



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

Evaluación de las principales condiciones físicas e hidráulicas del pavimento rígido
existente en la vía Pallatanga-Cumandá.

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero civil

Autor:

Guayanlema Sinaluisa, Jhonnatan Cristian

Ruiz Huaraca, Rene Mauricio

Tutor:

Ing. Alfonso Patricio Arellano Barriga

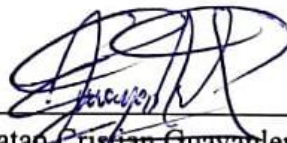
Riobamba, Ecuador. 2024

DECLARATORIA DE AUTORÍA

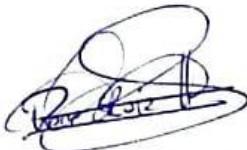
Nosotros, Jhonnatan Cristian Guayanlema Sinaluisa, con cédula de identidad número: 0605883065 y Rene Mauricio Ruiz Huaraca, con cédula de identidad número 0606228575, autores del trabajo de investigación titulado: Evaluación de las principales condiciones físicas e hidráulicas del pavimento rígido existente en la vía Pallatanga-Cumandá, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de nuestra exclusiva responsabilidad.

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

En Riobamba, 23 de mayo de 2024.



Jhonnatan Cristian Guayanlema Sinaluisa
C.I: 0605883065



Rene Mauricio Ruiz Huaraca
C.I: 0606228575

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Mgs. Alfonso Patricio Arellano Barriga catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: Evaluación de las principales condiciones físicas e hidráulicas del pavimento rígido existente en la vía Pallatanga-Cumandá, bajo la autoría de Jhonnatan Cristian Guayanlema Sinaluisa, y Rene Mauricio Ruiz Huaraca; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 23 días del mes de mayo de 2024



Alfonso Patricio Arellano Barriga
C.I: 0601823313

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación Evaluación de las principales condiciones físicas e hidráulicas del pavimento rígido existente en la vía Pallatanga-Cumandá, presentado por Jhonnatan Cristian Guayanlema Sinaluisa, con cédula de identidad número: 0605883065 y Rene Mauricio Ruiz Huaraca, con cédula de identidad número 0606228575, bajo la tutoría de Mgs. Alfonso Patricio Arellano Barriga; 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 31 de mayo de 2024.

Ing. Nelson Patiño. Mgs.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Ing. Cristian Marcillo. Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Ing. Hernan Pazmiño. Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma



Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO

en movimiento



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD
UNACH-RGF-01-04-08.15
VERSIÓN 01: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Que, **GUAYANLEMA SINALUISA JHONNATAN CRISTIAN** con CC: **0605883065**, y **RUIZ HUARACA RENE MAURICIO** con CC: **0606228575**, estudiantes de la Carrera **Ingeniería civil**, Facultad de **INGENIERÍA**; han trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**EVALUACIÓN DE LAS PRINCIPALES CONDICIONES FÍSICAS E HIDRÁULICAS DEL PAVIMENTO RÍGIDO EXISTENTE EN LA VÍA PALLATANGA-CUMANDÁ**", 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, 21 de mayo de 2024

Mgs. Alfonso Arellano
TUTOR(A)

DEDICATORIA

A mis queridos padres, Eduardo y Susana, cuya dedicación y amor han sido mi principal fuente de motivación. A mis amados abuelos, Pedro y María, cuya sabiduría y principios han dejado una huella imborrable en mí. Agradezco profundamente su apoyo constante y el ejemplo que han sido para mí.

Esta tesis es un humilde homenaje a todos aquellos que confiaron en mí, como expresión de mi gratitud eterna.

Jhonnatan Cristian Guayanlema Sinaluisa

La presente tesis va dedicada:

A mis amados padres, Segundo Ruiz y Rosa Huaraca, quienes con amor y paciencia fueron un apoyo incondicional para la construcción de mi vida profesional.

A mis queridos hermanos, sobrinos, cuñadas y cuñado por sus consejos y confianza depositada en mí.

A mi pareja y a mis amigos que conocí durante este largo proceso, brindándome valiosas aportaciones haciendo posible este triunfo.

Rene Mauricio Ruiz Huaraca

AGRADECIMIENTO

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han contribuido de alguna manera a la realización de esta tesis. A mis respetados profesores, cuya guía y conocimiento han sido fundamentales en mi formación académica y en el desarrollo de este trabajo. A mi compañero Rene Ruiz, por su colaboración, apoyo y amistad durante todo este proceso.

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

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

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

Jhonnatan Cristian Guayanlema Sinaluisa

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

Mi gratitud infinita a mi asesor de tesis, Ing. Alfonso Arellano, cuya guía experta, paciencia y constante apoyo han sido vitales para culminar la tesis. A mi amigo Jhonnatan Guayanlema, por brindarme su apoyo y su amistad.

A mi familia, en especial a mis padres Segundo Ruiz y Rosa Huaraca, por su amor incondicional, su apoyo constante y sus sacrificios. Ustedes han sido mi fuente de inspiración y mi mayor motivación para seguir adelante.

A todos, gracias por creer en mí y por acompañarme en este viaje. Este logro es tanto mío como de ustedes.

Rene Mauricio Ruiz Huaraca

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

TABLA DE ACRÓNIMOS

RESUMEN

ABSTRACT

1.	CAPÍTULO I. INTRODUCCION.....	14
1.1	Planteamiento del Problema.....	15
1.2	Objetivos.....	16
1.2.1	Objetivo General	16
1.2.2	Objetivos Específicos	16
2.	CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	16
2.1	Pavimento rígido	16
2.2	Pavimento de hormigón reforzado y con refuerzo continuo	16
2.3	Clasificación de capas de un pavimento rígido.....	17
2.3.1	Subbase	17
2.3.2	Capa de rodadura.....	17
2.4	Características Hidráulicas y Físicas	17
2.4.1	Características Hidráulicas.....	17
2.5	Coefficiente de escorrentía.....	17
2.5.2	Características Físicas.....	18
3.	CAPÍTULO III. METODOLOGIA.....	19
3.1	Tipo de investigación.....	19
3.2	Diagrama de investigación.....	19
3.3	Diseño de la investigación	20
3.4	Población y muestra.....	20
3.4.1	Muestra	20
3.4.2	Ubicación	20
3.5	Técnicas de recopilación de datos	22
3.5.1	Análisis granulométrico en los áridos. Fino y grueso. NTE INEN 696.....	22

3.5.2	Degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de los ángeles. NTE INEN 860.....	23
3.5.3	Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso. NTE INEN 857.....	24
3.5.4	Obtención de testigos de hormigón. ASTM C 42/ C42M-04.....	24
3.5.5	Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico. NTE INEN 1573.....	25
3.5.6	Determinación del contenido total de humedad. NTE INEN 862.	26
3.5.7	Determinación del porcentaje de vacíos. NTE INEN 858.	26
3.5.8	Mancha de arena o Macro textura ASTM E 965-96.....	27
3.5.9	Tracción indirecta aplicada a núcleos de concreto. ASTM C496.....	27
3.5.10	Velocidad de infiltración aplicada al pavimento rígido, ASTM D3385	28
4.	CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
4.1	Resultados de las características físicas del pavimento rígido	31
4.1.1	Resultados granulométricos	31
4.1.2	Resultados de Abrasión.....	33
4.1.3	Resultados Macro textura o Círculo de Arena.....	33
4.1.4	Resultados de Tracción y Compresión.....	34
4.1.5	Resultado de densidades	35
4.2	Resultados de las propiedades hidráulicas de la capa de rodadura.....	37
4.2.1	Resultados humedad y absorción	37
4.2.2	Resultados de porcentaje de vacíos	37
4.2.3	Resultados ensayo de infiltración	38
4.3	Resumen de resultados	41
4.4	Discusión	42
5.	CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	43
5.1	Conclusiones	43
5.2	Recomendaciones	44
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	45
7.	ANEXOS	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas UTM del punto inicial y final	20
Tabla 2. Coordenadas UTM para la extracción de núcleos	22
Tabla 3. Resultados granulométricos.....	31
Tabla 4. Promedio granulometrías.....	31
Tabla 5. Resultados del ensayo abrasión (Maquina de los ángeles).....	33
Tabla 6. Resultado del ensayo. Circulo de arena (Macro texturas).....	33
Tabla 7. <i>Resultados del ensayo a tracción indirecta de núcleos</i>	34
Tabla 8. Resultados del ensayo a compresión.....	34
Tabla 9. Datos generales de cada núcleo (espécimen).....	35
Tabla 10. <i>Densidad aparente sumergida de los núcleos.</i>	36
Tabla 11. Densidad real de los núcleos.....	36
Tabla 12. Porcentaje de humedad y absorción	37
Tabla 13. Porcentaje de vacíos	37
Tabla 14. <i>Datos del infiltrómetro</i>	38
Tabla 15. Coeficientes de escurrimiento presentes en la vía	38
Tabla 16. Coeficiente de escurrimiento de acuerdo con el tipo de superficie.....	38
Tabla 17. <i>Resumen de los resultados obtenidos</i>	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de pavimento rígido	16
Figura 2. Esquema de diseño de la investigación.....	20
Figura 3. Ubicación estratégica de puntos para extracción de núcleos.	21
Figura 4. Pluviometría media anual en el Ecuador	21
Figura 5. Mapa Geológico de la vía	22
Figura 6. Elaboración de granulometría	23
Figura 7. Agregado grueso en máquina de los ángeles con las esferas	24
Figura 8. Colocación de las muestras en el horno.....	24
Figura 9. Elaboración del agujero en el pavimento.....	25
Figura 10. Ensayo de compresión.	26
Figura 11. Colocación de las muestras en piscina.....	26
Figura 12. Medición de la mancha de arena	27

Figura 13. Tracción indirecta	28
Figura 14. Infiltrómetro de anillo doble	29
Figura 15. Infiltrómetro de anillo doble con caucho y silicona	29
Figura 16. Infiltrómetro de anillo doble con el peso de 60 [kg]	30
Figura 17. Promedio curvas granulométricas	32
Figura 18. Valores C para diversos tipos de superficie	39
Figura 19. Comparación de curvas de infiltración	40

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Granulometría de la subbase clase 3, punto 2.....	49
Anexo 2. <i>Curva granulométrica subbase Punto 2</i>	49
Anexo 3. Resultados del punto 1.....	50
Anexo 4. Resultados del punto 1.....	50
Anexo 5. Curva de infiltración del punto 1	51
Anexo 6. Pesaje para la determinación de densidad aparente.	51
Anexo 7. Ensayo de resistencia a tracción indirecta.	51
Anexo 8. Especímenes con las caras cortadas	51
Anexo 9. Ensayo de infiltración.....	51
Anexo 10. Ensayo para resistencia a compresión	52
Anexo 11. Ensayo de macro texturas	52

RESUMEN

En la presente investigación, se focaliza la evaluación detallada del pavimento rígido de la vía Pallatanga-Cumandá en Ecuador, destacando su importancia en la conectividad regional y desarrollo económico. Lo que motiva la necesidad de llevar a cabo una evaluación integral que abarque tanto las condiciones físicas como hidráulicas de los pavimentos. En las condiciones físicas, se presta especial atención a parámetros fundamentales como la resistencia a la compresión y tracción indirecta, así como la macro textura, elementos esenciales para asegurar la durabilidad y eficiencia del pavimento a lo largo del tiempo. En simultáneo, se consideran aspectos hidráulicos, tales como el coeficiente de escurrimiento, entre otros, con el propósito de garantizar la seguridad y la funcionalidad vial en diversas condiciones climáticas. En la ejecución de esta investigación, se destaca la técnica de extracción de núcleos como un método esencial para obtener muestras representativas del pavimento, permitiendo así una evaluación exhaustiva de su estado actual. Los resultados obtenidos se esperan que no solo ofrezcan una comprensión detallada de la situación actual de la vía Pallatanga-Cumandá, sino que también aspira a establecer un precedente para investigaciones futuras.

Palabras claves: Pavimiento rígido, propiedades físicas, escurrimiento, extracción de núcleos.

ABSTRACT

The main objective of this research study focuses on the detailed evaluation of the rigid pavement of roads at Pallatanga-Cumanda, Ecuador. Highlighting its importance in regional connectivity and economic development. This motivates the need to carry out an integral evaluation that covers both the physical and hydraulic conditions of the pavement. In the physical conditions, special attention is paid to fundamental parameters such as resistance to compression and indirect traction, as well as macro texture, essential elements to ensure the durability and efficiency of the pavement over time. Simultaneously, hydraulic aspects are considered, such as runoff coefficient, among others, with the purpose of guaranteeing road safety and functionality in various climatic conditions. In the execution of this research, the coring technique is highlighted as an essential method to obtain representative samples of the pavement, thus allowing an exhaustive evaluation of its current condition. The results obtained are expected not only to provide a detailed understanding of the current situation of the Pallatanga-Cumanda road, but also to set a precedent for future research.

Keywords: Rigid pavement, physical properties, runoff, coring.



Plasado electrónicamente por:
MARCO ANTONIO
AQUINO ROJAS

Reviewed by:
Marco Antonio Aquino
ENGLISH PROFESSOR
C.C. 1753456134

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCION.

Las infraestructuras de transporte desempeñan un papel crucial en el desarrollo económico y social de cualquier región o país. Entre estos elementos, los pavimentos viales juegan un papel fundamental al proporcionar la superficie de rodadura necesaria para el tránsito seguro y eficiente de vehículos. En el contexto de la red vial ecuatoriana, la vía Pallatanga-Cumandá inaugurada en junio del 2012 (Massón Alejandra, 2019), con una longitud de 42 Km, se destaca como una arteria vital que conecta regiones, fomenta el comercio y facilita el acceso a diversas zonas geográficas.

Sin embargo, la integridad y durabilidad de los pavimentos rígidos, como el que se encuentra en la vía Pallatanga-Cumandá, son esenciales para mantener la calidad y seguridad del transporte. Con el paso del tiempo, los pavimentos experimentan un desgaste natural debido a factores climáticos, cargas vehiculares y otros elementos que pueden afectar su capacidad de soporte y drenaje hidráulico. Por lo tanto, la evaluación periódica de estas carreteras se vuelve imperativa para garantizar su funcionalidad a largo plazo.

Los pavimentos rígidos son una parte esencial de la infraestructura vial en todo el mundo. Estas estructuras de carreteras, construidas principalmente con hormigón, ofrecen una superficie resistente y duradera para el tránsito de vehículos. Sin embargo, la calidad y el estado de los pavimentos rígidos son elementos críticos que determinan la seguridad, la eficiencia y la economía de las operaciones de transporte en una región (Mocondino Jhon, 2020). La evaluación de las condiciones físicas e hidráulicas de estos pavimentos se ha convertido en un campo de investigación y estudio fundamental para garantizar la integridad y el rendimiento a largo plazo de las carreteras.

La condición física de un pavimento rígido se refiere a su resistencia, densidad y desgaste. A lo largo del tiempo, estos pavimentos están sujetos a diversas tensiones, como las cargas vehiculares, las variaciones climáticas y el envejecimiento natural, que pueden afectar su estructura y comportamiento (Maldonado Yandry, 2021). Por lo tanto, es esencial evaluar la integridad física del pavimento para determinar la necesidad de mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción.

Además, las condiciones hidráulicas de un pavimento rígido son cruciales para gestionar el flujo de agua superficial durante eventos de lluvia o deshielo (Aqua Fundación, 2022). Un sistema de drenaje inadecuado puede dar lugar a problemas como el estancamiento del agua, la erosión del pavimento y la reducción de la visibilidad en la carretera, lo que aumenta los riesgos para la seguridad vial. Por lo tanto, la evaluación de las condiciones hidráulicas de los pavimentos rígidos se ha vuelto igualmente importante para garantizar una gestión eficiente del agua en las carreteras.

Esta tesis se centra en la evaluación exhaustiva de las condiciones físicas e hidráulicas de los pavimentos rígidos. A través de la combinación de técnicas avanzadas de muestreo y análisis. Los resultados obtenidos no solo serán valiosos para el mantenimiento y la gestión de las carreteras existentes, sino que también servirán como base para el diseño de pavimentos más resistentes y eficientes en el futuro.

La extracción de núcleos es una metodología que permite obtener muestras representativas del pavimento, lo cual realiza una evaluación completa de la resistencia a

compresión y tracción indirecta, este procedimiento se lo realiza a través de normas estandarizadas las cuales se mencionan a continuación. Mediante esta metodología precisa, los núcleos recolectados a lo largo de la vía Pallatanga-Cumandá serán meticulosamente extraídos mediante la utilización de un taladro equipado con una broca de diamantina, cuyas dimensiones posee un diámetro de 95 [mm] el cual debe cumplir con una relación de altura-diámetro de 2.0 como relación estándar para núcleos, siguiendo estrictamente las pautas de la norma (ASTM, 2004). Estos núcleos, una vez obtenidos, se someterán a una serie de ensayos los cuales expondrán información crucial sobre el pavimento, incluyendo datos relativos a su espesor, textura, resistencia, porosidad, porcentaje de vacíos y humedad.

Los resultados de esta investigación proporciona de manera detallada las características físicas e hidráulicas de esta importante arteria vial.

1.1 Planteamiento del Problema

En la actualidad, se observa un deterioro evidente en el pavimento rígido de la vía Pallatanga-Cumandá, lo que plantea una serie de desafíos significativos. El pavimento, que está expuesto a una variedad de condiciones climáticas y cargas vehiculares, ha experimentado un envejecimiento natural y, posiblemente, daños estructurales.

De acuerdo con el informe emitido por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI (1982), se verifica que la carretera está ubicada sobre una falla geológica, lo cual aumenta significativamente la posibilidad de deslizamientos de tierra y hundimientos. Esta vía presenta un Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de 4503 vehículos, con un 34.86 [%] dedicado al transporte pesado y de carga, según los datos proporcionados por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas MTOP (2002). Por consiguiente, resulta esencial comprender en detalle las propiedades físicas del pavimento rígido que compone esta infraestructura. La región experimenta precipitaciones anuales que oscilan entre 500 y 3000 [mm], lo cual puede potencialmente desencadenar aluviones. Es relevante señalar que la normativa ecuatoriana aún no ha establecido un coeficiente de escurrimiento específico para el pavimento rígido, lo cual podría afectar la recarga de los acuíferos subterráneos. Por tanto, resulta indispensable comprender las características hidráulicas de esta vía.

Con el propósito de contribuir al avance en el diseño futuro de pavimentos rígidos que sean más permeables, lo que ayudaría a disminuir los riesgos de inundaciones repentinas y fomentar la recarga natural de los acuíferos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

- Evaluación de las principales condiciones físicas e hidráulicas de un tramo del pavimento rígido existente en la vía Pallatanga-Cumandá por medio de extracción de núcleos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar las características físicas del pavimento rígido presente en la vía.
- Evaluar las propiedades hidráulicas de la capa de rodadura.

2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1 Pavimento rígido

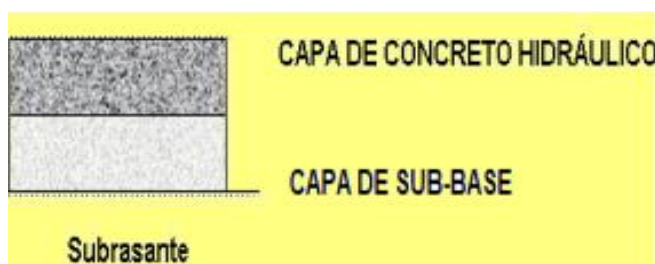
Es aquel que emplea concreto de cemento Portland para las superficies de rodamiento. Al construirse con cemento hidráulico posee resistencia a la flexión (Flores Escoto, 2008). Según (Saucedo Vidal, 2010), un pavimento rígido se caracteriza por tener como elemento fundamental una losa de concreto hidráulico, el cual distribuye las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores a través de toda la superficie de la losa. Al presentar fallas estructurales, el pavimento se plegará a las deformaciones de las capas inferiores. Es por ello la necesidad de utilizar subbase.

Las losas pueden ser de concreto simple, reforzado o prees forzado (INVIAS, 2012)

El pavimento rígido se constituye por:

- Losa de concreto con un espesor de 20 – 30 cm.
- Capa de subbase con un espesor de 15 – 30 cm.

Figura 1. Estructura de pavimento rígido



Fuente: (Saucedo Vidal, 2010).

2.2 Pavimento de hormigón reforzado y con refuerzo continuo

Estos pavimentos se componen de concreto reforzado con barras de acero dispuestas longitudinalmente, y se construyen sin realizar cortes de juntas transversales de contracción. Es crucial monitorear de manera minuciosa la distancia y el ancho de las grietas, junto con el nivel de esfuerzos en el acero, con el objetivo de mantenerlos dentro de límites específicos y garantizar un rendimiento eficaz del pavimento (Leiva Villacorta & Vargas Nordbeck, 2014).

2.3 Clasificación de capas de un pavimento rígido

2.3.1 Subbase

Esta capa se ubica entre la losa de concreto y la subrasante y se compone principalmente de materiales granulares como piedras trituradas, arena, mezcla y agregados. Sus funciones principales incluyen la prevención del bombeo, la gestión de cambios en el volumen del suelo, la creación de una superficie para sostener las losas y el aumento de la capacidad estructural del pavimento [5] (Burgos Vasquéz, 2014).

2.3.2 Capa de rodadura

Es la capa de concreto Portland, es decir, la losa misma, y sus funciones principales incluyen proporcionar un alto nivel de soporte para resistir las cargas concentradas generadas por las ruedas de los vehículos, ofrecer una textura superficial antideslizante para mejorar la tracción de los automóviles, evitar la infiltración de agua en la superficie, mantener una alta resistencia al desgaste en la capa de rodadura y asegurar una buena visibilidad para aumentar la seguridad del tráfico [5] (Burgos Vasquéz, 2014).

2.4 Características Hidráulicas y Físicas

2.4.1 Características Hidráulicas

2.4.1.1 Ecurrimiento Superficial

Debido a su limitada permeabilidad, durante lluvias intensas, es común que los pavimentos rígidos provoquen un escurrimiento superficial notable, lo cual podría dar lugar a inundaciones urbanas si no se gestiona de manera efectiva.

2.5 Coeficiente de escorrentía

También conocido como el coeficiente de escurrimiento, es aquella relación entre la cantidad de agua escurrida y la cantidad de agua precipitada, los cuales dependen del tipo de precipitación y el tipo de cobertura que exista en la zona de estudio. Se expresa como un número entre 0 y 1 (Institutedelagua.es, 2024), donde:

Un coeficiente de escorrentía de 0 (cero) significa que la totalidad del agua de lluvia se absorbe en el suelo sin dar lugar a escurrimiento superficial (Institutedelagua.es, 2024).

Un coeficiente de escorrentía de 1 (uno) indica que toda el agua de lluvia se transforma en escurrimiento superficial sin ser absorbida en el suelo (Institutedelagua.es, 2024).

El coeficiente de escorrentía se ve influenciado por una serie de factores, que incluyen la composición del suelo, su nivel de saturación, la inclinación del terreno, la vegetación existente, la intensidad de la lluvia y las condiciones específicas del entorno local (Institutedelagua.es, 2024).

2.5.1.1 Velocidad de infiltración

La velocidad de infiltración del pavimento hace referencia a la rapidez con la que el agua, ya sea de lluvia u otra fuente, entra o se absorbe en la superficie del pavimento. Esta

velocidad puede variar dependiendo del tipo de pavimento utilizado, su grado de porosidad, la textura del suelo que se encuentra debajo y otros aspectos ambientales.

Generalmente se mide en milímetros por hora (mm/hora). En el contexto de pavimentos permeables, la tasa de infiltración se calcula como la diferencia entre la cantidad de precipitación que cae y la variación en el volumen de agua almacenado en el concreto permeable (Príncipe Ramos, 2018).

2.5.1.2 Tiempo de saturación

Es el lapso requerido para que un pavimento alcance un estado completamente saturado (donde todo el espacio poroso del pavimento se llena de agua) está condicionado por varios factores. Estos factores incluyen las condiciones climáticas, la naturaleza del pavimento, su grado de porosidad y la cantidad de agua que se le aplique.

En términos generales, los pavimentos de concreto tienden a saturarse más lentamente que los pavimentos asfálticos debido a su menor nivel de porosidad. Sin embargo, la velocidad de saturación también puede verse influenciada por la textura y la permeabilidad del suelo subyacente.

2.5.2 Características Físicas

2.5.2.1 Superficie rugosa

La textura superficial es la propiedad geométrica que describe la superficie de rodadura de una carretera o pavimento, la cual se forma mediante la unión de áridos (agregados) y asfalto u otro material de revestimiento.

Esta característica es esencial en la superficie de rodadura para garantizar un nivel de seguridad óptimo en términos de la resistencia al deslizamiento, ya sea al frenar el vehículo, mantener el control en curvas o llevar a cabo diversas maniobras que el conductor pueda realizar.

2.5.2.2 Macro textura

La macro textura se refiere a la característica superficial del pavimento y consiste en las partículas de agregados pétreos que sobresalen de la superficie. Su relevancia radica en su capacidad para drenar el agua de la superficie, permitiendo que esta permanezca en las depresiones. Esto, a su vez, promueve un mayor contacto entre los neumáticos y el pavimento. Para garantizar un nivel adecuado de adherencia en el pavimento a cualquier velocidad, es necesario contar con una macro textura de gran tamaño (Barraza Eléspuru, 2004).

2.5.2.3 Desgaste superficial por abrasión

La resistencia del hormigón al desgaste por abrasión se puede definir como su capacidad para soportar el deterioro causado por el roce y la fricción en su superficie (ACI, 2000).

Las acciones que provocan el desgaste por abrasión suelen ser de naturaleza mecánica y se presentan con mayor frecuencia en superficies de suelos y pavimentos. Estas acciones se pueden clasificar en función de su intensidad en tres categorías:

- Abrasión ligera: ocurre en zonas industriales.
- Abrasión energética: se produce en zonas cercanas al mar.
- Abrasión muy energética: ocurre en lugares como aserraderos.

En situaciones en las que el desgaste superficial es leve o de grado moderado, se observa una tendencia que vincula el desempeño de la resistencia a la compresión con la abrasión, es decir, existe una relación inversa donde un aumento en la resistencia a la compresión se traduce en un menor desgaste en la superficie (Carrera Proaño & Guachamín Gaibor, 2016).

2.5.2.4 Resistencia a la compresión del hormigón

Se comprende como resistencia a compresión a la capacidad de soportar un esfuerzo por unidad de área, su unidad de medida es kg/cm², MPa o PSI (Osorio, 2020).

La resistencia a compresión puede verse afectado por varios factores como:

- Cemento
- Relación agua/cemento

2.5.2.5 Resistencia a tracción

El concreto exhibe una resistencia significativamente mayor a la compresión; no obstante, su capacidad para resistir fuerzas en tracción es restringida, representa aproximadamente un 10% de la resistencia a compresión del concreto. Dada esta limitación, en las edificaciones de concreto armado, se utiliza el acero de refuerzo para encargarse de las cargas en tracción (Romo Proaño, 2008).

3. CAPÍTULO III. METODOLOGIA.

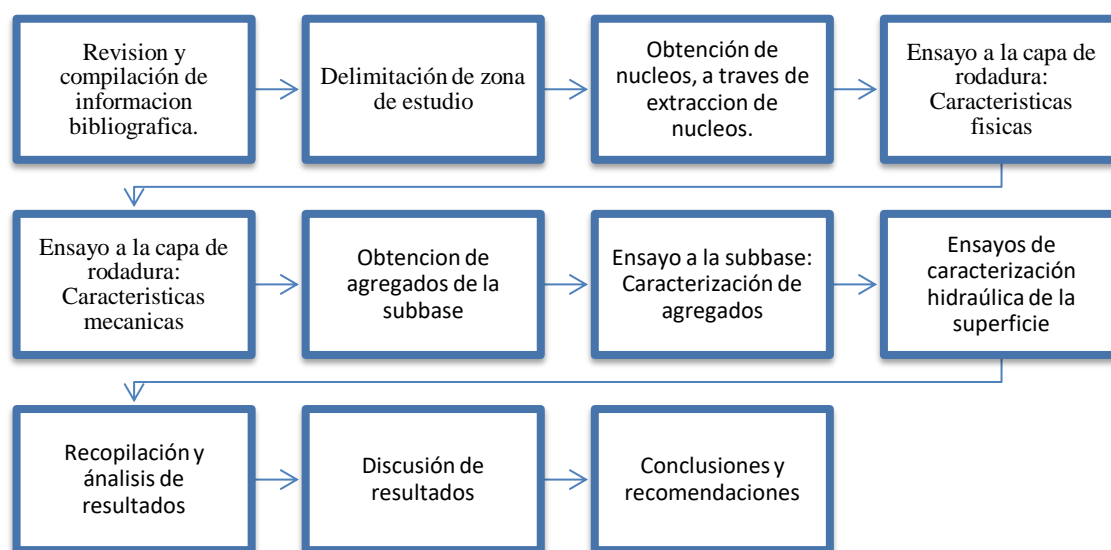
3.1 Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo “cuantitativa y cualitativa”, ya que implica la recopilación y análisis de datos que permitan entender las diferentes características físicas e hidráulicas del pavimento rígido.

3.2 Diagrama de investigación

Con el propósito de cumplir con el objetivo general establecido en la investigación, así como con los objetivos específicos que se han planteado, se procede de acuerdo con el plan de trabajo delineado en la Fig. 2.

Figura 2. Esquema de diseño de la investigación



3.3 Diseño de la investigación

La metodología empleada es de naturaleza mixta, involucrando la obtención de datos cuantitativos que requieren procesamiento y análisis de los diferentes ensayos: mancha de arena, infiltración estándar para concreto permeable in situ y desgaste superficial por abrasión. Se trabaja con información cualitativa a modo de comprender o explicar los datos obtenidos una vez realizado dichos ensayos.

3.4 Población y muestra

3.4.1 Muestra

Se realizó por medio de un muestreo aleatorio estratificado para obtener los núcleos o especímenes, la cual se basa en dividir la población en subgrupos en este caso cada 7 km y posteriormente realizar un muestreo aleatorio independiente en cada área o subgrupo.

3.4.2 Ubicación

Los ensayos se realizaron en la Panamericana E 487, donde el punto inicial y final del tramo tomado en cuenta para los ensayos expresado en coordenadas UTM fueron los siguientes:

Tabla 1. Coordenadas UTM del punto inicial y final

PUNTOS	COORDENADAS	
	ESTE	NORTE
Inicio	725474.81	9776572.68
Fin	708854.00	9756634.00

De la misma manera, se realizó un mapa en el cual se puede identificar los diferentes tramos de la vía, donde se ubicó estratégicamente los puntos exactos en los cuales se realizó la extracción de núcleos o especímenes y el resto de los ensayos respectivos.

Figura 3. Ubicación estratégica de puntos para extracción de núcleos.

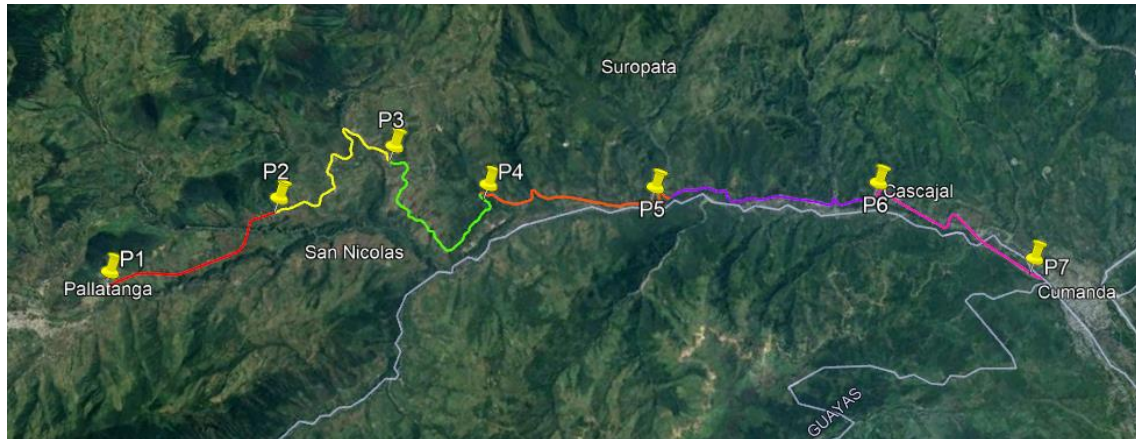
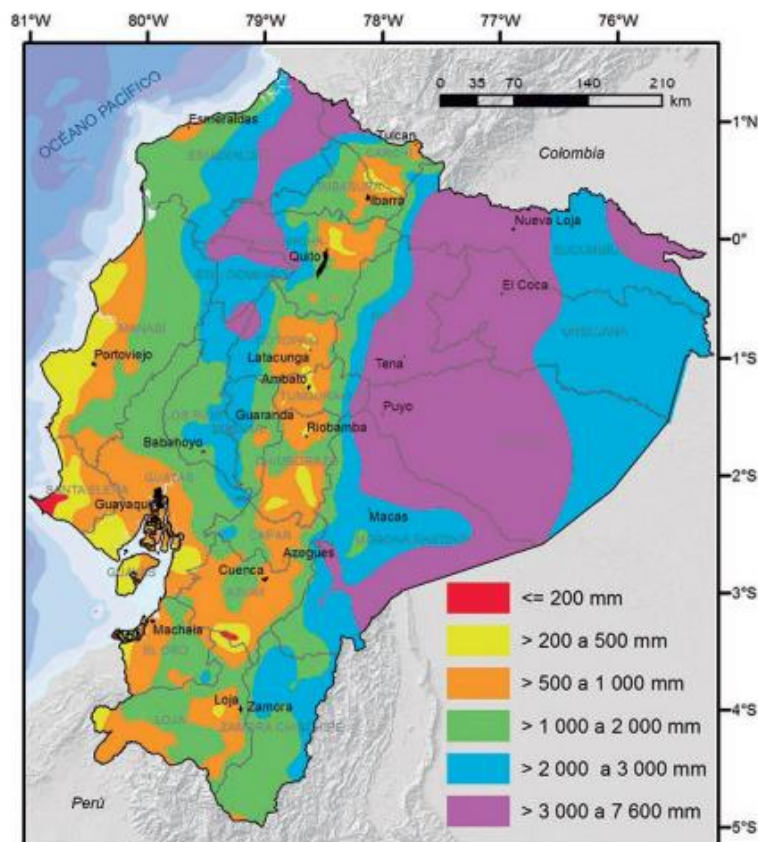
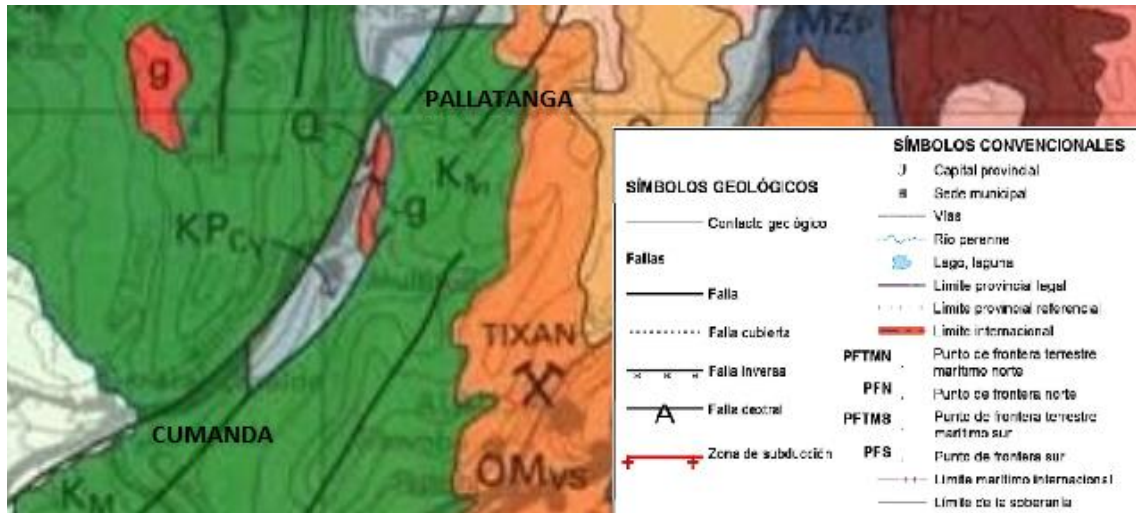


Figura 4. Pluviometría media anual en el Ecuador



Fuente: (Espinosa et al., 2022)

Figura 5. Mapa Geológico de la vía



De acuerdo con al mapa geológico (INAMHI, 1982), se presentan grandes cúmulos de sedimentos menores como lutitas calizas y volcanoclasticas (KPcy & Km), también se encuentran terrazas, aluviales y sedimentos cuaternarios (Q), encontrándose la vía sobre un contacto geológico en los tramos de Los Santiagos, Los Santiaguitos y Trigoloma.

Las coordenadas de los puntos se tomaron en unidades UTM, contempladas en la siguiente tabla:

Tabla 2. Coordenadas UTM para la extracción de núcleos

PUNTOS	COORDENADAS	
	ESTE	NORTE
1	725474.81	9776572.68
2	724019.82	9771729.33
3	723070.56	9768385.65
4	720561.69	9767090.28
5	717463.85	9763560.86
6	713426.50	9758660.15
7	708854.00	9756634.00

3.5 Técnicas de recopilación de datos

3.5.1 Análisis granulométrico en los áridos. Fino y grueso. NTE INEN 696

Este método de análisis se emplea principalmente para determinar la categorización de materiales con el propósito de utilizarlos como componentes sólidos en la creación de hormigón o emplearlos como agregados para diversos propósitos. Los resultados se utilizan para confirmar que la distribución de tamaños de partículas cumple con los estándares especificados en la norma INEN 696, y para proporcionar la información necesaria para

supervisar la producción de manera efectiva (INEN, 2011b).

Procedimiento:

1. Se debe dejar el material en estudio al horno para secarlo, por aproximadamente 24 horas antes de ensayar a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
2. Seleccionar los tamices (de acuerdo el tipo de árido que se vaya a ensayar). Se debe ordenar los tamices de manera decreciente según su abertura.
3. Se procede a verter el material previamente seco en los tamices.
4. Se coloca los tamices en la tamizadora automática.
5. Una vez tamizado el material se registra los pesos retenidos en cada tamiz.

Figura 6. *Elaboración de granulometría*



3.5.2 Degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de los ángeles. NTE INEN 860.

Determina el desgaste del árido grueso, cuyas dimensiones son inferiores a 37,5 mm, se realiza midiendo la pérdida de masa provocada por la acción conjunta de desgaste e impacto mediante el uso de la máquina de Los Ángeles. La medición de la degradación actúa como un criterio de calidad o rendimiento para los áridos y sus fuentes que comparten composiciones mineralógicas parecidas. Es fundamental señalar que los resultados de este análisis no posibilitan la comparación entre fuentes que difieren en origen, composición o estructura (INEN, 2011c)

Procedimiento

1. Colocar la muestra en la máquina de los Ángeles y a su vez colocar las esferas, en este caso 12 esferas.
2. La máquina debe girar a 500 revoluciones, con una rapidez entre 30 r/min – 33 r/min.
3. Una vez finalizado el ensayo, se procede a tamizar el material obtenido con el tamiz #12 y se pesa lo retenido.

Figura 7. Agregado grueso en máquina de los ángeles con las esferas



3.5.3 Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso. NTE INEN 857.

Se aplica para determinar la densidad promedio en una muestra de árido grueso en donde no se incluye el volumen de vacíos entre partículas, A su vez determinar la densidad relativa y absorción del árido grueso. Según el método empleado, la densidad se la expresa como: seca al horno (SH), saturada superficialmente seca (SSS) o densidad aparente (INEN, 2010c).

La presente normativa se utilizó para determinar el porcentaje de absorción en los núcleos extraídos.

Procedimiento:

1. Secar al horno a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, por 24 horas.
2. Seguidamente sumergir en agua a temperatura ambiente por 24 horas.
3. Retirar las muestras del agua, con un paño se debe frotar hasta eliminar la lámina visible de agua. Determinar la masa de la muestra en condiciones saturada superficialmente seca (SSS). Registrar los datos obtenidos.
4. Colocar las muestras en un recipiente con agua a temperatura de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Determinar la masa de cada una de las muestras.
5. Secar la muestra en el horno a temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Y posterior determinar la masa de cada muestra.

Figura 8. Colocación de las muestras en el horno



3.5.4 Obtención de testigos de hormigón. ASTM C 42/ C42M-04.

Este método de prueba proporciona instrucciones para obtener, preparar y analizar núcleos perforados de concreto con el fin de evaluar sus dimensiones, resistencia a la

compresión, resistencia a la tracción por hundimiento y la resistencia a la flexión de vigas cortadas con sierra (ASTM, 2004).

Procedimiento:

1. Taladrar el pavimento rígido para la obtención de los núcleos cilíndricos.
2. Sacar las muestras con la ayuda de una faja pretensada.
3. Enumerar las muestras según el orden en el cual se las obtuvieron, y a su vez colocar en fundas plásticas.

Figura 9. *Elaboración del agujero en el pavimento*



3.5.5 Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico. NTE INEN 1573.

Este procedimiento de ensayo es válido para examinar cilindros moldeados y núcleos perforados de concreto de cemento hidráulico con una densidad que excede los 800 kg/m³. Los resultados obtenidos de la prueba sirven como punto de referencia en diversas situaciones, incluyendo la supervisión de la calidad en la mezcla y colocación del concreto, la verificación del cumplimiento con las especificaciones, y la valoración de la efectividad de aditivos, entre otros usos similares (INEN, 2010b).

Procedimiento:

1. Colocar el espécimen sobre la mesa o platina de la máquina de ensayo directamente bajo el bloque de carga esférico (superior). Se debe alinear del espécimen con el centro de carga del bloque de carga esférica.
2. Verificar que el indicador de carga este ajustado a cero.
3. Se debe colocar la velocidad a ensayar para que se aplique la carga continuamente. Dicha velocidad de esfuerzo debe ser de $0,25 \pm 0,05$ MPa/s.

Figura 10. *Ensayo de compresión.*



3.5.6 Determinación del contenido total de humedad. NTE INEN 862.

Esta norma define el procedimiento para calcular el porcentaje de humedad que puede eliminarse a través del secado en una muestra de áridos. Esto abarca tanto la humedad superficial como la presente en los poros del árido (INEN, 2011a).

Figura 11. *Colocación de las muestras en piscina*



3.5.7 Determinación del porcentaje de vacíos. NTE INEN 858.

Se partió de la norma NTE INEN 858 como referencia para determinar los vacíos entre las partículas en los áridos finos, gruesos o en una mezcla de ellos (INEN, 2010a); para ello se utilizaron las siguientes fórmulas:

Masa de agua

$$\text{Masa de Agua (g)} = M_d - M_{ss}$$

M_d: Masa del núcleo seca al horno.

M_{ss}: Masa del núcleo superficialmente saturado seco (Peso húmedo).

Volumen de vacíos

$$\text{Volumen de Vacíos (cm}^3\text{)} = \frac{\text{Masa del agua (g)}}{0,998 \text{ g/cm}^3}$$

Porcentaje de vacíos

El volumen total de núcleo se le coloca dentro de la fórmula en vez del volumen aparente sumergido, puesto que son equivalentes.

$$\% \text{ Vacíos} = \frac{\text{Volumen de vacíos}}{\text{Volumen total del núcleo}} \times 100\%$$

3.5.8 Mancha de arena o Macro textura ASTM E 965-96

Implica la aplicación de una cantidad conocida de arena fina (que pueda atravesar la malla 50 pero sea retenida por la malla 100) sobre la superficie del pavimento. A continuación, esta arena se distribuye para formar un círculo.

Midiendo el diámetro del círculo resultante, es posible calcular su área, y al dividirla entre el volumen aplicado, se obtiene la profundidad promedio de las depresiones, tal como se describe en la fórmula siguiente:

$$H = \frac{4V}{\pi D^2}$$

Donde:

H= Altura promedio de las depresiones [mm]

V= Volumen [m³]

D= Diámetro del círculo de arena [m]

Procedimiento:

1. Se debe limpiar muy bien la zona a ensayar con la ayuda de una brocha y un cepillo de alambre.
2. Colocar la arena sobre la zona a ensayar, posteriormente expandir en forma circular hasta que no sea posible. Este proceso se lo realiza con un caucho circular con diámetro de 5 [cm] y altura de 2.5 [cm].
3. Realizar mínimo 4 mediciones de la arena expandida en forma circular.

Figura 12. *Medición de la mancha de arena*



3.5.9 Tracción indirecta aplicada a núcleos de concreto. ASTM C496.

En la norma (ASTM, 2017), el ensayo tiene como objetivo determinar la resistencia a la tracción del concreto mediante la aplicación de una carga de tracción la cual se aplica

de manera transversal en un núcleo extraído de una estructura de concreto, la aplicación de la carga se realiza gradualmente hasta que ocurre la falla o destrucción del espécimen o núcleo.

Procedimiento:

1. Se debe realizar una señal que atraviese las caras de la muestra o del núcleo.
2. Se debe colocar el núcleo o la muestra sobre la base especial para posteriormente introducirla en la máquina para realizar el ensayo de tracción indirecta.
3. Iniciar el ensayo con una velocidad de 0.7 a 1.4 [MPa/min] o 100 a 200 [psi/min] hasta que falle la muestra.

Figura 13. *Tracción indirecta*



3.5.10 Velocidad de infiltración aplicada al pavimento rígido, ASTM D3385

La norma ASTM D3385, se refiere a determinar la velocidad de infiltración del agua en el pavimento rígido, por medio de un infiltrómetro de anillo doble. El cual se coloca sobre la superficie del pavimento para luego introducir agua dentro del infiltrómetro de anillo doble, manteniendo un nivel constante y una medida inicial definida la cual servirá para realizar mediciones conforme se reduzca el volumen de agua, es decir, se infiltre en el pavimento en un intervalo de tiempo definido (ASTM, 2018a).

Procedimiento:

1. El infiltrómetro de anillo doble debe cumplir con las siguientes dimensiones y características: Altura del cilindro interior y exterior es del 45.00 [cm], diámetro del cilindro exterior de 45 [cm], diámetro del cilindro interior de 25 [cm], los anillos del infiltrómetro se encuentra constituido por tol de acero galvanizado de 1.5 [mm] de espesor y tubos cuadrados de 2.0 [mm] de espesor, dando un peso total de 22.25 [kg] del infiltrómetro utilizado para el ensayo.

Figura 14. *Infiltrómetro de anillo doble*



2. Para asegurar que no existan fugas durante el ensayo entre el infiltrómetro y el pavimento rígido, se coloca un caucho el cual encaja perfectamente en los filos del cilindro interior y exterior del infiltrómetro formando una junta térmica impidiendo que fugue agua, adicional a ello se coloca silicona en el borde de los cauchos y finalmente un peso sobre el infiltrómetro de 60 [kg] repartido o distribuido en los tubos cuadrados del infiltrómetro para una mejor sujeción.

Figura 15. *Infiltrómetro de anillo doble con caucho y silicona*



3. Al tener listo el infiltrómetro de anillo doble se debe colocar sobre la calzada y esperar que se seque la silicona una vez seco, añadiendo el peso de 60 [kg] en este caso se introduce 4 bloques macizos cada uno con un peso de 15 [kg], se añade agua y en los cilindros interiores y se procede a tomar mediciones cada cierto intervalo de tiempo.

Figura 16. *Infiltrómetro de anillo doble con el peso de 60 [kg]*



4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados de las características físicas del pavimento rígido

4.1.1 Resultados granulométricos

Tabla 3. Resultados granulométricos

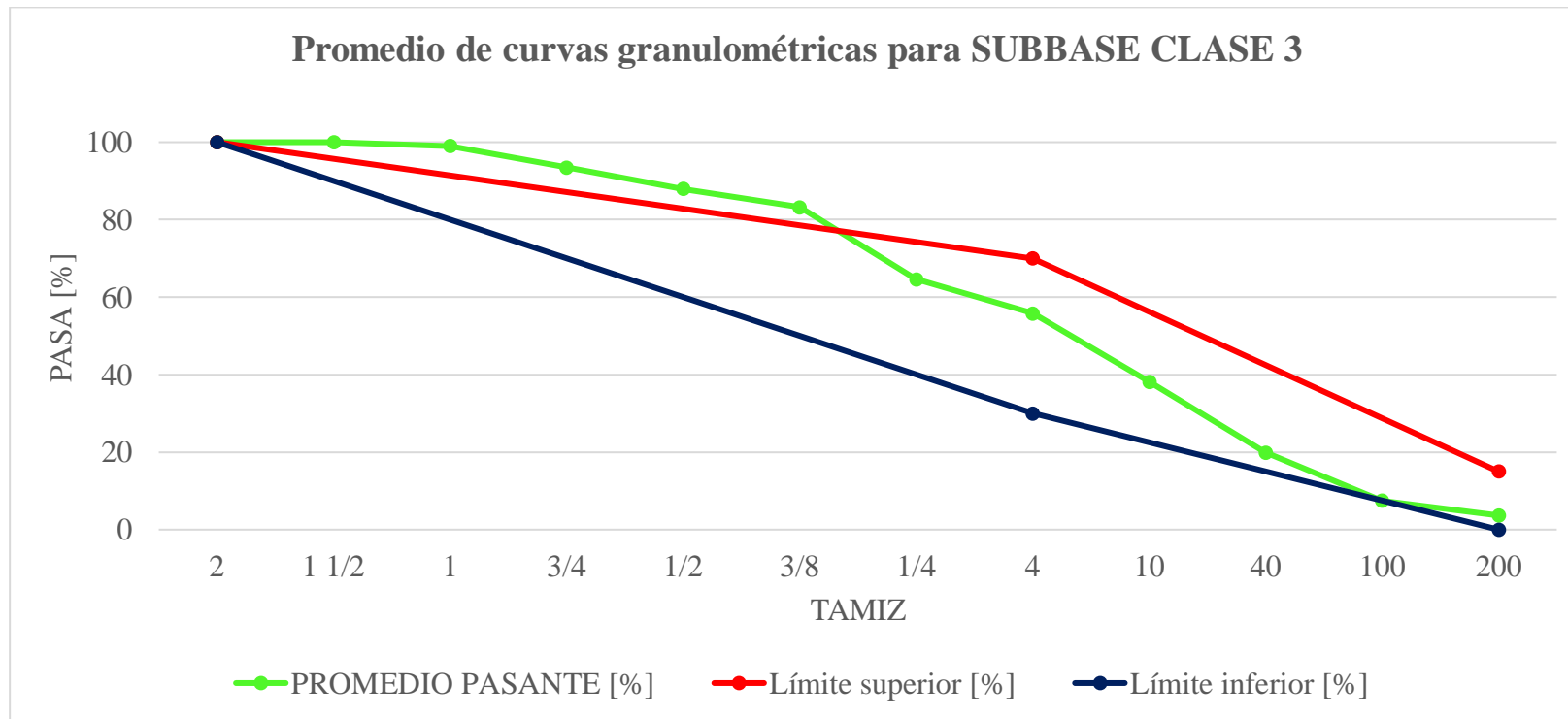
Tipo	Ubicación	Masa Inicial [g]	Masa Final [g]	Error <3[%]	Tamaño Máximo [in]	Tamaño Nominal Máximo	Módulo de Finura	Observación
Subbase clase 3	Pallatanga-Cumandá	1000	999.00	0.10	2	1	4.55	EXCESO DE GRUESO
Subbase clase 3	Pallatanga-Cumandá	1000	999.00	0.10	2	3/4	4.39	EXCESO DE GRUESO

Fuente: (Guayanlema & Ruiz, 2024)

Tabla 4. Promedio granulometrías

Abertura en [mm]	Tamiz ASTM	Pasa 1 [%]	Pasa 2 [%]	PROMEDIO PASANTE [%]	Tipo de Material	Límite superior [%]	Límite inferior [%]	PROMEDIO ARENA [%]	PROMEDIO GRAVA [%]
50.00	2	100.00	100.00	100		100	100		
37.50	1 1/2	100.00	100.00	100.00	Grava Gruesa				
25.00	1	98.10	100.00	99.05					
19.00	3/4	90.99	95.90	93.44					
12.5	1/2	83.48	92.39	87.94					
9.5	3/8	77.78	88.59	83.18	Grava Fina			52.15	44.19
6.3	1/4	66.07	63.16	64.61					
4.75	4	59.26	52.35	55.81		70	30		
2	10	41.54	34.83	38.19	Arena Gruesa				
0.425	40	17.82	22.02	19.92					
0.15	100	6.71	8.21	7.46	Arena Fina				
0.075	200	3.30	4.00	3.65		15	0		

Figura 17. Promedio curvas granulométricas



Al clasificar el suelo de acuerdo con la norma AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), se obtiene que pertenece al grupo A-1-a o fragmentos de piedra grava y arena, con un límite líquido de 34, además es NP (no plástica), es decir, no tiene límites de ATTERBERG, y según la SUCS (Unified Soil Classification System), corresponde a una arena limosa o SM. Obteniendo una curva granulométrica, donde se puede apreciar entre los tamices 2 [in] a 3/8 [in] se encuentra por fuera del límite superior y a partir del tamiz 1/4 [in] al tamiz 200 se encuentra dentro de los límites superior e inferior.

4.1.2 Resultados de Abrasión

Tabla 5. Resultados del ensayo abrasión (Maquina de los ángeles)

PUNTO	Tipo de Material	Procedencia del Material	Grado de la muestra	Número de vueltas	Número de esferas	Masa de carga (g)	Muestra Inicial de ensayo (g)	Muestra retenida en el tamiz No12	Degradación %
2	Subbase Clase 3	Pallatanga-	A	500	12	5000±25	5000	4292.4	14.15
4	Subbase Clase 3	Cumandá	A	500	12	5000±25	5062	4284	15.37
PROMEDIO									14.76

4.1.3 Resultados Macro textura o Círculo de Arena

Tabla 6. Resultado del ensayo. Círculo de arena (Macro texturas).

Nº Punto	Círculo 1				Diámetro promedio (mm)	Altura (mm)	Círculo 2				Diámetro promedio (mm)	Altura (mm)	Círculo 3				Diámetro promedio (mm)	Altura (mm)	Altura Promedio (mm)	
	D1	D2	D3	D4			D1	D2	D3	D4			D1	D2	D3	D4				
Punto 1	455	430	410	450	436,25	0,167	479	460	473	475	471,75	0,143	457	478	442	523	475,00	0,141	0,150	
Punto 2	450	470	490	480	472,50	0,143	472	470	469	471	470,50	0,144	491	492	493	483	489,75	0,133	0,140	
Punto 3	580	570	561	572	570,75	0,098	529	532	533	527	530,25	0,113	501	522	515	530	517,00	0,119	0,110	
Punto 4	540	520	520	525	526,25	0,115	501	512	493	503	502,25	0,126	517	496	514	510	509,25	0,123	0,121	
Punto 5	490	510	510	500	502,50	0,126	482	491	520	497	497,50	0,129	537	526	510	546	529,75	0,113	0,123	
Punto 6	455	470	470	460	463,75	0,148	457	488	493	446	471,00	0,143	533	493	520	504	512,50	0,121	0,138	
Punto 7	460	490	510	475	483,75	0,136	510	441	479	486	479,00	0,139	476	537	500	491	501,00	0,127	0,134	
Promedio																				0,131

4.1.4 Resultados de Tracción y Compresión

4.1.4.1 Resistencia a Tracción indirecta

Tabla 7. Resultados del ensayo a tracción indirecta 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	08/12/2023	95.00	94.10	95.00	94.70	182.00	181.00	181.00	181.33	18.13	7043.52	46.13	46126	6.55
Núcleo 3	08/12/2023	95.00	95.20	95.10	95.10	146.00	146.00	145.00	145.67	14.57	7103.15	46.34	46343	6.52
Núcleo 4	08/12/2023	94.70	94.60	95.00	94.77	184.00	185.00	183.00	184.00	18.40	7053.44	66.47	66474	9.42
Núcleo 7	08/12/2023	95.20	95.00	94.60	94.93	180.00	181.00	181.00	180.67	18.07	7078.27	65.46	65460	9.25
Promedio													7.94	

4.1.4.2 Resistencia a Compresión

Tabla 8. Resultados del ensayo a compresión

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 2	8/12/2023	95,30	95,40	95,60	95,43	188,00	188,00	189,00	188,33	18,83	7153,03	250,40	250400	35,01
Núcleo 5	8/12/2023	94,80	94,10	94,40	94,43	185,00	188,00	186,50	186,50	18,65	7003,91	270,70	270700	38,65
Núcleo 6	8/12/2023	95,00	94,70	95,00	94,90	176,00	175,00	176,00	175,67	17,57	7073,30	296,30	296300	41,89
Promedio													38,52	

4.1.5 Resultado de densidades

4.1.5.1 Datos previos

Tabla 9. Datos generales de cada núcleo (espécimen).

Probeta	Fecha de ensayo	Diámetro 1 (mm)	Diámetro 2 (mm)	Diámetro 2 (mm)	Diámetro promedio (mm)	Longitud 1 (mm)	Longitud 2 (mm)	Longitud 3 (mm)	Longitud promedio (mm)	Longitud promedio (cm)	Área (mm ²)	Área (cm ²)
Núcleo 1	5/11/2023	94,9	95	94,9	94,93	210	210	211	210,33	21,03	7078,27	70,78
Núcleo 2	5/11/2023	95	94,5	94,6	94,70	208	209	207	208,00	20,80	7043,52	70,44
Núcleo 3	5/11/2023	94,6	94,7	95,8	95,03	159	178	177	171,33	17,13	7093,19	70,93
Núcleo 4	5/11/2023	94,7	94,8	94,7	94,73	209	209,5	208,5	209,00	20,90	7048,48	70,48
Núcleo 5	5/11/2023	94,3	94,7	94,8	94,60	214	216	216	215,33	21,53	7028,65	70,29
Núcleo 6	5/11/2023	94,7	94,9	95	94,87	200	199	199	199,33	19,93	7068,34	70,68
Núcleo 7	5/11/2023	94,5	94,7	94,8	94,67	196	206	205	202,33	20,23	7038,56	70,39

4.1.5.2 Resultados densidad aparente

Tabla 10. Densidad aparente sumergida de los núcleos.

Probeta	Fecha de ensayo	Masa (kg)	Masa aparente sumergida (kg)	Densidad del agua (kg/m^3)	Volumen (cm^3)	Densidad aparente sumergida (g/cm^3)
Núcleo 1	5/11/2023	3,654	2,1881	997,5	1469,6	2,486
Núcleo 2	5/11/2023	3,644	2,1690	997,5	1478,7	2,464
Núcleo 3	5/11/2023	2,907	1,7319	997,5	1178,0	2,468
Núcleo 4	5/11/2023	3,609	2,1378	997,5	1474,9	2,447
Núcleo 5	5/11/2023	3,658	2,1712	997,5	1490,5	2,454
Núcleo 6	5/11/2023	3,499	2,0914	997,5	1411,1	2,480
Núcleo 7	5/11/2023	3,537	2,1121	997,5	1428,5	2,476
Promedio						2,468

4.1.5.3 Resultados densidad real

Tabla 11. Densidad real de los núcleos

Probeta	Volumen (cm^3)	Peso (g)	Densidad (g/cm^3)
Núcleo 1	1488,80	3654	2,45
Núcleo 2	1465,05	3644	2,49
Núcleo 3	1215,30	2907	2,39
Núcleo 4	1473,13	3609	2,45
Núcleo 5	1513,50	3658	2,42
Núcleo 6	1408,95	3499	2,48
Núcleo 7	1424,14	3537	2,48
Promedio			2,45

4.2 Resultados de las propiedades hidráulicas de la capa de rodadura

4.2.1 Resultados humedad y absorción

Tabla 12. Porcentaje de humedad y absorción

Probeta	Procedencia de los núcleos	Masa Mo (g)	Masa Md (g)	Masa SSS (g)	Masa Sat (g)	Humedad (%)	Absorción (%)
Núcleo 1		3654	3582	3671	2188,1	2,01	2,42
Núcleo 2		3644	3564	3658	2169	2,24	2,64
Núcleo 3	Pallatanga-Cumandá	2907	2839	2927	1731,9	2,40	3,10
Núcleo 4		3609	3545	3624	2137,8	1,81	2,23
Núcleo 5		3658	3572	3671	2171,2	2,41	2,77
Núcleo 6		3499	3441	3512	2091,4	1,69	2,06
Núcleo 7		3537	3471	3548	2112,1	1,90	2,22
Promedio						2,06	2,49

4.2.2 Resultados de porcentaje de vacíos

Tabla 13. Porcentaje de vacíos

Probeta	Procedencia de los núcleos	Masa del agua absorbida (g)	Volumen de vacíos (cm3)	Volumen del cilindro aparente (cm3)	Vacíos (%)
Núcleo 1		89,00	89,18	1469,57	6,07
Núcleo 2		94,00	94,19	1478,70	6,37
Núcleo 3	Pallatanga-Cumandá	88,00	88,18	1178,05	7,48
Núcleo 4		79,00	79,16	1474,89	5,37
Núcleo 5		99,00	99,20	1490,53	6,66
Núcleo 6		71,00	71,14	1411,13	5,04
Núcleo 7		77,00	77,15	1428,47	5,40
Promedio					6,06

4.2.3 Resultados ensayo de infiltración

Datos del infiltrómetro

Tabla 14. Datos del infiltrómetro

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

Los datos presentados son aquellos con lo que se va a trabajar para el ensayo de infiltración a través del infiltrómetro de doble anillo.

Tabla 15. Coeficientes de escurrimiento presentes en la vía

Muestra	Pavimento rígido c (%)	Muestra	Pavimento rígido c (%)
1	97.4%	1	97.4%
2	97.0%	2	97.0%
3	80.4%	3	-
4	98.6%	4	98.6%
5	99.0%	5	99.0%
6	96.4%	6	96.4%
7	97.8%	7	97.8%
promedio	95.2%	promedio	97.7%
mínimo	80.4%	mínimo	96.4%
máximo	99.0%	máximo	99.0%

Al realizar el ensayo sobre una grieta o fisura se presenta un coeficiente de escurrimiento menor al promedio que se realizó sobre una superficie buena, obteniendo así un promedio de 95.2 [%], lo cual indica que el punto 3 es un valor no representativo y al omitir dicho valor se obtiene un coeficiente de escurrimiento representativo de 97.7 [%].

Tabla 16. Coeficiente de escurrimiento de acuerdo con el tipo de superficie

Tipos de Superficie	C norma min (%)	C norma máx. (%)	Pavimento rígido C promedio (%)
Cubierta metálica	0.95	0.95	95.2%
Cubierta con teja ordinaria o impermeabilizada	0.9	0.9	95.2%
Pavimentos asfálticos en buenas condiciones	0.85	0.9	95.2%
Pavimentos de hormigón	0.8	0.85	95.2%

Empedrados (juntas pequeñas)	0.75	0.8	95.2%
Empedrados (juntas ordinarias)	0.4	0.5	95.2%
Pavimentos de macadam	0.25	0.6	95.2%
Superficies no pavimentadas	0.1	0.3	95.2%
Parques y jardines	0.05	0.25	95.2%

Fuente: (Chow Ven, 2000)

Figura 18. Valores C para diversos tipos de superficie

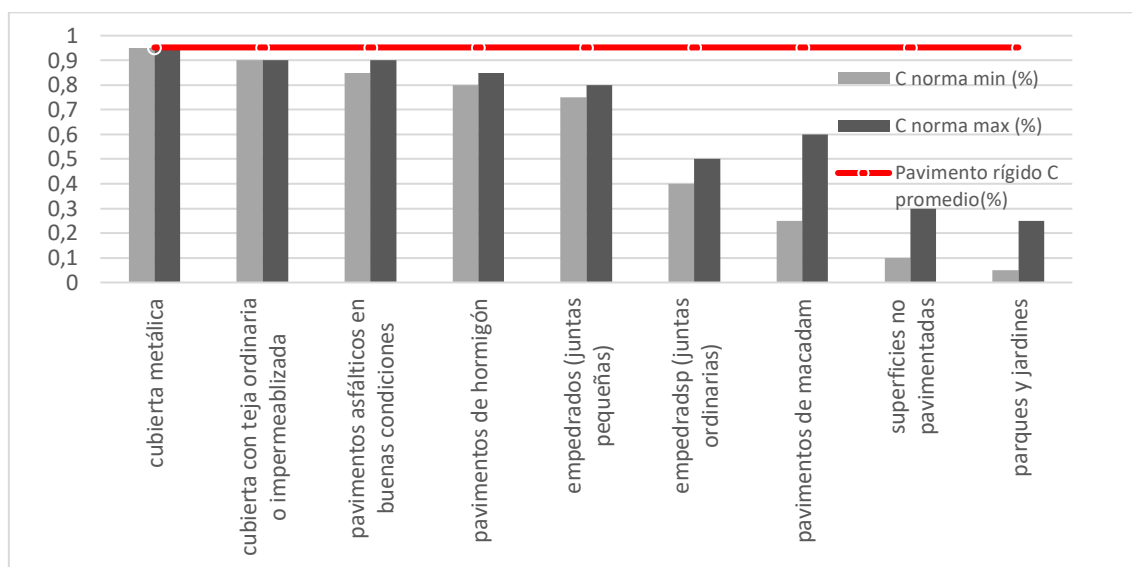
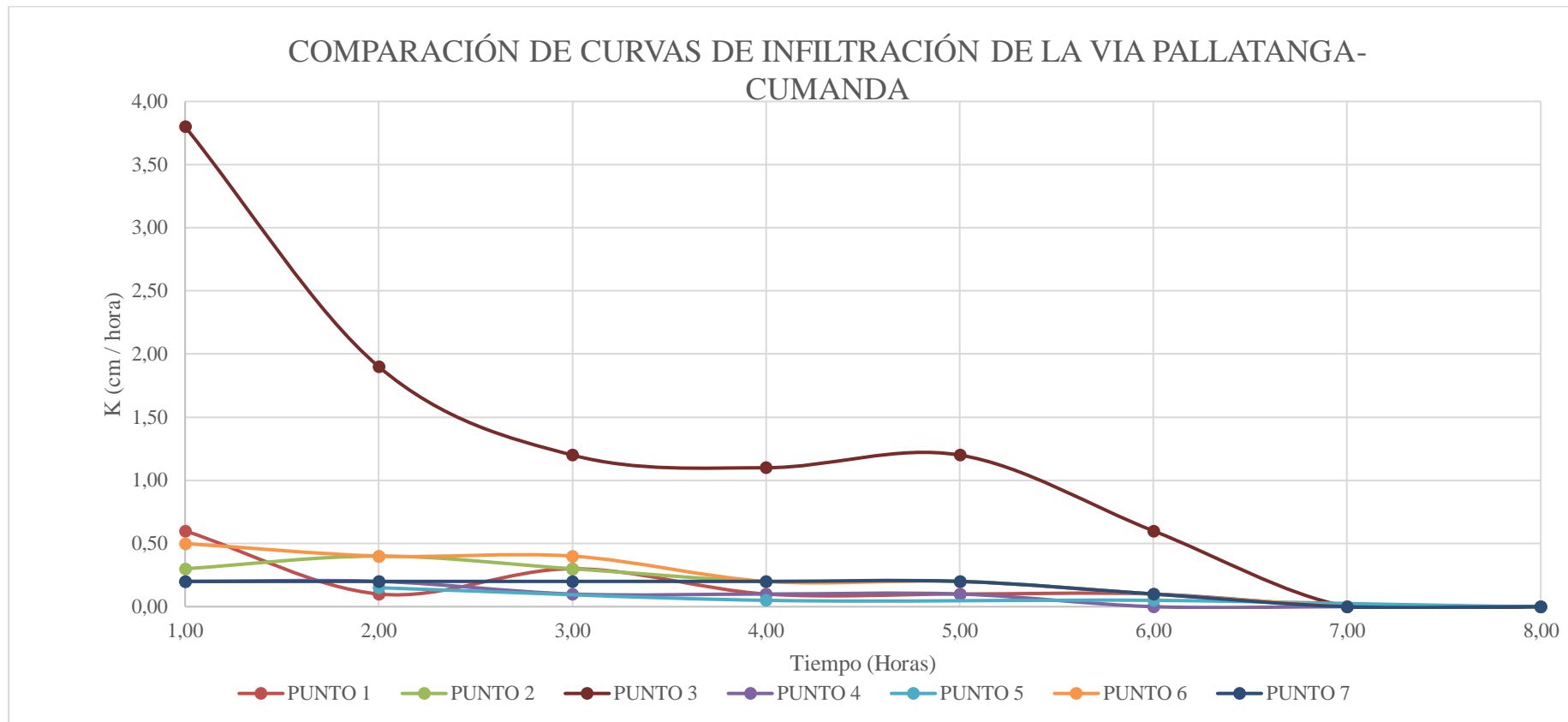


Figura 19. Comparación de curvas de infiltración



Cabe mencionar que durante el ensayo de cada punto se presentaron las siguientes condiciones climáticas, temperaturas entre 19 a 28 [°C] y un porcentaje de humedad entre 68 a 80 [%], con la presencia de llovizna de manera esporádica. La velocidad de infiltración se mantiene dentro de un rango de 0 a 0.60 [cm/hora]. Exceptuando la curva de infiltración del punto 3, la cual presenta una velocidad máxima de 3.80 [cm/hora], dicha velocidad se da por la presencia de una grieta transversal. A diferencia de los demás puntos, lo cuales presentan buenas condiciones en la calzada, es decir, sin fisuras, ni grietas. Todas las curvas de infiltración tienden a disminuir la velocidad de infiltración de manera gradual hasta llegar a 0

[cm/hora] por la presencia de capas impermeables presentes en la estructura del pavimento. Las curvas de infiltración de los puntos 1, 2 y 3 exhiben un comportamiento en el cual predomina la reducción de la velocidad, intercalada con incrementos, esto hace que se deduzca la presencia de vacíos y porosidad dentro de su estructura.

4.3 Resumen de resultados

Tabla 17. Resumen de los resultados obtenidos

CONDICIONES DEL PAVIMENTO		Buenas Condiciones	Buenas Condiciones	Buenas Condiciones	Buenas Condiciones	Buenas Condiciones	Buenas Condiciones	Buenas Condiciones	Malas Condiciones	PROMEDIO
VARIABLES	UNIDADES	M1	M2	M4	M5	M6	M7	M3		
1	Escurrimiento C	[%]	97.7	97.0	98,6	99.0	96.4	97.8	80.4	95.2
2	Densidad real *	[g/cm ³]	2.45	2.49	2.45	2.42	2.48	2.48	2.39	2.45
3	Densidad aparente *	[g/cm ³]	2.49	2.46	2.45	2.45	2.48	2.48	2.47	2.47
4	Humedad *	[%]	2.01	2.24	1.81	2.41	1.69	1.90	2.40	2.07
5	Absorción *	[%]	2.42	2.64	2.23	2.77	2.06	2.22	3.10	2.49
6	Vacíos *	[%]	6.07	6.37	5.37	6.66	5.04	5.40	7.48	6.06
7	Gravas **	[%]	-	40.74	47.65	-	-	-	-	44.20
8	Arenas **	[%]	-	55.96	48.35	-	-	-	-	52.16
9	Materia pasa tamiz 200 **	[%]	-	3.30	4.00	-	-	-	-	3.65
10	Compresión *	[MPa]		35.01		38.65	41.89			38.52
11	Tracción indirecta *	[MPa]	6.55		9.42			9.25	6.52	7.94
12	Macro textura	[mm]	0.15	0.14	0.12	0.12	0.14	0.13	0.11	0.13
13	Abrasión **	[%]	-	14.15	15.37	-	-	-	-	14.76

Nota: Núcleos (*), Subbase (**), y las variables sin el siguiente símbolo (*) hace referencia a la capa de rodadura.

4.4 Discusión

Dado los resultados obtenidos de los diferentes ensayos, cuyo propósito central es la evaluación de las principales condiciones físicas e hidráulicas del pavimento rígido existente en la vía Pallatanga-Cumandá por medio de extracción de núcleos, se discute que:

Según MTOP (2002), el promedio de los ensayos realizados de la resistencia a compresión debe ser igual o superior a la resistencia especificada de la vía que es de 35 [MPa]. De acuerdo con esta investigación se obtiene un valor promedio de resistencia a la compresión de la panamericana E 487 (vía Pallatanga-Cumandá) de 38.52 [MPa], lo que quiere decir que tiene una resistencia a la compresión relativamente alta, cumpliendo a lo estipulado en la norma. Según Cepeda Magaly et al. (2024), obtienen una resistencia a tracción indirecta de 7.96 [MPa] en un pavimento rígido de la Av. 9 de octubre de la ciudad de Riobamba, de acuerdo con la presente investigación se obtiene un valor promedio de 7.94 [MPa], lo que quiere decir que se tienen resultados similares a pesar de la ubicación de cada vía y según ASTM (2017), la resistencia a tracción generalmente es el 10 [%] de la resistencia a compresión, dando un valor de 3.85 [Mpa], cumpliendo la norma con un valor relativamente alto.

Según ASTM (2018b), la macro textura comprende una altura entre 0.508 a 1.2 [mm], obteniendo una altura de 0.131 [mm]. Mostrando un nivel bajo de fricción entre los neumáticos y la superficie de la vía, lo cual sugiere una reducción en el nivel de seguridad de la carretera.

Según INEN (2011c), establece que el desgaste máximo permitido debe ser del 50%. Se aprecia un promedio entre los ensayos de abrasión donde se determinó un valor de 14.76 [%], lo que representa que existe un menor deterioro debido a la fricción.

La densidad del concreto se encuentra dentro de un rango de 2.3 a 2.5 [g/cm^3], de acuerdo con esto, esta investigación muestra un resultado de 2.45 [g/cm^3] de densidad o gravedad específica; el porcentaje de absorción es de 2.49 [%], con un porcentaje de humedad de 2.07 [%] y porcentaje de vacíos de 6.06 [%]. De acuerdo con Cepeda Magaly et al. (2024), obtienen un valor de 2.41 [g/cm^3], de gravedad específica, 4.09 [%] de porcentaje de absorción. Lo que indica que en la vía Pallatanga - Cumandá se tiene un material bastante denso con un porcentaje de absorción menor a comparación de la vía 9 de octubre de pavimento rígido.

Se obtienen dos valores del coeficiente de escurrimiento, debido a que en el punto 3 se realizó el ensayo sobre una grieta, dicho valor no es representativo. El valor representativo para el coeficiente de escurrimiento es de 97.7 [%]. De acuerdo con la investigación de Cepeda Magaly et al. (2024) obtienen un coeficiente de escurrimiento de 90 [%], en la vía Av. 9 de octubre ubicada en la zona urbana de la ciudad de Riobamba. Mientras que en esta investigación arroja un resultado de 97.7 [%] en la vía Pallatanga-Cumandá, a diferencia de la ciudad de Riobamba.

5. CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se obtuvo como resultado que la vía Pallatanga-Cumandá con 42 [km]de longitud, la subbase pertenece de acuerdo con la SUCS a una arena limosa o SM en su gran mayoría, mientras que para la AASHTO pertenece al grupo A-1-a. Para las propiedades físicas se obtuvieron valores de ensayos como: Densidad con un promedio de 2.45 [g/cm^3], porcentaje de Vacíos con un promedio de 6.06 [%]. Resistencia a Compresión se obtuvo un promedio de 38.52 [MPa]. Para la Resistencia a Tracción indirecta con un promedio de 7.94 [MPa]. La macro textura arrojó una altura promedio de 0.13 [mm] y el porcentaje de abrasión de la vía fue de 14.76 [%].

En las propiedades hidráulicas de la capa de rodadura se obtuvieron los siguientes resultados: Porcentaje de Humedad con un promedio de 2.06 [%]. Porcentaje de Absorción con un promedio de 2.49 [%]. Coeficiente de Escurrimiento se obtuvo un promedio de 97.7 [%]. Los valores expuestos se encuentran dentro del rango de su respectiva normativa.

Concluyendo, la vía Pallatanga-Cumandá posee una resistencia alta a compresión, al igual que la resistencia a tracción indirecta. Indica que el hormigón presente en la vía posee buenas características físicas. Dando a entender que es un pavimento impermeable con capacidad de generar un escurrimiento superficial alto y una tasa de infiltración baja. Es decir, que la vía de estudio tiene un coeficiente de escurrimiento de 97.7 [%]. El cual es un valor alto de acuerdo con Chow Ven (2000).

5.2 Recomendaciones

Se recomienda utilizar equipo de protección personal y utilizar señalética al momento de realizar los ensayos In-situ, debido que al ser una Panamericana existe un alto riesgo de sufrir algún accidente.

Se recomienda que al realizar el infiltrómetro de doble anillo, los puntos a ensayar deben estar ubicados de manera estratégica, es decir, se debe colocar al costado de la losa de hormigón como en grietas en caso de existir, se debe realizar esto para vías de una edad temprana que presenta condiciones pésimas, con ello entender mejor sus propiedades hidráulicas.

Se recomienda realizar estudios de suelos previo a cualquier rehabilitación ya sea en tramos o en la vía entera de cualquier carretera, que tenga similitudes a la carretera de estudio.

6. BIBLIOGRAFÍA

- ACI. (2000). *Terminología del cemento y el hormigón*. Obtenido de <https://pdfcoffee.com/aci-116-pdf-free.html>
- Barraza Eléspuru, G. (04 de 2004). *RESITENCIA AL DESLIZAMIENTO EN PAVIMENTOS FLEXIBLES: PROPUESTA DE NORMA PERUANA*. Obtenido de <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/292652/Tesi;jsessionid=B30181943BD11F1919ADEF1F0A5488CB?sequence=2>
- Burgos Vasquéz, B. M. (2014). *ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE UN PAVIMENTO RÍGIDO Y UN PAVIMENTO FLEXIBLE PARA LA RUTA S/R: SANTA ELVIRA – EL ARENAL, EN LA COMUNA DE VALDIVIA*. Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2014/bmfcib957a/doc/bmfcib957a.pdf>
- Carrera Proaño, G. J., & Guachamín Gaibor, L. O. (28 de 01 de 2016). *Análisis comparativo de la resistencia al desgaste superficial por abrasión en pavimentos de hormigón, empleando fibras sintéticas de polipropileno virgen, usando dos tipos de curado: Inmersión y Envoltura plástica*. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/14054>
- Chow Ven, T. (2000). *Hidrología Aplicada*. Mc Graw Hill.
- Flores Escoto, R. E. (2008). *DESARROLLO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS PARA EL MUNICIPIO DE SANTA TECLA*. Obtenido de https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2097/1/Desarrollo_de_un_sistema_de_gestion_de_pavimentos_para_el_municipio_de_Santa_Tecla.pdf
- Higuera Bonilla, V. E. (01 de 2015). *EL ESTADO DE LAS VÍAS DE PAVIMENTO RÍGIDO Y SU INCIDENCIA EN LA CIRCULACIÓN DEL TRÁFICO PESADO DE LA PLANTA HOLCIM LATACUNGA DEL CANTÓN LATACUNGA PROVINCIA DE COTOPAXI*. Obtenido de <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/10005>
- Luis Erazo N. & Asociados Ltda. (1994). *DRENABILIDAD Y TIEMPOS DE SATURACION PARA BASES DE PAVIMENTOS*. Santiago: Camara chilena de la construcción.
- Luna Marallano, D. J. (2018). *Diseño Estructural del Pavimento Rígido para el mejoramiento de las Obras Viales Yauli - Oroya, 2016*. Obtenido de

- https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/13587/Luna_MDJ.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Príncipe Ramos, M. A. (2018). *Comportamiento del concreto permeable con 20% de vacíos utilizando agregado grueso de tres canteras - Huaraz*. Obtenido de http://repositorio.usanpedro.edu.pe/bitstream/handle/USANPEDRO/7952/Tesis_58052.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rodríguez Velásquez, E. (2009). *Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la Av. Luis Montero, distrito de Castilla*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11042/1350>
- Saucedo Vidal, A. (08 de 2010). *Concreto hidráulico permeable, una alternativa para la recarga de los mantos acuíferos del valle de México*. Obtenido de <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/529>
- Aquae Fundación. (2022, January 13). *La escorrentía: un proceso clave en el ciclo del agua*. Aquae Fundación. <https://www.fundacionaquae.org/wiki/escorrentia/amp/>
- ASTM. (2004). *Método de Ensayo Normalizado para la Obtención y el muestreo de Testigos y Vigas Aserrados de Hormigón*. American Society for Testing and Materials. <https://www.udocz.com/apuntes/34571/astmc42-04final1-extraccion-de-nucleos>
- ASTM. (2017). *ASTM C496-17 Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. American Society for Testing and Materials o ASTM International. https://www.academia.edu/34903117/Standard_Test_Method_for_Splitting_Tensile_Strength_of_Cylindrical_Concrete_Specimens_1
- ASTM. (2018a). *Standard Test Method for Infiltration Rate of Soils in Field Using Double-Ring Infiltrometer*. American Society for Testing and Materials o ASTM International. <https://www.astm.org/d3385-09.html>
- ASTM. (2018b, June 13). *ASTM E965-96 METODO ESTANDAR DE PRUEBA PARA LA MEDICION DE LA PROFUNDIDAD DE LA MACROTEXTURA DEL PAVIMENTO UTILIZANDO UNA TECNICA VOLUMETRICA*. American Society for Testing and Materials o ASTM International. <https://es.slideshare.net/danielpereira92560281/astm-e-965-96-traduzida-espanhol>
- Cepeda Magaly, Pazmiño, V., & Rosero Roberto. (2024). *Evaluación de las características hidráulicas y físicas del pavimento rígido en la Avenida 9 de Octubre ubicada en la*

- ciudad de Riobamba* [Civil, Universidad Nacional de Chimborazo].
<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/12448>
- Espinosa, J., Mite, F., Ochoa, S., & Izquierdo Julio. (2022). *Suelos Ecuador - Características, Uso y Manejo*. <https://www.researchgate.net/publication/360783844>
- INAMHI. (1982). *MAPA GEOLOGICO NACIONAL DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR*.
https://www.inamhi.gob.ec/docum_institucion/MapasBiblioteca/Geolog-Ecuador-25pc.pdf
- INEN. (2010a). *Áridos. Determinación de la masa unitaria (Peso Volumétrico) y el porcentaje de vacíos*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
https://www.academia.edu/16107439/NTE_INEN_0858_%C3%81ridos_Determinaci%C3%B3n_de_la_masa_unitaria_peso_volum%C3%A9trico_y_el_porcentaje_de_vac%C3%ADos
- INEN. (2010b). *HORMIGON DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECIMENES CILINDRICIOS DE HORMIGON DE CEMENTO HIDRAULICO*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
<https://ia802908.us.archive.org/7/items/ec.nte.1573.2010/ec.nte.1573.2010.pdf>
- INEN. (2010c, October). *Aridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
<https://ia902907.us.archive.org/27/items/ec.nte.0857.2010/ec.nte.0857.2010.pdf>
- INEN. (2011a). *ARIDOS PARA HORMIGON. DETERMINACION DEL CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
<https://www.studocu.com/ec/document/universidad-central-del-ecuador/ensayo-de-materiales/862-normas-nte-inen-862-para-los-ensayos-respectivos-de-los-agregados-gruesos-y/31180419>
- INEN. (2011b, May). *Áridos. Análisis granulométrico en los áridos. Fino y grueso*. . Instituto Ecuatoriano de Normalización.
<https://ia902909.us.archive.org/25/items/ec.nte.0696.2011/ec.nte.0696.2011.pdf>
- INEN. (2011c, June). *Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de los Ángeles*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
<https://archive.org/details/ec.nte.0860.2011/page/n3/mode/1up>

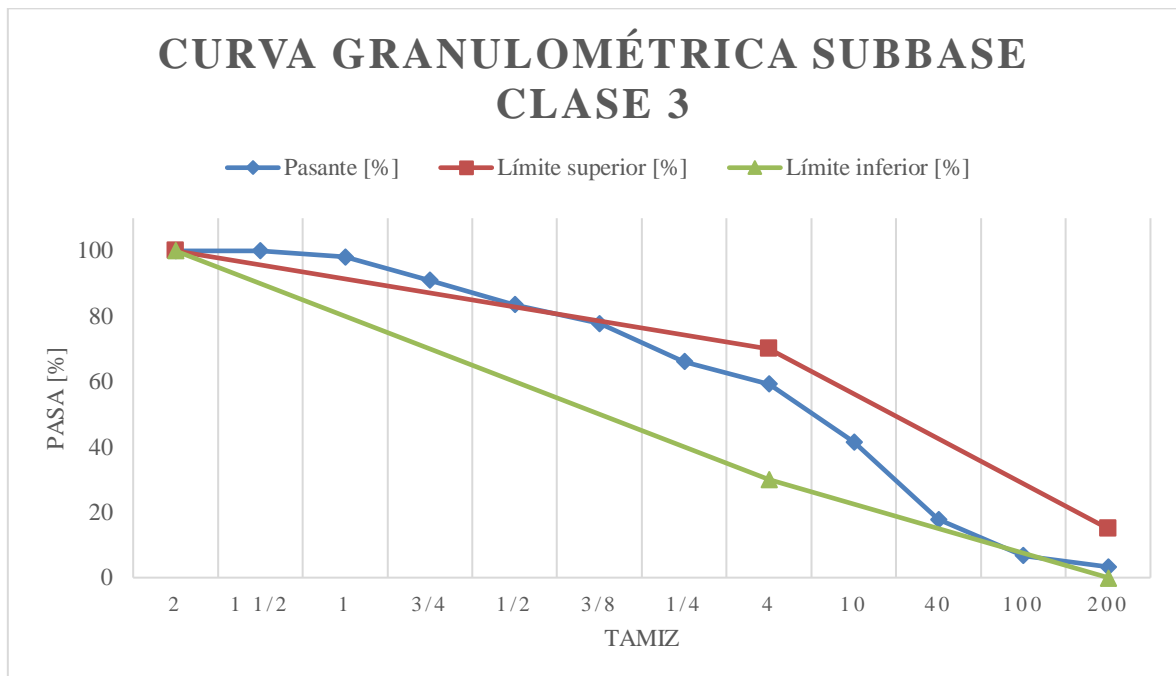
- Institutodelagua.es. (2024, March 18). *Coeficiente de Escurrimiento Hidrológico: Clave para Entender la Hidrología*. Instituto Del Agua. <https://institutodelagua.es/hidrologia/coeficiente-de-escurrimiento-hidrologicohidrologia/>
- Leiva Villacorta, F., & Vargas Nordbeck, A. (2014, September 30). *Análisis estocástico de pavimentos de concreto con refuerzo continuo*. Universidad de Costa Rica. <https://doi.org/10.15517/iv.v16i28.14464>
- Maldonado Yandry. (2021, October 24). *Pavimento: Tipos, propiedades, características y usos*. GeologiaWeb. <https://geologiaweb.com/materiales/pavimento/>
- Massón Alejandra. (2019, December 26). *Pésimo estado de la vía Balbanera-Pallatanga-Cumandá*. Diario Los Andes. Pésimo estado de la vía Balbanera-Pallatanga-Cumandá
- Mocondino Jhon. (2020, March 11). *¿Qué son los pavimento y cómo se clasifican?* LinkedIn. <https://es.linkedin.com/pulse/qu%C3%A9-son-los-pavimento-y-c%C3%B3mo-se-clasifican-jhonn-jairo-mocondino-r->
- MTOP. (2002). *ESPECIFICACIONES GENERALES ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES DE CAMINOS Y PUENTES*. https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR_Chimborazo_Cumanda_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf
- Osorio, J. D. (2020, May 26). *DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO: CONCEPTOS BÁSICOS*. 360 En Concreto. <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/dise-no-mezclas-de-concretoconceptos-basicos>
- Romo Proaño, M. (2008, October). *Temas de hormigón armado*. UDocz. <https://www.udocz.com/embed/dise-o-en-hormigon-armado-marcelo-romo-proa-ol>

7. ANEXOS

Anexo 1. Granulometría de la subbase clase 3, punto 2

Abertura en [mm]	Tamiz ASTM [in]	Peso Retenido [g]	Retiene [%]	Acumulado [%]	Pasante [%]	Tipo de material	Límite superior [%]	Límite inferior [%]	Arenas [%]	Gravas [%]
50.00	2	0.00	0.00	0	100.00		100	100		
37.50	1 1/2	0.00	0.00	0.00	100.00	Grava Gruesa	100	100		
25.00	1	19.00	1.90	1.90	98.10					
19.00	3/4	71.00	7.11	9.01	90.99					
12.5	1/2	75.00	7.51	16.52	83.48					
9.5	3/8	57.00	5.71	22.22	77.78	Grava Fina	70	30	55.96%	40.74%
6.3	1/4	117.00	11.71	33.93	66.07					
4.75	4	68.00	6.81	40.74	59.26	Arena Gruesa				
2	10	177.00	17.72	58.46	41.54	Arena Fina				
0.425	40	237.00	23.72	82.18	17.82					
0.15	100	111.00	11.11	93.29	6.71					
0.075	200	34.00	3.40	96.70	3.30					
	Bandeja Total	33.00	3.30	100.00	0		15	0		

Anexo 2. Curva granulométrica subbase Punto 2



Datos in situ del ensayo del infiltrómetro de doble anillo

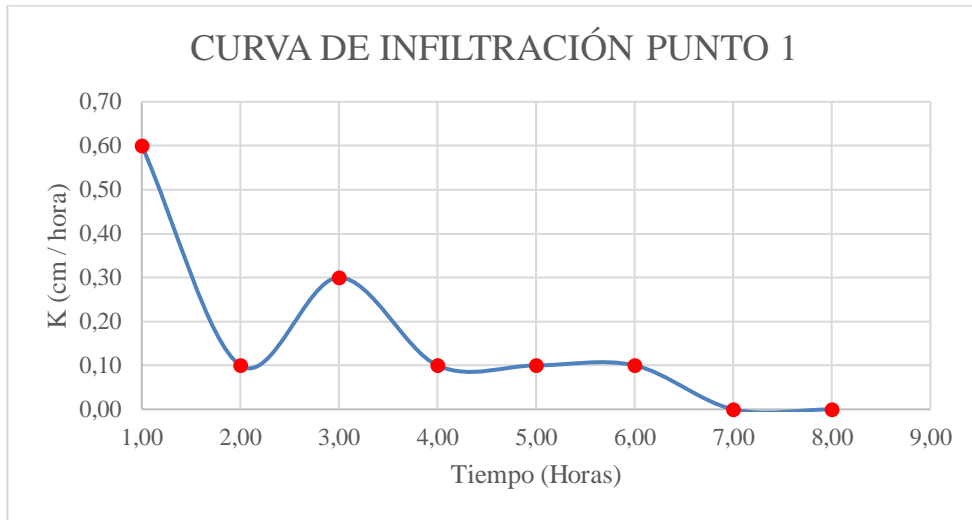
Anexo 3. Resultados del punto 1

Fecha de ensayo:	17/1/2024		
Ciudad:	Pallatanga-Cumandá		
Lugar:	Panamericana E 487		
Estado del Clima:	NUBLADO	Estado de la vía:	BUENA
Coordenada del punto (UTM):		ESTE	725437,10
		NORTE	9776440,96
Tipo de pavimento:	Rígido		
INTERVALO	TIEMPO (horas)	h (cm)	
-	9:00 a. m.	0,00	10,00
9:00 a. m.	10:00 a. m.	1,00	10,60
10:00 a. m.	11:00 a. m.	1,00	10,70
11:00 a. m.	12:00 p. m.	1,00	11,00
12:00 p. m.	1:00 p. m.	1,00	11,10
1:00 p. m.	2:00 p. m.	1,00	11,20
2:00 p. m.	3:00 p. m.	1,00	11,30
3:00 p. m.	4:00 p. m.	1,00	11,30
4:00 p. m.	5:00 p. m.	1,00	11,30

Anexo 4. Resultados del punto 1

h (cm)	delta h (cm)	delta h acumulado	Tiempo (h)	T acum (h)	K (cm/hora)
10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10,60	0,60	0,60	1,00	1,00	0,60
10,70	0,10	0,70	1,00	2,00	0,10
11,00	0,30	1,00	1,00	3,00	0,30
11,10	0,10	1,10	1,00	4,00	0,10
11,20	0,10	1,20	1,00	5,00	0,10
11,30	0,10	1,30	1,00	6,00	0,10
11,30	0,00	1,30	1,00	7,00	0,00
11,30	0,00	1,30	1,00	8,00	0,00
Sumatoria delta h (cm):					1,30
Volumen de Infiltración (cm ³):					638,14
Fracción de infiltración (%):					2,6%
Coeficiente de escurrimiento C (%):					97,4%

Anexo 5. Curva de infiltración del punto 1



Anexo 6. Pesaje para la determinación de densidad aparente.



Anexo 7. Ensayo de resistencia a tracción indirecta.



Anexo 8. Especímenes con las caras cortadas



Anexo 9. Ensayo de infiltración



Anexo 10. *Ensayo para resistencia a compresión*



Anexo 11. Ensayo de macro texturas