un cierto grado de rugosidad, caso contrario, a los kilómetros finales de la vía en estudio donde de acuerdo a los ensayos y visualmente se determina que estos tramos ya no cuentan con rugosidad dado que la superficie de escobillado en la capa de rodadura es nula, lo que hace más peligroso el tránsito en esos tramos ya que el coeficiente de fricción será menor.

Utilizando el método estandarizado por la Universidad Nacional de Chimborazo para pavimentos rígidos, adaptado del ensayo del infiltrómetro doble anillo, se calculó el porcentaje de infiltración y escurrimiento en los 5 puntos establecidos en la metodología, donde cada prueba tuvo una duración de más de 7 horas hasta alcanzar la saturación del pavimento. Como resultado, se concluyó que los valores obtenidos para el coeficiente de esorrentía son mayores a los propuestos por la normativa del IEOS (1992) para "Pavimentos de hormigón", que establece un rango entre 0,80 y 0,90. Los resultados obtenidos en la investigación demuestran que el valor promedio del coeficiente de esorrentía es de 96%, lo que indica que el hormigón presente en el colector vial E487 cuenta con un bajo grado de permeabilidad.

5.2. Recomendaciones

Dado que el pavimento es casi impermeable, se requieren varias horas para saturar la zona de ensayo, por lo tanto, se recomienda colocar el instrumento en el centro de la losa del pavimento. Colocarlo en una junta podría alterar la curva de infiltración y no proporcionar un resultado preciso para obtener la velocidad promedio de infiltración. Es importante mencionar que la metodología compartida en este documento para determinar los coeficientes de escurrimiento e infiltración es válida únicamente para pavimentos rígidos.

A pesar de cumplir con los objetivos de la investigación y encontrar una metodología adecuada para caracterizar las propiedades hidráulicas del pavimento, se podrían estudiar otras variables como la influencia del clima, el tráfico, la humedad ambiental, entre otros factores que podrían interferir en los resultados de los coeficientes de escurrimiento e infiltración de cualquier pavimento.

Es relevante destacar la importancia de los resultados obtenidos en la investigación como indicadores del estado y la funcionalidad de la vía, haciendo referencia a la relación del coeficiente de escurrimiento e infiltración con la permeabilidad, la resistencia a la compresión con la capacidad de carga, el porcentaje de absorción y vacíos con la durabilidad y resistencia, y especialmente la macrotextura con la seguridad.

Los resultados descritos en esta investigación pueden ser de utilidad para el diseño de pavimentos permeables o a su vez para actualizar el coeficiente de escurrimiento planteada en normativas vigentes para el diseño de drenaje vial.

BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO 93. (1993). Método AASTHO 93 para el diseño de pavimentos. *Aashto*, 1–26.
- Anónimo. (2019). *Medición De La Infiltración En El Suelo Mediante Infiltrómetros Doble Anillo*.
65. [http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO_R014_infiltrometro doble anillo.pdf](http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO_R014_infiltrometro_doble_anillo.pdf)
- Asensio, I., Ramón, M., Blanquer, G., & Manuel, J. (2011). *Métodos para la determinación del coeficiente de escorrentía (c). c*, 7.
- Association, N. R. M. C. (2006). El concreto en la practica. *Concrete in Practice*, 2.
<https://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP16es.pdf>
- ASTM. (2016). *Extracción y falla de núcleos de concreto*. 5(1), 1689–1699.
<https://revistas.ufri.br/index.php/rce/article/download/1659/1508%0Ahttp://hipatiapress.com/hpjournals/index.php/qre/article/view/1348%5Cnhttp://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09500799708666915%5Cnhttps://mckinseysociety.com/downloads/reports/Educa>
- ASTM C496. (2010). *Resistencia a la tension indirecta de cilindos de concreto*. 5.
<http://www.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/ensayos/3-concreto/3.14.pdf>
- Borselli, L. (2024). *GEOTECNIA I Año Académico 2023-2024*. 2, 78. https://www.lorenzo-borselli.eu/geotecnia1/Geotecnia_1_parte_II.pdf
- Bustamante, D. P. (2017). Escenario De Cambio Climático a Nivel De Subcuencas Hidrográficas Para El Año 2050 De La Provincia De Chimborazo- Ecuador. *La Granja*, 26(2), 15.
<https://doi.org/10.17163/lgr.n26.2017.02>
- Calo, D., Marcolini, E., Fernandez, S., Camueira, M., & Souza, E. (2012). *Texturizado de Pavimentos de Hormigón en Vías de Altas Velocidades*. 1–27.
- Camaño, J., & Pucha, G. (2018). *Caracterización de radionucleidos presentes en el suelo de la provincia de Chimborazo*. 140.
- Coloma, E., & Tabango, V. (2006). *Aplicación Del Ensayo De Tracción Indirecta En Mezclas*

Asfálticas En Caliente Para El Control De Calidad En Carpetas Asfálticas En El Ecuador. 50–55. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/1751/T-ESPE-014963.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CPE INEN 5 Parte 9-1. (2003). Instituto Ecuatoriano de Normalizacion. *Instituto Ecuatoriano de Normalización.* <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1338-3.pdf>

del Aguila, P. (2016). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS EN ZONAS DE ALTURA.* 1–3.

DRENAJE DE PAVIMENTOS EN CARRETERAS. (2021, June 2). <http://blog.pucp.edu.pe/blog/viaspucp/2021/06/02/drenaje-de-pavimentos-en-carreteras/>

Erazo, L., & Asociados Ltda. (1994). *Drenabilidad y tiempos de saturacion para bases de pavimentos.*

Espinoza, J. A. (2005). Simulación de la infiltración del agua a partir de un daño en la carpeta de pavimento. *Ingenieria Hidraulica En Mexico*, 20(4), 77–95.

Guaman, M. (2019). Propuesta de un pavimento de concreto permeable para estacionamientos en zonas urbanas que evite el estancamiento de aguas pluviales. *Repositorio Digital de La Universidad Técnica de Machala*, 1–121. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/13884>

Hern, R., Herazo, R. O., Jos, D., Mercado, A., & Ram, J. (1909). *Relación entre resistencia a compresión en cilindros de concreto y los rebotes con esclerómetro digital Correlation between compressive strength " of concrete cylinders and rebounding with digital sclerometer.* 22, 59–68.

Historia vial del ecuador. (n.d.).

HOLCIM. (n.d.). *Agregados Material Granular Subbase Clase 3 Cribado.* Retrieved April 11, 2024, from <https://www.holcim.com.ec/agregados-material-granular-subbase-clase-3-cribado>

IEOS. (1992). *Normas IEOS*.

IGM. (2022). Suelos del Ecuador. In *Vii Congreso Sudamericano De Agronomia* (Issue April).

IMCYC. (2007). PROBLEMAS. CAUSAS Y SOLUCIONES. *Concreto Reforzado Con Fibras*, 13, 67–71. www.revistacyt.com.mx/images/problemas/2007/pdf/FEBRERO.pdf%5Cn

INEN. (2010a). *Norma Técnica Ecuatoriana Nte Inen-Oshas 18001:2010*. 1573, 12. http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/EXTRACTO_2014/GMO/nte_inen_oshas_18001extracto.pdf

INEN 860. (2011). NTE-INEN 860: Áridos. Determinación del Valor de la Degradación del árido grueso de partículas menores a 37.5mm mediante el uso de la máquina de los Ángeles. *Norma Técnica Ecuatoriana*, 2602(1).

INEN, N. (2010b). NTE INEN 0856 (2010) (Spanish): Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino. *Áridos. Determinación de La Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción Del Árido Fino*, 0856.

INEN NORMA TÉCNICA ECUATORIANA. (2011). Inen Nte 0696. *Ecuador, NTE INEN 0*(Edict of Government), 5–6.

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). NTE INEN 857 - Áridos. Determinación de la Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción del Arido Grueso. *Norma Técnica Ecuatoriana*, 1 (Primera Edición), 1–14. <http://apps.normalizacion.gob.ec>

Instituto Mexicano del Transporte, & Secretaria de Comunicaciones y transportes. (1988). Diagnostico de las características superficiales de los pavimentos. In *Instituto Mexicano del Transporte: Vol. No. 111* (pp. 1–57).

Londoño, C. (2022). *CONOCE LA IMPORTANCIA Y LAS VENTAJAS DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO - 360 EN CONCRETO*. <https://360enconcreto.com/blog/detalle/importancia-y-ventajas-del-pavimento-en-concreto/>

- Los Andes. (2019). *Pésimo estado de la vía Balbanera-Pallatanga-Cumandá*.
<https://www.diariolosandes.com.ec/pesimo-estado-de-la-via-balbanera-pallatanga-cumanda/>
- Mapas de carreteras de Chimborazo*. (n.d.). Retrieved May 3, 2024, from https://www.galapagos-reise.com/TurismoEcuador/Mapa_Chimborazo.html
- Mop-001-F. (2002). *Ministerio de Transporte y obras Publicas MTOP - 001-F 2002. 772*.
http://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/01-07-2013_ConcursoPublico_StoDomingo-Esmeraldas-Especificaciones-Tecnicas.pdf
- MTOP. (n.d.). *Vía Balbanera Pallatanga Bucay*.
- MTOP. (2020). *Contrato de Mantenimiento por Resultados*.
- Muguirra, A. (2023). *Diseño de investigación. Elementos y características*.
<https://www.questionpro.com/blog/es/disenno-de-investigacion/>
- Nazeno, J. E. (2014). *Diseño estructural de un pavimento permeable mediante la relación de vacíos y su aplicación al drenaje vial*. 1–141.
<http://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2217>
- Puga, Á. C. (2018). Evaluación funcional de pavimento rígido tramo avenida Loja (Cuenca).
Universidad De Cuenca, 1–128.
[http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/31534/1/Trabajo de Titulacion.pdf](http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/31534/1/Trabajo%20de%20Titulacion.pdf)
- Quispe, S. (2020). *Importancia del desempeño de las capas granulares de un pavimento*.
<https://es.linkedin.com/pulse/importancia-del-desempeño-de-las-capas-granulares-un-quispe-espinoza#:~:text=Las capas granulares típicas de,la calidad de la fundación.>
- Rosero, R., & Cepeda, M. (2024). *Evaluación de las características hidráulicas y físicas del pavimento rígido en la Avenida 9 de Octubre ubicada en la ciudad de Riobamba*. 7–8.
<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/4723>
- SGR realiza inspección en deslizamiento de la vía Riobamba-Pallatanga-Guayaquil – Secretaría*

Nacional de Gestión de Riesgos. (2017). <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/sgr-realiza-inspeccion-en-deslizamiento-de-la-via-riobamba-pallatanga-guayaquil/>

Tejerina, W. (n.d.). *Efectos Del Contenido de Humedad en Materiales Pavimentos | PDF | Hormigón | Agua*. Retrieved April 15, 2024, from <https://www.scribd.com/document/385746445/Efectos-Del-Contenido-de-Humedad-en-Materiales-Pavimentos>

UNIFORT. (n.d.). *Pavimentos flexibles y pavimentos rígidos - UNIFORT*. Retrieved March 13, 2024, from <https://www.unifort.es/pavimentos-asfalto/pavimentos-flexibles-rigidos/>

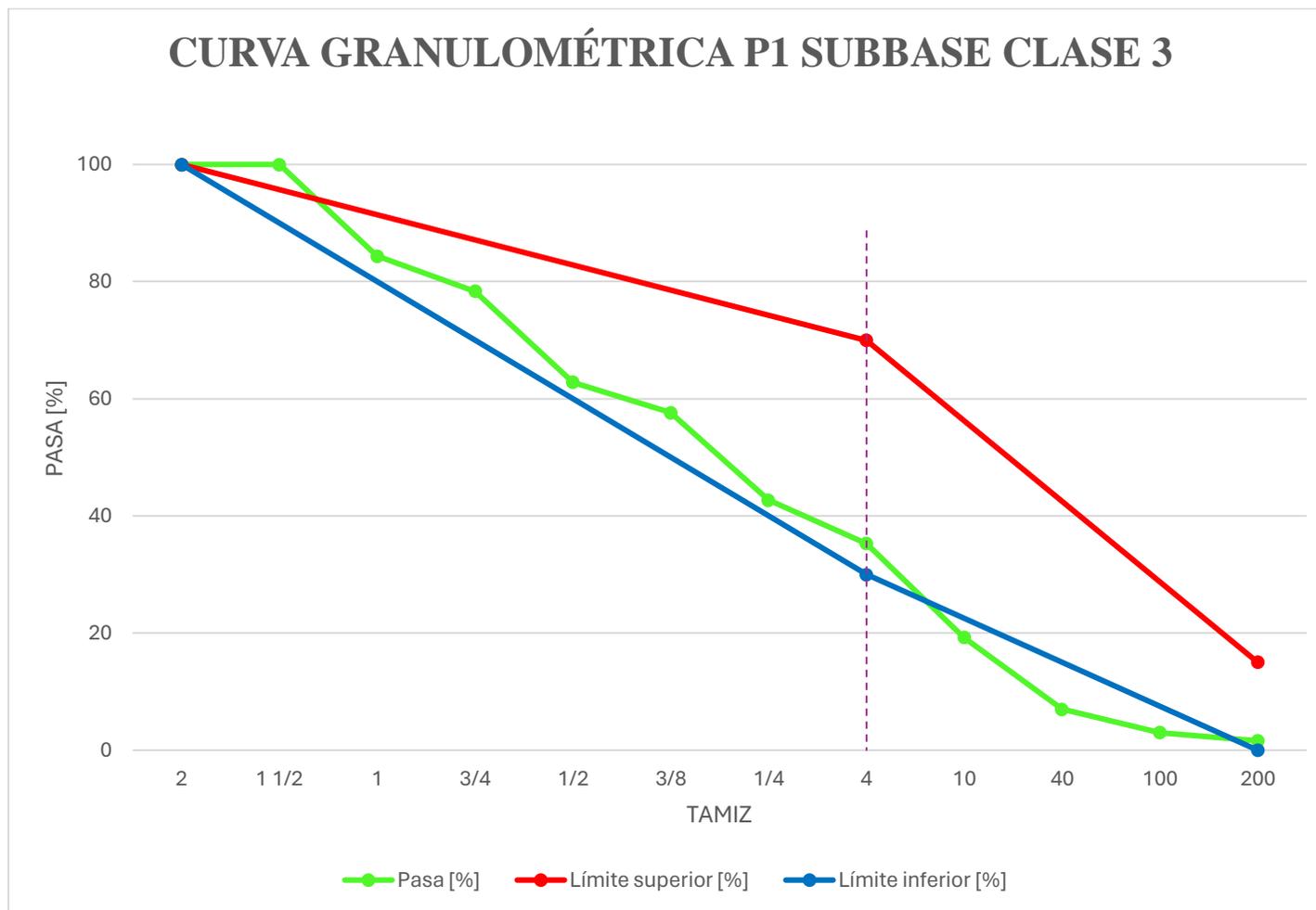
Vallejo, Y. V. (2023). *Análisis de la vulnerabilidad socioeconómica en el cantón Pallatanga respecto a los factores geodinámicos de la falla geológica de Pallatanga*.

ANEXOS

Anexo 1. Granulometría P1 de subbase.

Abertura en [mm]	Tamiz ASTM	Peso Retenido [g]	Retenido [%]	Retenido Acumulado [%]	Pasa [%]	Material Obtenido	Límite superior [%]	Límite inferior [%]	Arenas [%]	Gravas [%]	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
50,00	2	0,00	0,00	0	100	Grava Gruesa	100	100			SUBBASE CLASE 3
37,50	1 1/2	0,00	0,00	0,00	100						Procedencia del material: Vía Balbanera - Pallatanga
25,00	1	156,00	15,63	15,63	84						Profundidad de la muestra: 30 cm
19,00	3/4	60,00	6,01	21,64	78						Peso de la muestra: 1000 g
12,5	1/2	155,00	15,53	37,17	63	Grava Fina					Tamaño máximo nominal: 1 1/2"
9,5	3/8	52,00	5,21	42,38	58						Estado de Consistencia
6,3	1/4	149,00	14,93	57,31	43				33,67%	64,73%	LL NP
4,75	4	74,00	7,41	64,73	35	Arena Gruesa	A	70	30		LP NP
2	10	160,00	16,03	80,76	19		R				IP NP
0,425	40	122,00	12,22	92,99	7	Arena Fina	E				Clasificación SUCS GW GC = Grava bien gradada con arena de baja plasticidad.
0,15	100	40,00	4,01	96,99	3		N				
0,075	200	14,00	1,40	98,40	2		A	15	0		Clasificación AASHTO A-1-a = Fragmentos de piedra grava y arena
	Bandeja	16,0	1,60	100,00	0	LIMOS					
S	Total	998,00	100								

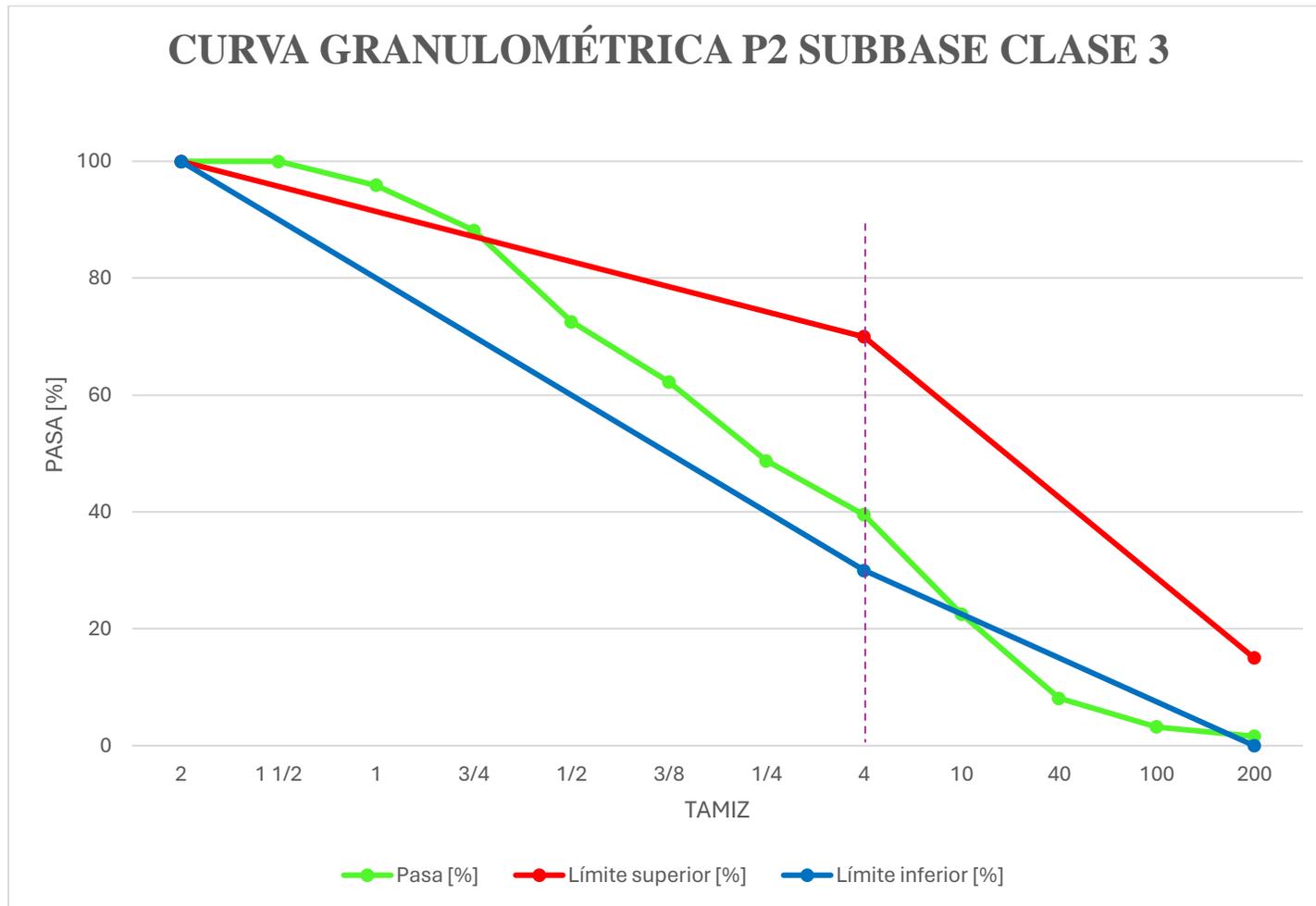
Anexo 2. Curva granulométrica P1 de subbase



Anexo 3. Granulometría P2 de subbase.

Abertura en [mm]	Tamiz ASTM	Peso Retenido [g]	Retenido [%]	Retenido Acumulado [%]	Pasa [%]	Material Obtenido	Límite superior [%]	Límite inferior [%]	Arenas [%]	Gravas [%]	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA				
50,00	2	0,00	0,00	0	100						SUBBASE CLASE 3				
37,50	1 1/2	0,00	0,00	0,00	100	Grava Gruesa	G	100			Procedencia del material: Vía Balbanera - Pallatanga				
25,00	1	41,00	4,10	4,10	96						R				Profundidad de la muestra: 30 cm
19,00	3/4	77,00	7,71	11,81	88	Grava Fina	A	100			Peso de la muestra: 1000 g				
12,5	1/2	156,00	15,62	27,43	73						V				Tamaño máximo nominal: 1 1/2"
9,5	3/8	103,00	10,31	37,74	62						A				Estado de Consistencia
6,3	1/4	135,00	13,51	51,25	49	Arena Gruesa	A	70	30		37,94%	60,46%	LL	NP	
4,75	4	92,00	9,21	60,46	40						R				LP
2	10	170,00	17,02	77,48	23	Arena Fina	E								
0,425	40	144,00	14,41	91,89	8										N
0,15	100	49,00	4,90	96,80	3	LIMOS	A	15	0						
0,075	200	16,00	1,60	98,40	2										
	Bandeja	16,0	1,60	100,00	0										
	Total	999,00	100												

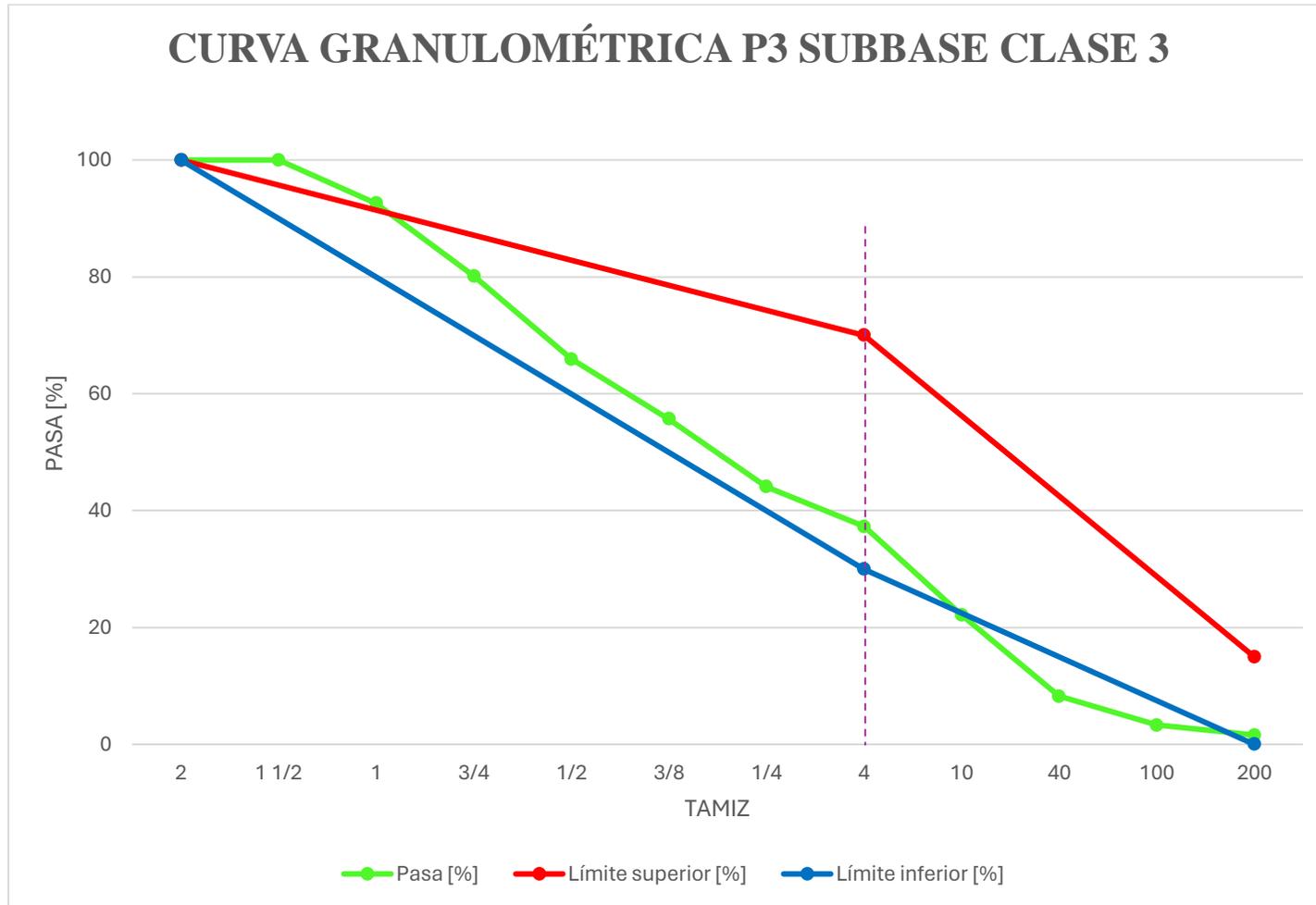
Anexo 4. Curva granulométrica P2 de subbase



Anexo 5. Granulometría P3 de subbase

Abertura en [mm]	Tamiz ASTM	Peso Retenido [g]	Retenido [%]	Retenido Acumulado [%]	Pasa [%]	Material Obtenido	Límite superior [%]	Límite inferior [%]	Arenas [%]	Gravas [%]	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
50,00	2	0,00	0,00	0	100						SUBBASE CLASE 3
37,50	1 1/2	0,00	0,00	0,00	100	Grava Gruesa		100			Procedencia del material: Vía Balbanera - Pallatanga
25,00	1	74,00	7,41	7,41	93						Profundidad de la muestra: 30 cm
19,00	3/4	124,00	12,42	19,84	80		100				Peso de la muestra: 1000 g
12,5	1/2	142,00	14,23	34,07	66						Tamaño máximo nominal: 1 1/2"
9,5	3/8	102,00	10,22	44,29	56	Grava Fina					Estado de Consistencia
6,3	1/4	116,00	11,62	55,91	44				35,67%	62,73%	LL NP
4,75	4	68,00	6,81	62,73	37	Arena Gruesa					LP NP
2	10	151,00	15,13	77,86	22		70	30			IP NP
0,425	40	139,00	13,93	91,78	8						Clasificación SUCS GW GC = Grava bien gradada con arena de baja plasticidad.
0,15	100	49,00	4,91	96,69	3	Arena Fina					Clasificación AASHTO A-1-a = Fragmentos de piedra grava y arena
0,075	200	17,00	1,70	98,40	2		15	0			
	Bandeja	16,0	1,60	100,00	0	LIMOS					
	Total	998,00	100								

Anexo 6. Curva granulométrica P3 de subbase



Anexo 7. Resumen de resultados del ensayo de infiltración

Velocidades de infiltración vs tiempo						
Tiempo Acumulado (Horas)	Velocidad de infiltración K					
	(cm/hora)					
	M1	M2	M3	M4	M5	
0	0	0	0	0	0	
1	0,1	0,5	0,7	0,1	0,8	
2	0,15	0,6	0,3	0,2	0,8	
3	0,35	1,15	0,3	0,2	0,5	
4	0,3	1,35	0,2	0,2	0,2	
5	0,2	1,1	0,2	0,2	0,1	
6	0,1	1,7	0,4	0	0,1	
7	0,1	0,9	0,1	0,1	0,15	
8	0,1	0,7	0,1	0	0,15	
9	-	-	0,1	-	0,05	
10	-	-	0,1	-	0,05	
Estado del pavimento	Bueno	Malo	Bueno	Bueno	Regular	
Clima	Llovizna	Soleado	Llovizna	Nublado	Soleado	
Observaciones	El infiltrómetro se colocó en el carril derecho de la vía, en donde el pavimento no contaba con grietas ni fisuras.	En esta prueba se realizó el ensayo en un área donde se localizaron grietas, cerca de una junta, adicionalment e ese día se contó con un clima soleado.	El infiltrómetro se ubicó al carril izquierdo de la vía en un área donde no se presentaban fisuras.	El día de la prueba se notó mojado el pavimento, dado que el día anterior llovió, el ensayo se realizó en donde el pavimento no presentaba fisuras	En este último día de prueba, se contó con un día soleado y la prueba se lo realizó a lado derecho de la vía, junto a la cuneta, donde se evidenció grietas muy pequeñas.	

Anexo 8. Datos de puntos tomados en campo de las prueba de infiltración.

Datos del punto 1.

DATOS DE CAMPO			
Fecha:	Miércoles, 31 de enero de 2024		
Ciudad:	Colta - Chimborazo		
Lugar:	Lirio		
Clima:	Nublado	Estado de la vía:	Regular
Coordenada del punto:	ESTE		746864,1
	NORTE		980681,9
INTERVALO		TIEMPO (Hora)	h (cm)
-	1:50 p. m.	0	10
1:50 p. m.	2:50 p. m.	1	10,1
2:50 p. m.	3:50 p. m.	1	10,25
3:50 p. m.	4:50 p. m.	1	10,6
4:50 p. m.	5:50 p. m.	1	10,9
5:50 p. m.	6:50 p. m.	1	11,1
6:50 p. m.	7:50 p. m.	1	11,2
7:50 p. m.	8:50 p. m.	1	11,3
8:50 p. m.	9:50 p. m.	1	11,4
Observaciones: El área de ensayo no presenta agrietamientos, juntas o fisuras; el infiltrómetro fue colocado en la zona central del carril derecho			

Datos del punto 2.

DATOS DE CAMPO			
Fecha:	Jueves, 1 de febrero de 2024		
Ciudad:	Colta - Chimborazo		
Lugar:	Návag		
Clima:	Nublado	Estado de la vía:	Regular
Coordenada del punto:	ESTE		742268,4
	NORTE		9805727,6
INTERVALO		TIEMPO (Hora)	h (cm)
-	7:24 a. m.	0	10
7:24 a. m.	8:24 a. m.	1	10,5
8:24 a. m.	9:24 a. m.	1	11,1
9:24 a. m.	10:24 a. m.	1	12,25
10:24 a. m.	11:24 a. m.	1	13,6
11:24 a. m.	12:24 p. m.	1	14,7
12:24 p. m.	1:24 p. m.	1	16,4
1:24 p. m.	2:24 p. m.	1	17,3
2:24 p. m.	3:30 p. m.	1	18

Observaciones: El ensayo se lo realizó en donde se ubicaron en grietas en el pavimento para determinar cómo filtra el agua en este tipo de escenarios.

Datos del punto 3.

DATOS DE CAMPO			
Fecha:	Viernes, 2 de febrero de 2024		
Ciudad:	Colta - Chimborazo		
Lugar:	Pangor		
Clima:	Nublado - Viento	Estado de la vía:	Regular
Coordenada del punto:		ESTE	735550,1
		NORTE	9797731,6
	INTERVALO	TIEMPO (Hora)	h (cm)
	- 10:15 a. m.	0	10
	10:15 a. m. 11:15 a. m.	1	10,7
	11:15 a. m. 12:15 p. m.	1	11
	12:15 p. m. 1:15 p. m.	1	11,3
	1:15 p. m. 2:15 p. m.	1	11,5
	2:15 p. m. 3:15 p. m.	1	11,7
	3:15 p. m. 4:15 p. m.	1	12,1
	4:15 p. m. 6:15 p. m.	2	12,3
	6:15 p. m. 8:15 p. m.	2	12,5
Observaciones: El ensayo se lo realizó en donde se ubicaron grietas en el pavimento para determinar cómo filtra el agua en esa zona del corredor vial.			

Datos del punto 4.

DATOS DE CAMPO			
Fecha:	Sábado, 3 de febrero de 2024		
Ciudad:	Colta - Chimborazo		
Lugar:	Panza redonda		
Clima:	Soleado - Nublado	Estado de la vía:	Regular
Coordenada del punto:		ESTE	729985,3
		NORTE	9784560,9
	INTERVALO	TIEMPO (Hora)	h (cm)
	- 8:38 a. m.	0	10
	8:38 a. m. 9:38 a. m.	1	10,1
	9:38 a. m. 10:38 a. m.	1	10,3
	10:38 a. m. 11:38 a. m.	1	10,5
	11:38 a. m. 12:38 p. m.	1	10,7
	12:38 p. m. 1:38 p. m.	1	10,9

1:38 p. m.	2:38 p. m.	1	10,9
2:38 p. m.	3:38 p. m.	1	11
3:38 p. m.	4:38 p. m.	1	11

Observaciones: El área de ensayo no presenta agrietamientos, juntas o fisuras; el día presentaba cambios de temperatura bruscos y además se evidencio que el pavimento estaba húmedo al inicio del ensayo.

Datos del punto 5.

DATOS DE CAMPO			
Fecha:	Lunes, 5 de febrero de 2024		
Ciudad:	Colta - Chimborazo		
Lugar:	Trigoloma		
Clima:	Soleado	Estado de la vía:	Regular
Coordenada del punto:	ESTE		725402,1
	NORTE		9782913,6
INTERVALO	TIEMPO (Hora)		h (cm)
-	8:12 a. m.	0	10
8:12 a. m.	9:12 a. m.	1	10,8
9:12 a. m.	10:12 a. m.	1	11,6
10:12 a. m.	11:12 a. m.	1	12,1
11:12 a. m.	12:12 p. m.	1	12,3
12:12 p. m.	2:12 p. m.	2	12,5
2:12 p. m.	4:12 p. m.	2	12,8
4:12 p. m.	6:12 p. m.	2	12,9
6:12 p. m.	7:20 p. m.	1	12,9

Observaciones: El área de ensayo presenta agrietamientos; el clima fue soleado y el ensayo se realizó en la parte derecha del carril del derecho del pavimento.

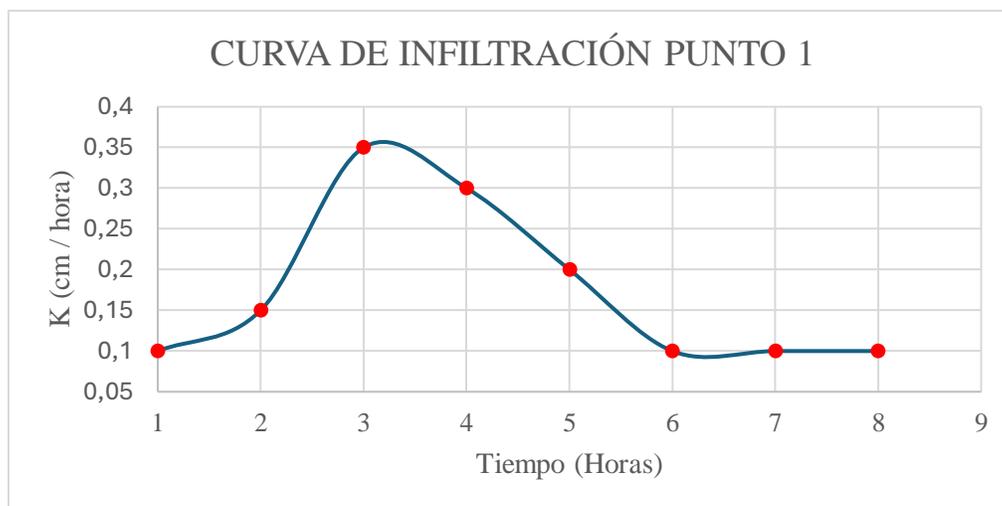
Anexo 9. Cálculos y curvas de pruebas de infiltración.

Resultados ensayo de infiltración del punto 1.

CÁLCULOS					
Diámetro interior del Infiltrómetro (cm):			25		
Área total interna (cm ²):			490,87		
Altura Total del infiltrómetro H (cm ³):			60,00		
Altura del espejo de agua inicial (cm):			50,00		
Volumen inicial de agua (cm ³):			24543,67		
h	delta h	delta h acumulado	Tiempo	t acum	K

(cm)	(cm)	(cm)	(hora)	(hora)	(cm/hora)
10	0	0	0	0	0
10,1	0,1	0,1	1	1	0,1
10,25	0,15	0,25	1	2	0,15
10,6	0,35	0,6	1	3	0,35
10,9	0,3	0,9	1	4	0,3
11,1	0,2	1,1	1	5	0,2
11,2	0,1	1,2	1	6	0,1
11,3	0,1	1,3	1	7	0,1
11,4	0,1	1,4	1	8	0,1

Sumatoria delta h (cm):	1,4
Volumen de Infiltración (cm³):	687,22
Fracción de infiltración (%):	2,8%
Coefficiente de escurrimiento C (%):	97,2%



Curva de infiltración punto 1.

Resultados ensayo de infiltración del punto 2.

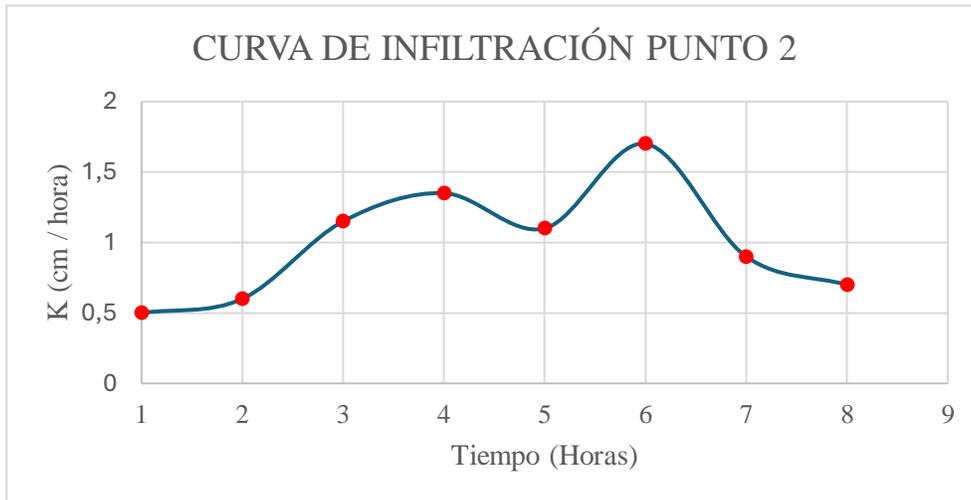
CÁLCULOS

Diámetro interior del Infiltrómetro (cm):	25
Área total interna (cm ²):	490,87
Altura Total del infiltrómetro H (cm ³):	60,00
Altura del espejo de agua inicial (cm):	50,00
Volumen inicial de agua (cm ³):	24543,67

h	delta h	delta h	Tiempo	t	K
(cm)	(cm)	acumulado	(hora)	(hora)	(cm/hora)
10	0	0	0	0	0
10,5	0,5	0,5	1	1	0,5

11,1	0,6	1,1	1	2	0,6
12,25	1,15	2,25	1	3	1,15
13,6	1,35	3,6	1	4	1,35
14,7	1,1	4,7	1	5	1,1
16,4	1,7	6,4	1	6	1,7
17,3	0,9	7,3	1	7	0,9
18	0,7	8	1	8	0,7

Sumatoria delta h (cm):	8
Volumen de Infiltración (cm³):	3926,99
Fracción de infiltración (%):	16,0%
Coefficiente de escurrimiento C (%):	84,0%



Curva de infiltración punto 2.

Resultados ensayo de infiltración del punto 3.

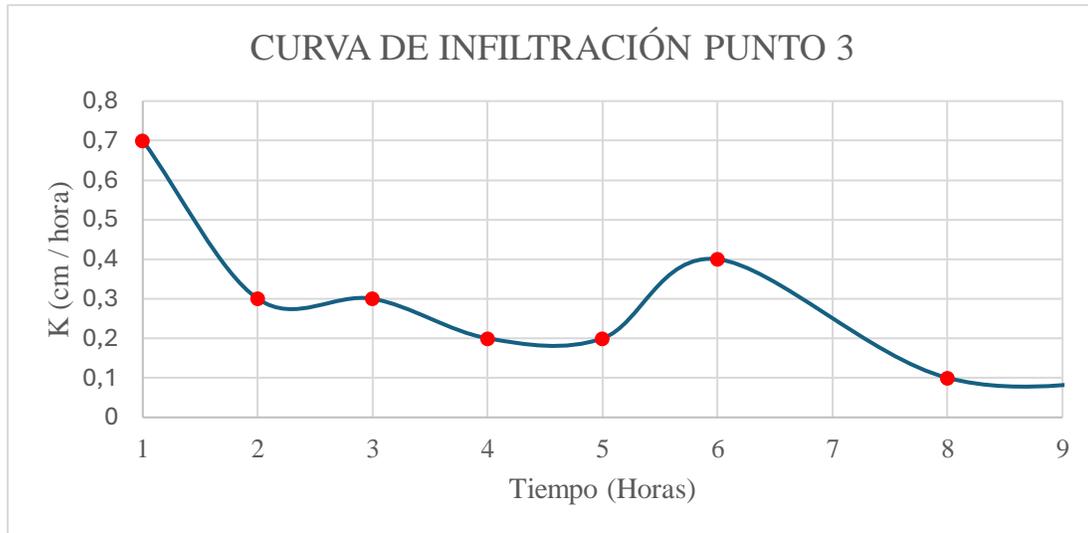
CÁLCULOS					
-----------------	--	--	--	--	--

Diámetro interior del Infiltrómetro (cm):	25
Área total interna (cm ²):	490,87
Altura Total del infiltrómetro H (cm ³):	60,00
Altura del espejo de agua inicial (cm):	50,00
Volumen inicial de agua (cm ³):	24543,67

h (cm)	delta h (cm)	delta h acumulado (cm)	Tiempo (hora)	t acum (hora)	K (cm/hora)
10	0	0	0	0	0
10,7	0,7	0,7	1	1	0,7
11	0,3	1	1	2	0,3
11,3	0,3	1,3	1	3	0,3
11,5	0,2	1,5	1	4	0,2

11,7	0,2	1,7	1	5	0,2
12,1	0,4	2,1	1	6	0,4
12,3	0,2	2,3	2	8	0,1
12,5	0,2	2,5	2	10	0,1

Sumatoria delta h (cm):	2,5
Volumen de Infiltración (cm³):	1227,18
Fracción de infiltración (%):	5,0%
Coefficiente de escurrimiento C (%):	95,0%



Curva de infiltración punto 3

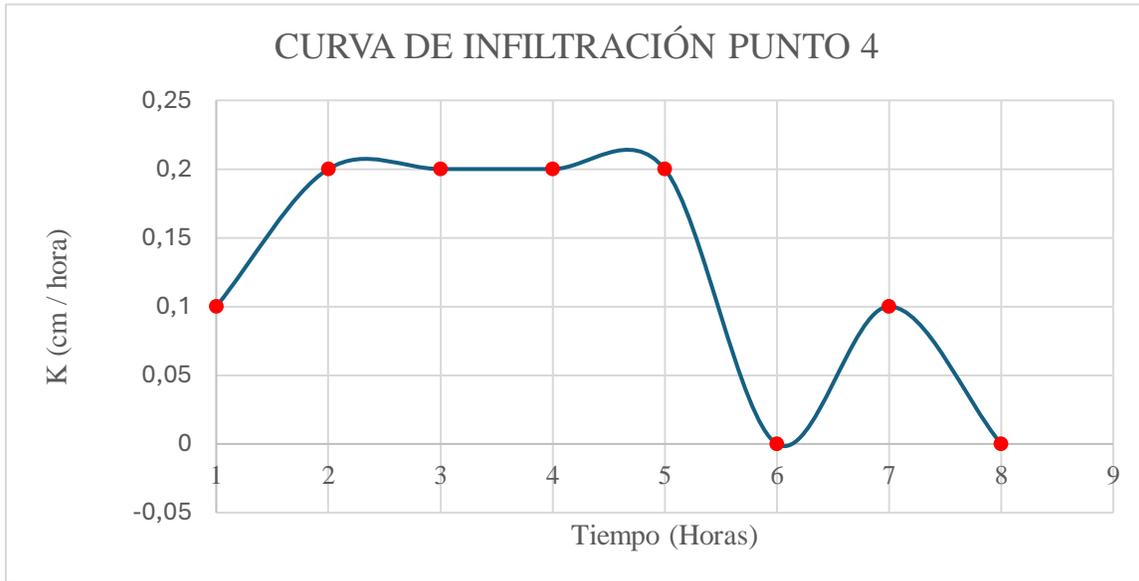
Resultados ensayo de infiltración del punto 4.

CÁLCULOS	
Diámetro interior del Infiltrómetro (cm):	25
Área total interna (cm ²):	490,87
Altura Total del infiltrómetro H (cm ³):	60,00
Altura del espejo de agua inicial (cm):	50,00
Volumen inicial de agua (cm ³):	24543,67

h (cm)	delta h (cm)	delta h acumulado (cm)	Tiempo (hora)	t acum (hora)	K (cm/hora)
10	0	0	0	0	0
10,1	0,1	0,1	1	1	0,1
10,3	0,2	0,3	1	2	0,2
10,5	0,2	0,5	1	3	0,2
10,7	0,2	0,7	1	4	0,2
10,9	0,2	0,9	1	5	0,2
10,9	0	0,9	1	6	0
11	0,1	1	1	7	0,1

11 0 1 1 8 0

Sumatoria delta h (cm):	1
Volumen de Infiltración (cm³):	490,87
Fracción de infiltración (%):	2,0%
Coefficiente de escurrimiento C (%):	98,0%



Curva de infiltración punto 4

Resultados ensayo de infiltración del punto 5.

CÁLCULOS

Diámetro interior del Infiltrómetro (cm):	25
Área total interna (cm ²):	490,87
Altura Total del infiltrómetro H (cm ³):	60,00
Altura del espejo de agua inicial (cm):	50,00
Volumen inicial de agua (cm ³):	24543,67

h (cm)	delta h (cm)	delta h acumulado (cm)	Tiempo (hora)	t acum (hora)	K (cm/hora)
10	0	0	0	0	0
10,8	0,8	0,8	1	1	0,8
11,6	0,8	1,6	1	2	0,8
12,1	0,5	2,1	1	3	0,5
12,3	0,2	2,3	1	4	0,2
12,5	0,2	2,5	2	6	0,1
12,8	0,3	2,8	2	8	0,15
12,9	0,1	2,9	2	10	0,05
12,9	0	2,9	2	12	0

Sumatoria delta h (cm):	2,9
Volumen de Infiltración (cm³):	1423,53
Fracción de infiltración (%):	5,8%
Coefficiente de escurrimiento C (%):	94,2%



Curva de infiltración punto 5.