



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

“Características físicas, mecánicas e hidráulicas evaluadas en el pavimento articulado en la cabecera cantonal de Sucúa, provincia de Morona Santiago”

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil

Autor:

Jara Castro, Oscar Alexander
Peralta Perez, Angela Lizeth

Tutor:

Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza, Mgs

Riobamba, Ecuador. 2025

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, **Oscar Alexander Jara Castro**, con cédula de ciudadanía **1400644454**, **Angela Lizeth Peralta Perez**, con cédula de ciudadanía **1401182355**, autores del trabajo de investigación titulado: **“CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, MECÁNICAS E HIDRÁULICAS EVALUADAS EN EL PAVIMENTO ARTICULADO EN LA CABECERA CANTONAL DE SUCÚA, PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO”**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

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

En Riobamba, 20 de junio de 2025.

Oscar Jara

Oscar Alexander Jara Castro

C.I: 1400644454

Angela Peralta

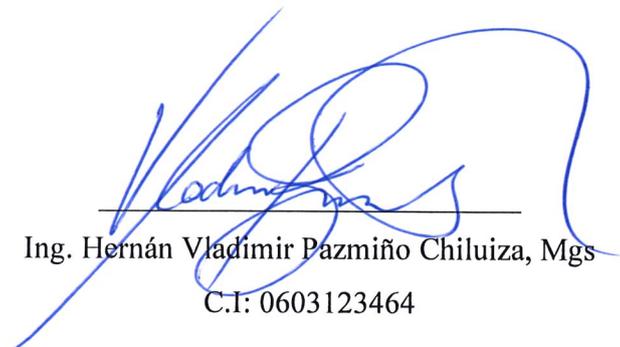
Angela Lizeth Peralta Perez

C.I: 1400644454

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: **“CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, MECÁNICAS E HIDRÁULICAS EVALUADAS EN EL PAVIMENTO ARTICULADO EN LA CABECERA CANTONAL DE SUCÚA, PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO”**, bajo la autoría de **Oscar Alexander Jara Castro** y **Angela Lizeth Peralta Perez**; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 20 días del mes de junio de 2025



Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza, Mgs
C.I: 0603123464

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, MECÁNICAS E HIDRÁULICAS EVALUADAS EN EL PAVIMENTO ARTICULADO EN LA CABECERA CANTONAL DE SUCÚA, PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO**”, presentado por **Oscar Alexander Jara Castro**, con cédula de identidad número **1400644454** y **Angela Lizeth Peralta Perez**, con cédula de identidad número **1401182355** bajo la tutoría de Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluzza, Mgs; certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 25 de junio del 2025

Ing. Carlos Saldaña, Mgs.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Jorge Núñez, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



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





CERTIFICACIÓN

Que, **JARA CASTRO OSCAR ALEXANDER** con CC: **1400644454** y **PERALTA PEREZ ANGELA LIZETH** con CC: **1401182355**, estudiantes de la Carrera **INGENIERÍA CIVIL**, Facultad de **INGENIERIA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, MECÁNICAS E HIDRÁULICAS EVALUADAS EN EL PAVIMENTO ARTICULADO EN LA CABECERA CANTONAL DE SUCÚA, PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO**", cumple con el 8 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **COMPILATIO**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 23 de junio de 2025



Ing. Vladimir Pazmiño
TUTOR

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis 2 grandes pilares, mis padres, Gonzalo y Ubaldina quienes son mi guía y mi apoyo, mi fortaleza durante todo este proceso educativo, sus consejos, enseñanzas y su gran ejemplo han sido mi faro para poder cumplir todas mis metas y nunca darme por vencido.

De igual manera dedico este trabajo a mis hermanas, Erika y Heidi, y a mi sobrina Valentina que siempre han estado a mi lado, siempre me han apoyado y han sido mi fortaleza para seguir adelante.

Finalmente, a mi novia Angela que ha estado muchos años conmigo apoyándome en este camino, en las buenas y en las malas y nunca ha permitido que me rinda, siempre ha sido mi gran apoyo.

Oscar A. Jara C.

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a Dios, porque sin él nada sería posible, a mis padres, Mónica y Ramiro, por ser el fundamento de mi resiliencia y el motor de mi perseverancia, quienes han hecho sacrificios para que yo pueda cumplir mis sueños. A mi familia, personas quienes fueron refugio y motivación para seguir adelante, sin su amor este logro no habría sido posible.

Por último, a mi pareja Oscar, mi compañero en este camino, quien vivió conmigo momentos de estrés y angustia, con paciencia me ha ayudado a no darme por vencida. Esta tesis no es solo el resultado de años de estudio, sino también del apoyo incondicional de quienes creyeron en mi incluso cuando yo dudaba.

Angela L. Peralta P.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme vida, salud y sabiduría para poder cumplir con mi etapa académica, por permitirme tener a mis padres, hermanas y a mi sobrina; seres valientes y grandes ejemplos para mí, que con su amor y paciencia han estado siempre a mi lado apoyándome.

A mi pareja Angela por brindarme su apoyo y sabiduría para poder cumplir mis metas y sueños, por estar siempre a mi lado gracias.

A mi tutor Ing. Vladimir Pazmiño un gran profesional y excelente persona que nos brindó su guía, conocimiento y paciencia en esta etapa universitaria.

Al Ing. Alfonso Arellano y al equipo de laboratorio por darnos toda su enseñanza, guía y colaboración para cumplir con esta investigación.

Finalmente agradecer a mis amigos que empezaron este viaje conmigo desde nivelación que fueron un pilar fundamental para hoy poder finalizar esta etapa académica, quienes me apoyaron siempre en todo momento, Gracias

Gracias UNACH.

Oscar A. Jara C.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios quien puso en mi camino esta oportunidad universitaria, por brindarme salud y sabiduría para poder culminar esta etapa y estar conmigo en cada paso, por permitirme contar con mi familia, quienes son mi mayor fuente de fortaleza y motivación, y por cada una de las personas que he conocido en este camino.

A mi pareja Oscar por brindarme su apoyo y motivarme a cumplir mis sueños, por ser mi compañero de vida y una persona fundamental para lograr la presentación de este trabajo.

Agradezco también a mi tutor Ing. Vladimir Pazmiño por su paciencia y su guía en este trabajo de investigación, no solo un gran profesional, sino un ejemplo a seguir en la vida profesional.

Al Ing. Alfonso Arellano y cada uno de los miembros del equipo de laboratorio por brindarnos su acompañamiento y su guía en cada paso de esta investigación.

Finalmente agradecer a mis amigos, quienes he conocido en este tiempo estudiantil, por todos los momentos, penas y alegrías compartidas, gracias a ustedes ha sido fácil sobrellevar este proceso académico.

Angela L. Peralta P.

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUDITORIA	
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	
ÍNDICE DE ANEXOS	
RESUMEN	
ABSTRACT	

CAPÍTULO I. INTRODUCCION.....	17
1.1 Zona de Estudio	17
1.2 Antecedentes de investigación	17
1.3 Planteamiento del problema.....	19
1.4 Justificación	19
1.5 Objetivos	21
1.5.1 Objetivo General.....	21
1.5.2 Objetivos específicos	21
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	22
2.1 Pavimento Articulado	22
2.1.1 Aspectos Generales.....	22
2.1.2 Elementos Pavimento Articulado	22
2.2 Propiedades físicas del pavimento articulado	23
2.2.1 Granulometría.....	23
2.2.2 Límites de Atterberg	23
2.2.3 Humedad.....	23
2.2.4 Densidad	24
2.2.5 Grado de Compactación	24
2.2.6 Absorción	24
2.3 Propiedades mecánicas del pavimento articulado.....	25
2.3.1 Módulo de Rigidez	25
2.3.2 Módulo de Young.....	25
2.3.3 Relación de Soporte de California.....	25
2.3.4 Resistencia en Adoquines	25
2.3.5 Degradación del árido grueso	25
2.4 Propiedades hidráulicas del pavimento articulado.....	26
2.4.1 Infiltración	26
2.4.2 Permeabilidad	26
2.4.3 Coeficiente de escorrentía	26
CAPÍTULO III. METODOLOGIA.....	27

3.1	Diagrama de metodología	27
3.2	Tipo de Investigación.....	27
3.3	Diseño de Investigación.....	27
3.4	Técnicas de recolección de Datos	28
3.4.1	Ensayos de laboratorio.....	28
3.4.2	Ensayos In situ.....	29
3.5	Definición de la muestra	34
3.5.1	Población	34
3.5.2	Muestra	34
3.5.3	Criterios de selección.....	35
3.5.4	Tipo de muestra	35
3.5.5	Ubicación de la muestra	35
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		37
4.1	Propiedades físicas del pavimento articulado	37
4.1.1	Granulometría.....	37
4.1.2	Límites de Atterberg.....	40
4.1.3	Compactación Proctor estándar	42
4.1.4	Densidades.....	46
4.1.5	Humedades	48
4.1.6	Densidades y absorción de materiales granulares	49
4.1.7	Grado de compactación	50
4.2	Propiedades mecánicas del pavimento articulado.....	52
4.2.1	Módulo de Young, Modulo de rigidez y CBR	52
4.2.2	Desgaste del agregado grueso de la base granular	54
4.2.3	Resistencia a la compresión de adoquines.....	55
4.2.4	Absorción en adoquines	56
4.3	Propiedades Hidráulicas del pavimento articulado.....	57
4.3.1	Permeabilidad	57
4.3.2	Infiltración	57
4.3.3	Análisis del coeficiente de escorrentía	60
4.4	Relación entre las propiedades físico-mecánicas y propiedades hidráulicas del pavimento articulado	62
4.4.1	Relación entre el CBR y Esguerrimiento	62
4.4.2	Relación entre CBR e Infiltración	63
4.4.3	Relación entre el Grado de compactación y la Infiltración	64
4.4.4	Relación entre CBR (%) y el Grado de compactación	65
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		66
5.1	Conclusiones.....	66
5.2	Recomendaciones	67
BIBLIOGRAFÍA		69
ANEXOS		74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores para el coeficiente de escorrentía en función de la superficie.....	20
Tabla 2. Ubicación de puntos de muestreo.....	35
Tabla 3. Resumen del ensayo granulométrico - Base.....	37
Tabla 4. Resumen del ensayo granulométrico- Sub Rasante.....	38
Tabla 5. Resumen de las características de límites de consistencia de las Bases.....	41
Tabla 6. Resumen de las características de límites de consistencia de las Sub-Rasantes ...	41
Tabla 7. Resumen del ensayo Proctor estándar realizado en las bases.....	42
Tabla 8. Resumen del ensayo Proctor estándar realizado en las Sub-Rasantes	43
Tabla 9. Resumen de densidades de la Base del pavimento articulado.....	47
Tabla 10. Resumen de densidades de la Sub-rasante del pavimento articulado	47
Tabla 11. Resumen de las humedades en la base del pavimento articulado	49
Tabla 12. Resumen de las humedades en la Sub-Rasante del pavimento articulado	49
Tabla 13. Densidad y Absorción de la Base y Sub-Rasante.....	49
Tabla 14. Grado de compactación correspondiente a la Base y Sub-Rasante del pavimento articulado	51
Tabla 15. Datos obtenidos mediante el GeoGauge y cálculo del CBR	53
Tabla 16. Datos obtenidos mediante el GeoGauge y cálculo del CBR	53
Tabla 17. Porcentaje de abrasión del agregado grueso de la Base	54
Tabla 18. Resistencia a la compresión de lote de 10 adoquines.....	55
Tabla 19. Absorción a lote de 10 adoquines.....	56
Tabla 20. Resumen del ensayo de infiltración en el pavimento articulado	57
Tabla 21 . Características del pavimento articulado.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio	17
Ilustración 2. Diagrama de flujo de la metodología	27
Ilustración 3. Esquema grafico del GeoGauge.	30
Ilustración 4. Elementos que conforman el equipo del cono de arena.	31
Ilustración 5. Caucho colocado en la base del infiltrómetro.	32
Ilustración 6. Caucho tipo burlete alambrado 341.....	32
Ilustración 7. Esquema grafico del infiltrómetro.....	32
Ilustración 8. Curvas granulométricas correspondiente a las bases	39
Ilustración 9. Curvas granulométricas correspondiente a las sub-rasantes	39
Ilustración 10. Limite liquido correspondiente a la Sub-Rasantes y Bases.....	40
Ilustración 11. Limite Plástico y Limite Liquido correspondiente a la Sub-Rasante	42
Ilustración 12. Densidad Máxima seca de la Base y Sub-Rasante	43
Ilustración 13. Curvas de compactación de la Base	45
Ilustración 14. Curvas de compactación de la Sub-Rasante.....	45
Ilustración 15. Densidades de la capa Sub-rasante.....	46
Ilustración 16. Densidades de la capa Base.....	46
Ilustración 17. Humedad Natural y Humedad Óptima de la capa Sub-rasante.	48
Ilustración 18. Humedad Natural y Humedad Óptima de la capa Base.	48
Ilustración 19. Absorción de las capas granulares.....	50
Ilustración 20. Grado de compactación-Base.....	51
Ilustración 21. Grado de compactación-Sub-Rasante.....	51
Ilustración 22. Grado de compactación correspondiente a la base y sub-rasante.....	52
Ilustración 23. Módulo de Young obtenido con el Geogauge.....	54
Ilustración 24. Desgaste del agregado grueso correspondiente a la base	55
Ilustración 25. Resistencia a la compresión del adoquín.....	56
Ilustración 26. Curvas de infiltración de las 8 muestras realizadas.....	59
Ilustración 27. Coeficiente de escurrimiento de cada muestra	61
Ilustración 28. Comparación entre el "C" obtenido y el "C" propuesto por la norma.....	61
Ilustración 29. Comparación entre el coeficiente de escurrimiento y el CBR (%)	62
Ilustración 30. Diagrama de relación entre el CBR y el Escurrimiento	62
Ilustración 31. Comparación entre la infiltración (%) y el CBR (%).....	63
Ilustración 32. Diagrama de relación entre el CBR y la Infiltración.....	64
Ilustración 33. Comparación entre el grado de compactación (%) y la infiltración (%).....	64
Ilustración 34. Diagrama de relación entre la compactación y la Infiltración.....	65
Ilustración 35. Comparación entre el grado de compactación (%) y el CBR (%).....	65
Ilustración 36. Diagrama de relación entre la compactación y el CBR (%).....	66

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ensayos realizados	76
Anexo 2. Formato de cálculo para el ensayo de granulometría.....	77
Anexo 3. Formato de cálculo para el ensayo de Limites de Atterberg.....	78
Anexo 4. Formato de cálculo para el ensayo Proctor Estándar	79
Anexo 5. Formato de cálculo para el ensayo de gravedad específica y absorción.....	80
Anexo 6. Formato de cálculo para el ensayo de abrasión máquina de los ángeles	81
Anexo 7. Formato de cálculo para el ensayo de absorción y resistencia de adoquines.....	82
Anexo 8. Formato de cálculo para el ensayo de Cono de Arena.....	83
Anexo 9. Resumen de datos obtenidos en los diferentes ensayos realizados.....	85

RESUMEN

A medida que el uso de pavimentos articulado se ha incrementado en diversas aplicaciones en zonas urbanas y rurales, surge una mayor necesidad de comprender como la interacción del agua puede afectar sus características y, por ende, su rendimiento y durabilidad. Por lo tanto, el propósito de esta investigación es determinar y establecer las relaciones de las características físico-mecánicas con el comportamiento hidráulico del pavimento articulado en la cabecera cantonal de la ciudad de Sucúa. Medidos a través de ensayos de laboratorio e In Situ, además del uso de métodos de sondeos. Los hallazgos de este trabajo indican que la estructura del pavimento en la zona de estudio se conformó por una sub-rasante, base clase 1 tipo B, cama de arena y una capa de rodadura de adoquín tipo Florencia, cuya resistencia a la compresión es óptima. Igualmente, al analizar las características físicas mediante ensayos de laboratorio se identificó que cumplen con los parámetros establecidos en la norma, sin embargo, se obtuvo propiedades In Situ de compactación y CBR que no alcanzaron lo permitido. El análisis de las propiedades hidráulicas indica un coeficiente de escorrentía que se apega al comportamiento de un pavimento tipo empedrado de la normativa EIOS; dicha normativa no ha sido actualizada desde 1992. Asimismo, la relación de las propiedades físico – mecánicas con las hidráulicas evidencio una tendencia inversamente proporcional entre el CBR y grado de compactación en función de la infiltración, es decir a un mayor grado de compactación y un %CBR alto, menor es la infiltración en las capas de la vía. Los hallazgos de este estudio servirán como aporte de datos para una futura actualización de la norma EIOS, a partir de ello se podrá diseñar sistemas de drenaje más eficientes adaptados a las propiedades hidráulicas del pavimento articulado, optimizando su capacidad de infiltración y reduciendo riesgos de daños en la vía. Además, los datos obtenidos sobre resistencia mecánica servirán para establecer nuevos criterios de evaluación de daños facilitando el monitoreo y mantenimiento oportuno de estas estructuras de entornos característicos de la amazonia ecuatoriana.

Palabras claves: Pavimento articulado, CBR, coeficiente de escurrimiento, hidráulicas, físicas, mecánicas.

ABSTRACT

As the use of interlocking pavements has increased in various applications, both in urban and rural areas, there is a growing need to understand how water interaction affects their characteristics and, consequently, their performance and durability. Therefore, the purpose of this research is to determine and establish the relationships between the physical-mechanical characteristics and the hydraulic behavior of interlocking pavement in the cantonal head of the city of Sucúa. It was necessary to measure these characteristics through laboratory and in-situ tests, as well as the use of probing methods. The findings of this study indicate that the pavement structure in the study area consists of a subgrade, Class 1 Type B base, sand bed, and a wearing course of Florencia-type pavers, which have optimal compressive strength. Additionally, when analyzing the physical characteristics through laboratory tests, it was identified that they meet the parameters established in the standard; however, in-situ properties of compaction and CBR did not reach the permitted levels. The analysis of hydraulic properties indicates a runoff coefficient that aligns with the behavior of a cobblestone-type pavement, as per the EIOS standard, which has not been updated since 1992. Furthermore, the relationship between the physical-mechanical properties and the hydraulic properties exhibits an inversely proportional trend between the CBR and the degree of compaction related to infiltration. In other words, a higher degree of compaction and a higher %CBR result in lower infiltration in the layers of the roadway. The findings of this study will serve as a data contribution for a future update of the EIOS standard. From this, more efficient drainage systems can be designed and adapted to the hydraulic properties of interlocking pavement, optimizing its infiltration capacity and reducing the risk of damage to the roadway. Additionally, the data obtained on mechanical resistance will help establish new criteria for damage assessment, facilitating timely monitoring and maintenance of these structures in the characteristic environments of the Ecuadorian Amazon.

Keywords: Articulated pavement, CBR, runoff coefficient, hydraulics, physics, mechanics



Reviewed by:

Mgs. Jessica María Guaranga Lema

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 0606012607

CAPÍTULO I. INTRODUCCION

1.1 Zona de Estudio

El cantón Sucúa se encuentra ubicado en la región amazónica del Ecuador, en la provincia de Morona Santiago. Cuenta con una altitud de 900 metros sobre el nivel del mar con un clima tropical húmedo lluvioso, una de sus características climáticas es que a lo largo del año cuenta con lluvias abundantes con una temperatura promedio de 21°C. Se encuentra a 15 kilómetros de la ciudad de Macas el cual es la capital de la provincia. La ciudad de Sucúa cuenta con una población estimada de 23540 habitantes (INEC, 2022).

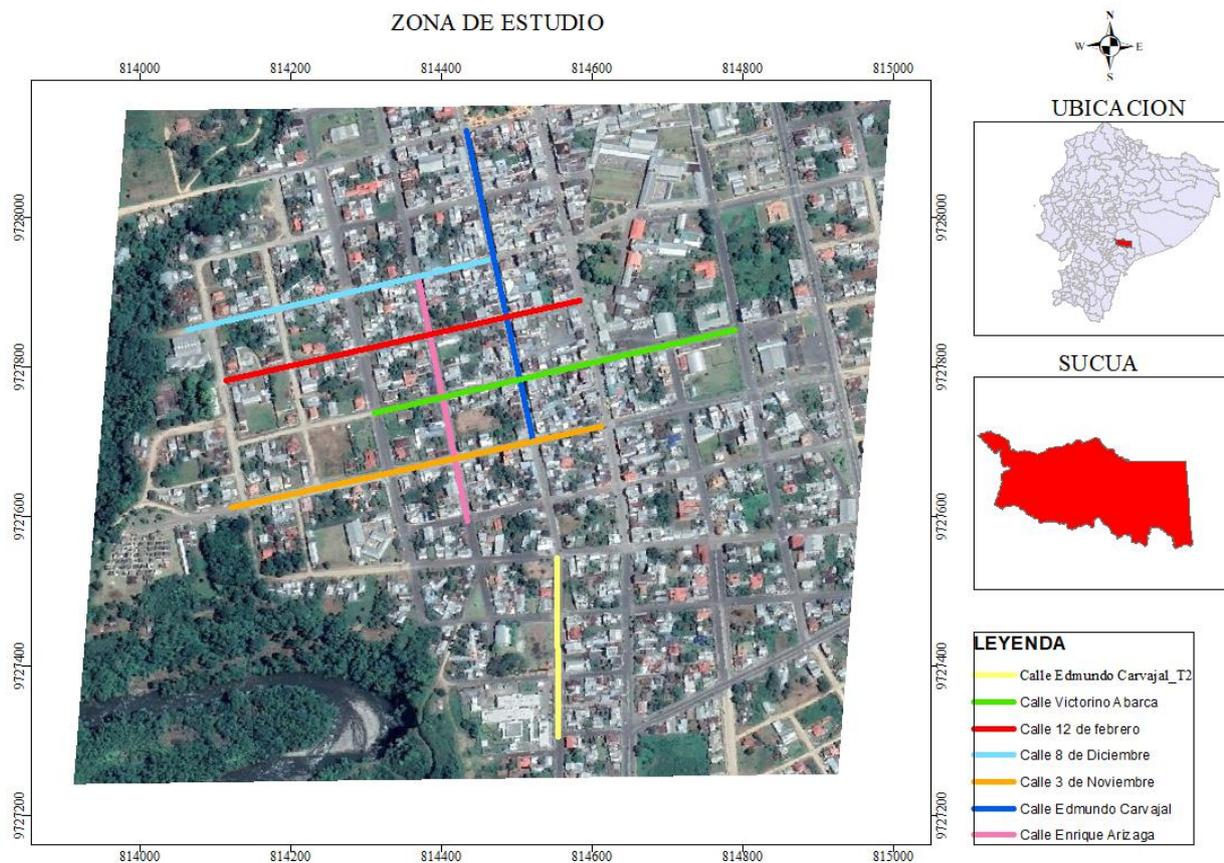


Ilustración 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio

Para el análisis del proyecto de investigación se consideró un total de 3.28km de extensión correspondiente a pavimento tipo adoquinado

1.2 Antecedentes de investigación

Las carreteras son fundamentales para el desarrollo social y económico de cualquier comunidad. Se comportan como arterias que facilitan la movilidad y el acceso a recursos y servicios, permitiendo de tal manera una mejor conectividad entre regiones

y la reducción de costos de transporte. En general los pavimentos son estructuras complejas constituidas por una serie de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y se construyen técnicamente con materiales seleccionados con características específicas y adecuadamente compactados (Mora & Arguelles, 2015).

En las últimas décadas, el proceso de urbanización en las grandes ciudades se ha intensificado progresivamente. A este ritmo, la falta de planificación combinada con la ocupación desordenada del terreno resultó en altos índices de impermeabilización que comprometieron los sistemas de drenaje durante los picos de inundación (Ono et al., 2017). A nivel nacional, los pavimentos articulados se han consolidado como una opción destacada para la pavimentación de vías con tráfico vehicular. Los pavimentos articulados ofrecen las ventajas del concreto y de los pavimentos flexibles de asfalto. Los adoquines tienen alta resistencia a la abrasión y al deslizamiento. Al igual que los pavimentos flexibles de asfalto permite deformaciones menores sin agrietamiento de la superficie (Sanchez Castillo, 2003).

El aumento de las superficies construidas y la densificación del uso del suelo asociado al fenómeno de urbanización implican una reducción de los espacios verdes y una impermeabilización del suelo y consecuentemente una disminución de la infiltración del agua en el suelo y un aumento del escurrimiento superficial (Lanzaro & D'Elia, 2021). Dicho cambio de la escorrentía superficial tiene como consecuencia, un aumento del riesgo de inundaciones, además de la contaminación de la calidad del agua, al no drenarse adecuadamente, y el colapso de infraestructura básica de redes subterráneas (pluvial, cloacal, de agua potable, etc).

Por ser vías con características urbanas se requiere la construcción de drenajes superficiales y/o sumideros conectados al alcantarillado a fin de que se garantice la pronta evacuación de aguas superficiales, dejando definidas en el momento de la construcción pendientes transversales y longitudinales. Por ningún motivo se deben presentar estancamiento de agua sobre el pavimento (Mora & Argüelles, 2015). El pavimento articulado se caracteriza por permitir la infiltración del agua de lluvia a través de las juntas entre las piezas. Los pavimentos permeables permiten controlar significativamente la producción de escorrentía en origen, reduciendo los impactos negativos sobre los sistemas de alcantarillado y favoreciendo la infiltración de agua al suelo. La calidad del agua infiltrada es mucho mejor que la de la escorrentía superficial generada a partir de un pavimento impermeable (Hernández-Crespo et al., 2019).

Cuando nos referimos a características físico-mecánicas del pavimento articulado hacemos referencias a las propiedades y comportamientos en relación con su estructura física y su respuesta a las fuerzas mecánicas estos incluyen la resistencia a la compresión, resistencia al desgaste, permeabilidad y su módulo de elasticidad (Menéndez, 2009).

Mientras que, al hablar de características hidráulicas, tenemos la infiltración que es el proceso por el cual el agua en la superficie ingresa en el suelo, la disminución de la tasa hace que el suelo se sature, donde si la tasa de precipitación excede a la tasa de infiltración, se producirá escorrentía. Estas características están relacionadas con la conductividad

hidráulica saturada del suelo cercano a la superficie. La tasa de infiltración puede medirse usando un infiltrómetro (Úbeda Rivera & Delgado Dallatorre, 2018). Y al entender y poder relacionar estas características físicas, mecánicas e hidráulicas podemos tener un mejor entendimiento del pavimento frente a condiciones climáticas presentes y su importancia e influencia en otros aspectos como los sistemas de drenaje.

El objetivo principal de este trabajo es investigar las características físicas, mecánicas e hidráulicas relacionadas a la permeabilidad del pavimento articulado en la ciudad de Sucha perteneciente a provincia de Morona Santiago, analizando un importante número de ejes viales tipo adoquinado; expuestos a factores como los descritos en los párrafos anteriores incluyendo a las condiciones climáticas como las intensas lluvias que escurren a lo largo de la capa de rodadura

1.3 Planteamiento del problema

Una de las alternativas empleadas para pavimentación en la Provincia de Morona Santiago es el pavimento articulado, debido a sus múltiples ventajas en términos de durabilidad, costo y mantenimiento. La ciudad de Sucúa presenta condiciones climáticas adversas, caracterizadas por altas precipitaciones y humedad. Generando que el comportamiento y la funcionalidad del pavimento se vea afectado debido a fenómenos de desgaste y erosión superficial, así como pérdida de resistencia estructural. Los cuales puede ser analizados mediante la determinación de propiedades físicas y mecánicas.

De igual manera, sus características hidráulicas influyen en la seguridad vial, sanitaria y urbanística, ya que están relacionadas con la capacidad de drenaje. Entre ellas, la más relativa es la infiltración del agua a través de las capas granulares del pavimento, lo cual puede llevar a la saturación de la base y subbase, disminuyendo la capacidad de carga del pavimento, causando deformaciones. El coeficiente de escurrimiento también es crucial para el cálculo del caudal de diseño pluvial el cual infiere directamente en las estructuras destinadas a la conducción de aguas superficiales, como son los sistemas de drenaje. De igual manera ayuda a la gestión de recursos hídricos y el estudio de inundaciones.

Este estudio nos dará información precisa y útil para diseñar, construir y mantener pavimentos más eficientes y duraderos en la región. Por tales motivos, se ha planteado la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo se relacionan las características físico-mecánicas del pavimento articulado en los tramos viales de la ciudad de Sucúa con el comportamiento de las características hidráulicas de escorrentía y tiempos de infiltración determinadas en campo y laboratorio a partir de aparatos eléctricos y manuales?

1.4 Justificación

Las propiedades físico-mecánicas influyen en el comportamiento estructural y la durabilidad del pavimento, mientras que las características hidráulicas afectan la capacidad del pavimento para manejar el agua superficial y evitar problemas asociados. La evaluación de estas características, tanto en campo como en laboratorio, con el uso de aparatos manuales

y eléctricos, proporciona información crucial para comprender y gestionar adecuadamente los pavimentos articulados. Dentro de las características hidráulicas tenemos el porcentaje de infiltración los mismos que se relacionan con los coeficientes de escurrimiento, que son esenciales para diseñar sistemas de drenaje eficientes en carreteras y vías de tráfico. Estos coeficientes están descritos en la normativa “Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes”, propuesta por La Subsecretaría de Saneamiento Ambiental y Obras Sanitarias y el Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (IEOS), para los diferentes tipos de pavimentos, una norma que fue creada en 1992, la cual han trascurrido 32 años sin ser modificada. Desde entonces, ha habido avances significativos en los materiales y técnicas de construcción, además de cambios en los patrones climáticos y de precipitación. La norma actual puede o no reflejar adecuadamente el comportamiento del pavimento articulado en términos de infiltración y coeficiente de escurrimiento, lo que podría llevar a un sobredimensionamiento o subdimensionamiento de los sistemas de drenaje.

Tabla 1. Valores para el coeficiente de escurrimiento en función de la superficie

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

Fuente: (EIOS, 1992)

El investigar y obtener nuevos coeficientes de escurrimiento específicos para pavimentos articulados, permitirá mejorar el diseño hidrológico de las carreteras, obteniendo una mejor gestión del agua de lluvia y reduciendo el riesgo de inundaciones y daños en la infraestructura vial. Realizar una caracterización completa del pavimento articulado en Sucúa no solo contribuirá a mejorar la infraestructura vial de la ciudad, sino que también proporcionará una base científica para futuras investigaciones en la región, de igual manera permitirá verificar si este tipo de pavimento cumple con las necesidades actuales de los sistemas de drenaje y si puede ser una opción adecuada de acuerdo con las condiciones climáticas y urbanas actuales. Los resultados de este estudio darán paso a las autoridades locales a tomar decisiones informadas sobre el mantenimiento y la mejora de los pavimentos, optimizando los recursos disponibles y mejorando la calidad de vida de los habitantes.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

- Establecer la relación de las características físico – mecánicas del pavimento articulado con el comportamiento hidráulico.

1.5.2 Objetivos específicos

- Determinar las características físicas y mecánicas del pavimento articulado con equipos eléctricos y de laboratorio
- Evaluar las características hidráulicas usando métodos de ensayo IN SITU

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1 Pavimento Articulado

2.1.1 Aspectos Generales

El pavimento articulado está conformado por adoquines que se encuentran en forma inter-trabada, que le permiten al pavimento adoptar un comportamiento estructural semiflexible. Poseen también un borde de confinamiento que contribuye al desarrollo del mecanismo de trabazón mecánica. Las capas de base y sub-base disipan las tensiones producidas por las capas de tránsito transmitidas desde la carpeta de rodadura (Bahamondes et al., 2013).

2.1.2 Elementos Pavimento Articulado

La estructura del pavimento articulado está conformada por una capa de rodadura constituida de adoquines, juntas rellenas de arena, una cama de arena, capas granulares de base y sub-base, en ocasiones se puede omitir una de ellas dependiendo de la calidad de la subrasante y tipo de tráfico, etc, además de un borde de confinamiento que le proporciona un mecanismo flexible.

2.1.2.1 Capa de rodadura de adoquines de concreto

Los adoquines de hormigón son piezas para la construcción de pavimentos, colocadas en vías vehiculares urbanas, mercados, áreas residenciales y para tránsito peatonal. Son unidades elaboradas con cemento, arena, agua y otros materiales naturales, colocados sobre la capa base o la sub-rasante según el diseño estructural (Varas & Areche, 2021).

2.1.2.2 Bordes de confinamiento

Es importante que la vía del pavimento articulado, cuente con borde de confinamiento. Para que así se eviten desplazamientos de los propios adoquines, la apertura de las juntas o la dispersión de la case de la cama de arena (Garcia, 2023).

2.1.2.3 Juntas de arena

Está constituido por arena fina que se coloca para llenar las juntas entre los adoquines. Sirve como sello de las mismas y garantiza el buen comportamiento a flexión y la capacidad portante de la superficie del pavimento (Sánchez, 2003).

2.1.2.4 Cama de arena

Capa de arena gruesa y limpia de poco espesor sobre la cual se colocan los adoquines. Está compuesta por partículas resistentes a la degradación, con una granulometría uniforme que facilita su colocación, la infiltración y el flujo libre de agua (Sánchez, 2003).

2.1.2.5 Base

Es la principal capa estructural del pavimento, colocada directamente bajo la capa de arena. Esta capa es la que proporciona mayor capacidad estructural y suministra un apoyo uniforme, estable y permanente al pavimento (Sánchez, 2003).

2.1.2.6 Sub-base

La capa de sub-base se diseña con un espesor tal que pueda soportar la base y la capa de rodadura, se compone de materiales menor calidad y costo que los empleados en la capa de base, transmiten cargas al terreno y en algunos casos pueden actuar de colaborador del drenaje de las aguas del subsuelo (Giordani & Leone, 2019).

2.1.2.7 Sub-rasante

Comprende la capa de terreno en la longitud total de la vía, y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño, constituyendo la fundación para el pavimento articulado y sirviendo de soporte a la estructura de pavimento. El espesor de la estructura de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la sub-rasante (Betanco et al., 2019).

2.2 Propiedades físicas del pavimento articulado

2.2.1 Granulometría

El análisis granulométrico es una herramienta fundamental para la caracterización y clasificación de suelos. Este tipo de análisis proporciona información sobre la distribución de tamaños de partículas y sus propiedades mecánicas, lo que permite evaluar el comportamiento del suelo en diversas condiciones. Además, el tamaño y distribución de partículas influyen en la capacidad del suelo para retener agua, lo que es relevante en la evaluación de la permeabilidad, almacenamiento y drenaje de agua (Gutiérrez, 2023b).

2.2.2 Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg permiten obtener información crucial sobre la cohesión, plasticidad y consistencia del suelo, capacidad de carga, su potencial de expansión y contracción, lo que a su vez influye en su comportamiento bajo diversas condiciones de carga y humedad (Gutiérrez, 2023a).

2.2.3 Humedad

2.2.3.1 Contenido de Humedad

Es el peso del agua contenida en la muestra del suelo, expresad como porcentaje del peso de la misma muestra secada al horno a 110°C, hasta que ella no registre variaciones en su peso (MOP, 2002).

2.2.3.2 Humedad In Situ

Contenido total de agua de una capa de suelo en condiciones naturales (MOP, 2002).

2.2.3.3 Humedad Óptima

El agua contenida en un suelo lubrica los granos y permite que se deslicen unos sobre otros, pero cierta humedad permite el movimiento de las partículas del suelo en consecuencia su compactación. La humedad óptima permite la mejor compactación para una energía dada, debido a que la compacidad es proporcional a la densidad del terreno seco (Alvarado, 2015).

2.2.4 Densidad

2.2.4.1 Densidad Natural

La densidad natural, también conocida como densidad húmeda se define como la masa total del suelo (masa de sólidos y masa del agua) dividida por el volumen total del suelo, esta influye significativamente en las propiedades de retención de agua de los suelos granulares, así como en la capacidad de carga del suelo, los suelos más densos pueden soportar mayores cargas (Quinchimba & Yáñez, 2024).

2.2.4.2 Densidad Máxima Seca

Al compactar bajo una humedad determinada, el suelo aumenta su densidad seca, la cual tiene un límite, que corresponde a la total expulsión de aire de los poros del suelo. En este estado el suelo estaría totalmente saturado y el volumen de aire sería cero. Se puede llegar a una densidad máxima seca estimada mediante la reducción de porosidad junto al incremento de la humedad, como consecuencia el aire queda retenido en cada poro y no es posible obtener una mayor densificación para un mismo trabajo mecánico (Montero, 2014).

2.2.5 Grado de Compactación

El grado de compactación se establece como la relación entre la densidad seca del suelo en campo y la densidad máxima seca obtenida con el procedimiento del ensayo Proctor (Verbal, 1987).

2.2.6 Absorción

2.2.6.1 Absorción en Adoquines

El índice de absorción de agua se expresa relacionando la diferencia del peso de la probeta saturada menos el peso de la probeta seca contra el peso de la probeta seca, expresado en porcentaje (INEN, 2016a). Este ensayo permite determinar la capacidad de absorción de agua de los materiales con los que están fabricados los adoquines y su resistencia a condiciones climáticas.

2.2.6.2 Absorción de Capas Granulares

Absorción es el incremento de la masa del árido debido a la penetración de agua en los poros de las partículas durante un determinado periodo de tiempo, sin incluir el agua adherida a la superficie externa de las partículas, se expresa como un porcentaje de la masa seca (INEN, 2016a). Un alto porcentaje de absorción en los áridos, representa porosidad en las capas granulares lo que influye en el drenaje y resistencia a la saturación, reduciendo la capacidad de soporte de carga.

2.3 Propiedades mecánicas del pavimento articulado

2.3.1 Módulo de Rigidez

Caracteriza el cambio de forma que experimenta un material elástico cuando se aplican esfuerzos cortantes, permitiendo determinar la deformación o asentamiento producto de cargas dinámicas o vibratorias (Hossne, 2014).

2.3.2 Módulo de Young

El módulo de Young de un suelo es el parámetro elástico más comúnmente utilizado en la estimación del asentamiento, estiramiento y deformaciones elásticas por cargas estáticas. Es una medida de la tenacidad de un material que permite determinar su conducta bajo carga (Hossne, 2014).

2.3.3 Relación de Soporte de California

Relación entre la presión necesario para penetrar los primeros 0.25 cm en un material de prueba y la presión necesario para penetrar la misma profundidad en un material de características conocidas o patrón. Mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad constante, y para poder evaluar la calidad relativa del suelo para sub-rasante, sub-base y base de pavimentos (Betanco et al., 2019).

2.3.4 Resistencia en Adoquines

La resistencia a compresión en adoquines de concreto determina la capacidad máxima que soporta un adoquín antes de romperse bajo la acción de una carga creciente continua, la misma que se establece una resistencia a la compresión no menor a 300 kg/cm² para tráfico medio o ligero y no menor a 400 kg/cm² para vía de tráfico alto (Saraguro et al., 2021).

2.3.5 Degradación del árido grueso

La resistencia a la abrasión se define como la capacidad para resistir el desgaste causado por frotación o fricción, principalmente por acciones mecánicas como rozamiento, deslizamiento y arrastre de materiales abrasivos (Torres & Saba, 2023).

2.4 Propiedades hidráulicas del pavimento articulado

2.4.1 Infiltración

2.4.1.1 Infiltración en la capa de rodadura

La capa de rodadura de los diferentes tipos de pavimentos no es completamente impermeable y esto, sumado a la presencia de grietas y desniveles, permite que el agua de escorrentía superficial se infiltre originando un flujo de agua interno. El manejo inadecuado del agua interna conlleva a daño en el desempeño del pavimento debido al desarrollo de presiones de poros muy altas dentro de la base sin tratamiento, así como en las capas de la subbase, lo que conduce a una reducción de resistencia (Lizcano et al., 2012).

2.4.1.2 Infiltración en las capas granulares

La infiltración es el proceso en donde el agua entra en el suelo por las grietas y poros de mayor tamaño, por gravedad. De los poros de mayor tamaño pasa a lo de menor tamaño, por capilaridad. Dicha infiltración depende de las condiciones superficiales del suelo, del contenido de agua y de la conductividad hidráulica del suelo. El agua infiltra más rápidamente en suelo de textura gruesa que en suelos de textura fina (alto contenido en arcillas). En contexto de capas granulares la capa más superficial (capa base), permite mayor penetración del agua, incluso cuando la intensidad de lluvia es alta. La capa intermedia (sub-base), posee una tasa de infiltración lenta, dependiendo de la humedad inicial de la capa. La capa más profunda (sub-rasante), se satura antes cuando la incidencia de lluvia es más continua. Esta capa permite poca penetrabilidad del agua, si bien es cierto que el volumen de agua que alcanza esta capa es censurablemente menor (Varela, 2015).

2.4.2 Permeabilidad

Los pavimentos permeables nacen como una forma alternativa de mitigación de la escorrentía superficial y caudales pico (generadores de inundaciones). El objetivo de este sistema es generar zonas donde el agua se infiltre o se almacene amortiguando la cantidad de agua lluvia precipitada. Los pavimentos permeables de adoquín permiten la infiltración del agua por medio de las juntas creadas entre los adoquines, éstas a su vez, son llenadas con arena de río (Castro, 2011).

2.4.3 Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía es la relación que existe entre el agua que se precipita en una cierta zona y el agua que corre. Depende sobre todo de la capacidad de infiltración de la estructura del pavimento y de la intensidad de la lluvia (Pérez & Gardey, 2021). Representa la fracción de la precipitación total que se convierte en escorrentía superficial, es decir, la proporción de agua que fluye sobre el terreno en lugar de infiltrarse en el suelo. Es utilizado para el diseño de drenajes, permitiendo calcular el caudal de escorrentía en sistemas pluviales, alcantarillado o cunetas.

CAPÍTULO III. METODOLOGIA.

3.1 Diagrama de metodología



Ilustración 2. Diagrama de flujo de la metodología

3.2 Tipo de Investigación.

En el presente trabajo de investigación se optó abarcar un enfoque de investigación cuantitativo, ya que se utilizará datos numéricos mediante pruebas de laboratorios e in situ aplicados a la estructura de pavimento articulado.

3.3 Diseño de Investigación

El diseño de investigación es de tipo descriptivo, que se puede emplear una amplia variedad de métodos de investigación para investigar una o más variables, en este tipo de investigación el investigador no controla ni manipula ninguna de las variables, sino que solo observa y mide (McCombes, 2022). Permitiendo detallar, recolectar, tabular y analizar las

características físicas, mecánicas e hidráulicas del pavimento articulado en la ciudad de Sucúa.

3.4 Técnicas de recolección de Datos

3.4.1 Ensayos de laboratorio

3.4.1.1 Tamizado de materiales

La granulometría permite determinar la distribución granulométrica de las partículas de áridos, finos y gruesos, por tamizado. Con el objetivo de utilizarlos como áridos para hormigón o utilizarlos como áridos para otros propósitos (NTE INEN 696, 2011).

3.4.1.2 Clasificación del suelo

Para la clasificación de suelos se aplicarán dos metodologías:

El Sistema Unificado de Clasificación del suelo (SUCS) se basa en el sistema de clasificación desarrollado por Casagrande, utiliza los resultados del análisis granulométrico y determinación de los límites de Atterberg (LL, LP, IP) para la clasificación (Borselli, 2024). La relevancia del SUCS radica en que una clasificación precisa del suelo es primordial para el diseño de cimentaciones, terraplenes, etc., evitando fallas de asentamientos, deslizamiento e inestabilidad.

El Ministerio de Transporte y Obras Públicas es la entidad encargada de establecer parámetros mediante un conjunto de especificaciones técnicas para clasificar las capas granulares del pavimento (base y sub-base). Basadas en normativas nacionales e internacionales, con el objetivo de garantizar la calidad en las obras viales de nuestro País (MTO, 2013)

3.4.1.3 Límites de consistencia

3.4.1.3.1 Limite Líquido

Con este método se consigue determinar el contenido de agua de un suelo, en el límite entre su comportamiento líquido y plástico, valiéndose de un dispositivo mecánico (copa de Casagrande) en el que, con un determinado número de golpes, se establece la fluencia del suelo en condiciones normalizadas (INEN 691, 1982).

3.4.1.3.2 Limite Plástico

El método consiste en determinar el contenido de agua de un suelo en el límite entre su comportamiento plástico y sólido, utilizando el proceso de rolado para evaporar gradualmente el agua hasta que se fisure o agriete (INEN 692, 1982).

3.4.1.4 Compactación Proctor estándar

Este método de ensayo abarca la compactación en laboratorio utilizado para determinar la relación entre el contenido de agua del y el peso unitario seco de suelos compactados en un molde de diámetro de 4 o 6 pulgadas, con un pisón que cae a una altura de 12 pulgadas produciendo una energía de compactación de 12400 ft-lbf/ ft³ (600 kN-m/m³) (ASTM D698, 2012).

3.4.1.5 Densidad, densidad relativa y absorción del árido fino

La aplicación del ensayo permite la determinación de la densidad promedio en una muestra de árido fino (sin incluir el volumen de vacíos entre partículas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del árido (NTE INEN 856, 2010).

3.4.1.6 Densidad, densidad relativa y absorción del árido grueso

Este procedimiento se aplica para la determinación de la densidad promedio en una muestra de árido grueso (sin incluir el volumen de vacíos entre partículas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del árido (NTE INEN 857, 2010).

Este ensayo es aplico únicamente a la base del pavimento por razones que este extracto es el único que cuenta con el material solicitado en los requisitos por tamizaje según la normativa.

3.4.1.7 Degradación del árido grueso mediante el uso de la máquina de los ángeles

Mediante esta práctica se puede determinar la pérdida de masa de los agregados con gradación normalizada, resultante de una combinación de acciones que incluye la abrasión o desgaste, el impacto y la molienda en un tambor girando de acero que contiene un número específico de esferas de acero, ayudando a determinar así el valor de la degradación del árido grueso de tamaño inferior a 37,5mm, mediante la pérdida de masa por desgaste e impacto utilizando la máquina de los ángeles (NTE INEN 860, 2011).

3.4.2 Ensayos In situ

3.4.2.1 Elasticidad y rigidez In situ- Método “Geogauge”

Este método abarca la medición electromagnética de la rigidez in situ del suelo y agregado para determinar el módulo de Young mediante la aplicación de cargas cíclicas de baja deformación sobre una carga estática compatible con aplicaciones en carreteras. El equipo proporciona un método rápido para minimizar las interferencias y los retrasos en la construcción. El procedimiento de la prueba está diseñado para evaluar la rigidez o el módulo de los materiales utilizados en movimientos de tierra y obras viales. (ASTM D 6758, 2002).

Los elementos que conforman el geogauge son los siguientes:

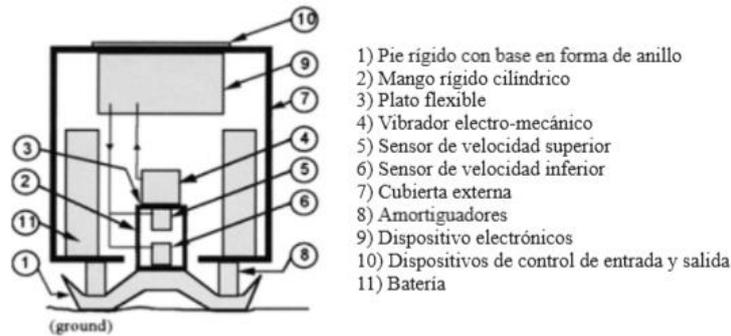


Ilustración 3. Esquema grafico del GeoGauge. Adaptado de: (ASTM D 6758, 2002)

La metodología aplicada según la guía de Humboldt (Humboldt Mfg. Co., n.d.) para el uso del GeoGauge sigue la siguiente secuencia:

- Inspección de las condiciones del instrumento antes de su uso
- Encienda el geogauge presionado la tecla “ON”, para que el instrumento lleve a cabo el auto chequeo
- Preparación de la superficie a medir, esto implica: suelo nivelado y verificar que el equipo no esté en contacto con cuerpos extraños
- Asentamiento del pie: No aplicar mucha fuerza sobre le geogauge ya que el pie del anillo se hunde en el suelo y la máxima profundidad que puede alcanzar es ¼”
- Entre medición y medición el geogauge debe sacarse físicamente del lugar de medición y el pie resetearse.
- Efectuar la medición: Presione la tecla “Meas”
- El geogauge mostrara en secuencia: La razón señal a ruido (SNR), La desviación estándar (Sd) de la rigidez a cada una de las 25 frecuencias, la rigidez, módulo de Young.
- Retirar el geogauge desde el sitio de prueba
- Almacenar los datos presionando la tecla “Save”.
- Limpiar cualquier residuo de suelo que pudiera haber quedado incrustado en el pie durante el transcurso de la prueba.

3.4.2.2 Densidad In situ- Método del cono de arena

El ensayo del cono de arena se usa para determinar la densidad en campo y el peso volumétrico de suelos inalterados o suelos in situ, cuando los vacíos naturales de poros en el suelo sean suficientemente pequeños para prevenir que al usar la arena en la prueba esta pueda entrar en los vacíos (suelos compactados) (ASTM D1556, 1996).

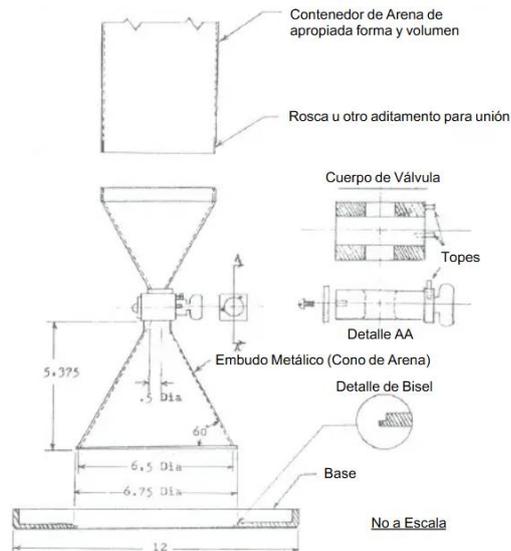


Ilustración 4. Elementos que conforman el equipo del cono de arena. (ASTM D1556, 1996).

La metodología de uso que se debe seguir según la (ASTM D1556, 1996) para realizar el ensayo es el siguiente:

- Inspeccionar el aparato del cono para ver algún daño.
- Llenar el contenedor con arena acondicionada a la cual se le determino su masa volumétrica de manera previa.
- Preparar la superficie de la ubicación a ser ensayada de modo que sea plana y nivelada.
- Colocar la base en la superficie plana, asegurando el contacto entre la superficie del suelo alrededor del hueco biselado del centro.
- Cavar el hueco de prueba a través del hueco central en la base, teniendo cuidado de afectar el suelo que limita el hueco.
- Limpiar el bisel y colocar el cono de arena en el hueco biselado en la misma posición que fue colocado durante la calibración.
- Determinar la masa del aparato con la arena restante, registrar y calcular la masa de la arena usada.
- Se debe registrar la masa húmeda del material que fue removido del hueco de prueba.

3.4.2.3 Infiltración y escurrimiento- Método del infiltrómetro de doble anillo

El método del doble anillo es una técnica utilizada para medir la tasa de infiltración en suelos variando su permeabilidad. Este método permite obtener datos precisos al evitar la interferencia de las áreas circundantes en la medición de infiltración (Rincon et al., 2024).

El equipo ocupado para el ensayo presenta las siguientes características:

- Los cilindros dobles se encuentran diseñados con acero galvanizado de 1.5mm de espesor.
- El cilindro exterior cuenta con un diámetro de 45cm, el cilindro interior con un diámetro de 25cm y ambos con una altura de 60cm.
- Para poder impermeabilizar el equipo al momento de colocarlo en la capa de rodadura de la vía, se colocó en la parte inferior del mismo un caucho (burlete), la selección de este caucho se basó en su facilidad de adaptarse y ajustarse al entorno circular de la base del infiltrómetro.



Ilustración 6. Caucho tipo burlete alambrado 341.



Ilustración 5. Caucho colocado en la base del infiltrómetro.

- Para mejorar el sellado entre caucho y pavimento se optó por la colocación de silicón blanco para mejor la impermeabilización de los bordes de los anillos.
- En la parte superior del infiltrómetro en los extremos de la cruz, se colocó contrapesos de 15kg aproximadamente con el fin de aplicar presión sobre el pavimento evitando la fuga de agua por la base.

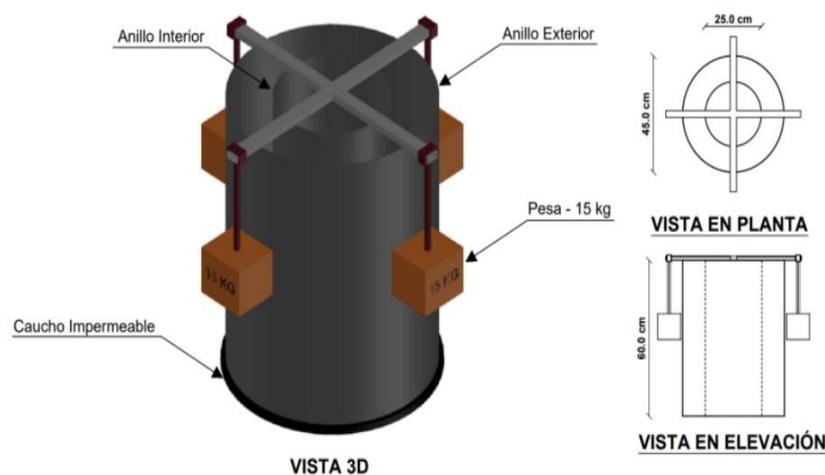


Ilustración 7. Esquema grafico del infiltrómetro. (Casco & Salcan, 2024).

La metodología para realizar el ensayo sigue el siguiente orden:

- Colocar el caucho (burlete) en la base con silicona, con tiempo previo a realizar el ensayo para poder dar tiempo que se seque.
- Limpiar previamente la zona donde se va a realizar el ensayo.
- Colocar el infiltrómetro en la zona del estudio y sellar los bordes inferiores con silicona dándole un tiempo de secado.
- Colocar las pesas de 15kg aproximadamente en las 4 esquinas de la cruz.
- Una vez asegurado la base, colocamos agua parcialmente y registramos el descenso en intervalos constantes de tiempo.
- La proporción de infiltración se obtiene comparando el agua infiltrada con el volumen inicial, mientras que el volumen residual en el cilindro tras el ensayo determina el índice de escorrentía.

3.4.2.4 Estimación del CBR

Los valores del CBR tanto para el estrato de base y sub rasante que se analizó durante la investigación se pudo estimar mediante relación entre los valores obtenidos por el Geogauge y ecuaciones propuestas por varios autores entre ellos tenemos:

El trabajo de Urquizo se centró en la caracterización de material de una cantera, el cual se utilizará para bases y sub bases.

Para (Urquizo, 2019) una vez realizado el estudio obtuvo una correlación real entre los valores de C.B.R (California bearing Ratio) y módulo de resiliente encontrado mediante el dispositivo GeoGauge, con ensayos in situ. Una vez encontrada la correlación real, propuso la siguiente ecuación que correlaciona de mejor manera el módulo el CBR con el módulo resiliente, el instrumento proporciona datos del módulo de Young (Resiliente) en Mpa; la ecuación es aplicable para datos mayores a 713838 [psi].

$$MR(\text{psi}) = 7138.8 * e^{0.0203*(\%CBR)} \quad [1]$$

Según (García & Rivera, 2016), el GeoGauge puede utilizarse para evaluar la fuerza potencial de materiales empleados en bases, sub-bases y sub-rasante. El equipo puede ser aplicado en cualquier lugar que exista la necesidad de evaluar estructuralmente un material, el CBR se puede estimar a partir de las mediciones del GeoGauge mediante el uso de la ecuación 2, donde el CBR está dado en porcentaje (%) y KG es la rigidez en (MN/m) determinada por el instrumento, este instrumento trabaja con un coeficiente de correlación de R2 de 0.84.

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

Como se detalla en la (AASHTO, 2006), se puede estimar el CBR mediante ensayos de carga dinámica aplicando la siguiente ecuación donde el CBR se expresa en % y el módulo de elasticidad esta medido en kg/cm2.

$$CBR = \left(\frac{MR}{2555}\right)^{\frac{1}{0.64}} \quad [3]$$

Los investigadores (Abu-Farsakh et al., 2004), desarrollaron una ecuación donde correlaciona el módulo de rigidez elástico del GeoGauge y los valores de CBR para las pruebas de campo, con una correlación de $R^2 = 0.84$; esta ecuación en base al estudio realizado se recomienda su uso para suelos de tipo granulares o bases, donde el CBR se expresa en % y EG el módulo de Young en Mpa.

$$\text{CBR} = 0.00392 * E_G^2 - 5.75 \quad [4]$$

Otra correlación propuesta por (Abu-Farsakh et al., 2004), este grupo de investigadores trabajó en laboratorio con suelos granulares y suelos finos. Para la medición del módulo elástico utilizaron el GeoGauge, y realizaron ensayos de CBR por cada tipo de suelo para poder después encontrar la relación existente entre el módulo elástico y CBR. Con los resultados se permitieron la obtención de la ecuación de correlación de los parámetros de CBR y el módulo de elasticidad, que corresponde a un tipo logarítmico, con factor de correlación de 0.62.

$$\log E_G = 1.89 + 1.48 \log \text{CBR} \quad [5]$$

Según (Rondón-Quintana et al., 2013), en su publicación mencionan una fórmula para caracterizar suelos con contenido de arcillas, limos y arenas, donde se obtiene el CBR en campo facilitando el proceso de mejoramiento de suelos, donde el módulo de la subrasante se presenta en Mpa.

$$E_G = 10 * \text{CBR}^{0.73} \quad [6]$$

Según (Huekelom & Klomp, 1962), el módulo de resiliente de la subrasante, utilizado en métodos de diseño basados en análisis estructural, puede determinarse indirectamente a partir de la relación entre el módulo de la subrasante y el CBR, donde el módulo se presentará en Mpa y el CBR en %.

$$E_G = 10.34 * \text{CBR} \quad [7]$$

3.5 Definición de la muestra

3.5.1 Población

La población de interés de estudio es un mallado de aproximado de 3.5km de pavimento, identificando 6 vías adoquinadas (2 principales y 4 secundarias) que conforma el pavimento articulado, que se encuentra en el casco urbano de la ciudad de Sucúa, en la provincia de Morona Santiago

3.5.2 Muestra

Las muestras estudiadas fueron 8 las mismas que se encontraron conformadas por adoquín, base y subrasante. Estas ubicadas en varios puntos de la cabecera cantonal de Sucúa a lo largo del pavimento articulado existente. Estas perforaciones se llevaron a cabo en áreas

consideradas como las más accesibles y seguras para la obtención de las muestras específicas.

3.5.3 Criterios de selección

El criterio de selección de la muestra se basó en una inspección visual detallada de los tramos viales de la cabecera cantonal, donde se extrajo 8 muestras de la siguiente manera: 4 muestras en las 2 vías principales y 4 muestras en las 4 vías secundarias, enfocándonos que la toma de muestras cubra adecuadamente toda la zona de estudio.

3.5.4 Tipo de muestra

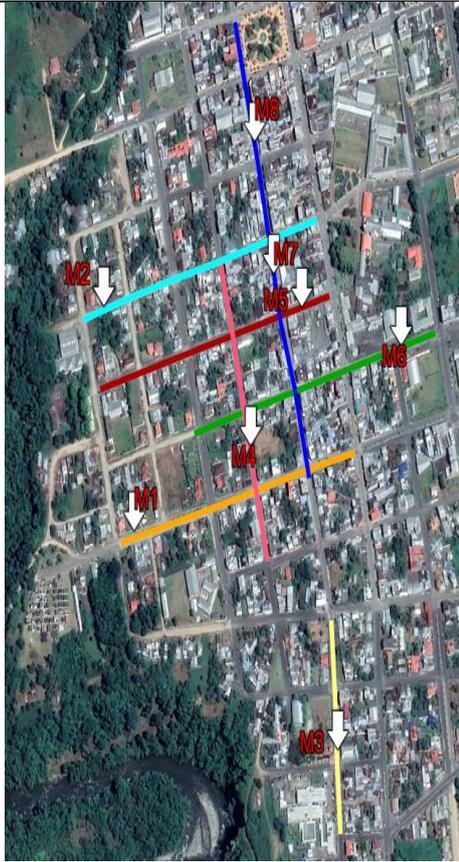
El tipo de muestreo para el estudio fue probabilístico estratificado, el cual implica dividir la población en extractos y seleccionar ponderadamente las muestras de cada uno, este tipo de muestreo es útil cuando se espera que las características de la población varíen entre los estratos.

3.5.5 Ubicación de la muestra

En la siguiente tabla se indica, la ubicación, coordenadas y una imagen fotografía del pavimento articulado estudiado:

Tabla 2. Ubicación de puntos de muestreo

Ubicación	N°	Fotografía	Coordenadas	
			Este	Norte
	1		814184	9727565
	2		814122	9727854
	3		814473	9727895
	4		814425	9727674
	5		814531	9727852



6



814736 9727802

7



814604 9727283

8



814434 9728065

LEYENDA

- Calle Edmundo Carvajal_T2
- Calle Victorino Abarca
- Calle 12 de febrero
- Calle 8 de Diciembre
- Calle 3 de Noviembre
- Calle Edmundo Carvajal
- Calle Enrique Arizaga

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Propiedades físicas del pavimento articulado

4.1.1 Granulometría

En las tablas 3 y 4 se puede observar un resumen de los valores obtenidos después de realizar el ensayo granulométrico junto con su clasificación según la SUCS aplicado a los 2 extractos de suelo analizados (Base y Sub rasante).

Tabla 3. Resumen del ensayo granulométrico - Base

Tamiz ASTM	Abertura del Tamiz [mm]	M1_Pasa [%]	M2_Pasa [%]	M3_Pasa [%]	M4_Pasa [%]	M5_Pasa [%]	M6_Pasa [%]	M7_Pasa [%]	M8_Pasa [%]	Material
1" 1/2"	38.1	100.00	96.24	94.16	100.00	95.00	100.00	92.05	91.99	Grava gruesa
1"	25	97.68	90.88	86.00	92.86	87.00	91.89	79.07	79.08	
3/4"	19	92.44	83.54	79.46	78.82	77.33	87.50	72.98	71.94	
1/2"	12.5	78.02	77.46	70.06	68.71	72.67	80.07	63.05	61.01	Grava fina
3/8"	9.5	67.22	72.99	65.90	63.36	69.67	75.68	59.07	57.66	
No. 4	4.75	48.97	63.51	59.33	54.13	60.67	64.53	52.85	52.27	Arena gruesa
No. 10	2	38.28	54.03	53.82	44.91	47.00	54.39	48.34	48.51	
No. 40	0.425	19.62	25.94	15.92	21.12	25.00	29.73	21.32	22.14	Arena fina
No. 100	0.15	4.09	6.44	2.42	5.65	7.00	5.41	5.70	4.95	
No. 200	0.075	1.11	1.97	0.65	2.08	1.67	1.69	2.12	2.33	finos
Coeficiente de Uniformidad (CU)		25.41	15.97	14.72	29.20	20.39	14.37	38.25	41.61	
Coeficiente de Curvatura (CC)		0.85	0.61	0.82	0.63	0.74	0.23	0.43	0.33	
Base Tipo		Clase 1, tipo B								
Simbología SUCS		GP	SP							

Tabla 4. Resumen del ensayo granulométrico- Sub Rasante

Tamiz ASTM	Abertura del Tamiz [mm]	M1_Pasa [%]	M2_Pasa [%]	M3_Pasa [%]	M4_Pasa [%]	M5_Pasa [%]	M6_Pasa [%]	M7_Pasa [%]	M8_Pasa [%]	Material
1" 1/2"	38.1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	Grava gruesa
1"	25	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
3/4"	19	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	98.98	100.00	100.00	
1/2"	12.5	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	98.37	100.00	100.00	Grava fina
3/8"	9.5	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	98.10	100.00	100.00	
No. 4	4.75	100.00	99.20	97.40	100.00	98.85	96.54	95.47	97.65	Arena gruesa
No. 10	2	99.06	94.40	87.01	98.20	90.23	90.08	86.92	92.20	
No. 40	0.425	65.09	57.60	51.30	67.57	48.85	54.96	49.20	62.45	Arena fina
No. 100	0.15	35.85	29.60	18.18	20.72	22.41	18.48	23.54	25.15	
No. 200	0.075	19.81	15.20	3.90	6.31	11.49	6.86	11.57	12.15	finos
Coeficiente de Uniformidad (CU)		5.17	7.40	7.38	3.82	12.70	6.81	12.99	5.51	
Coeficiente de Curvatura (CC)		0.56	0.58	0.74	1.35	0.90	1.02	0.79	1.33	
Simbología SUCS		SM	SC	SP	SP-SM	SP-SM	SW-SM	SP-SM	SM	

A continuación, se presenta graficas que contienen las curvas de las 8 muestras analizadas de la base y sub-rasante respectivamente.

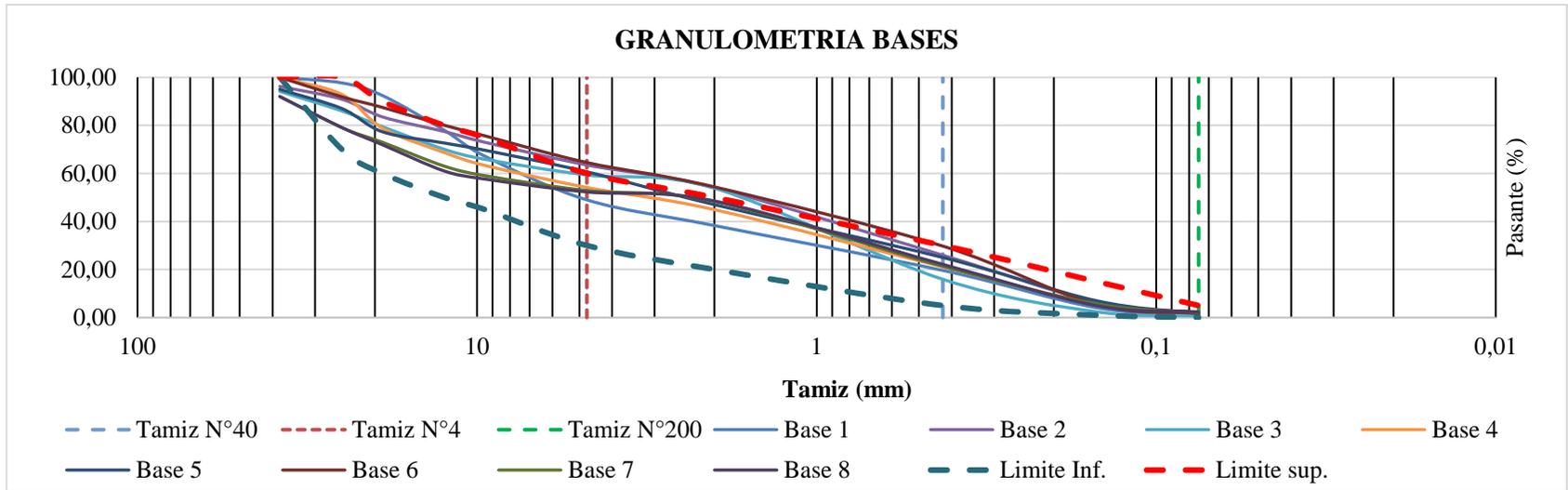


Ilustración 8. Curvas granulométricas correspondiente a las bases

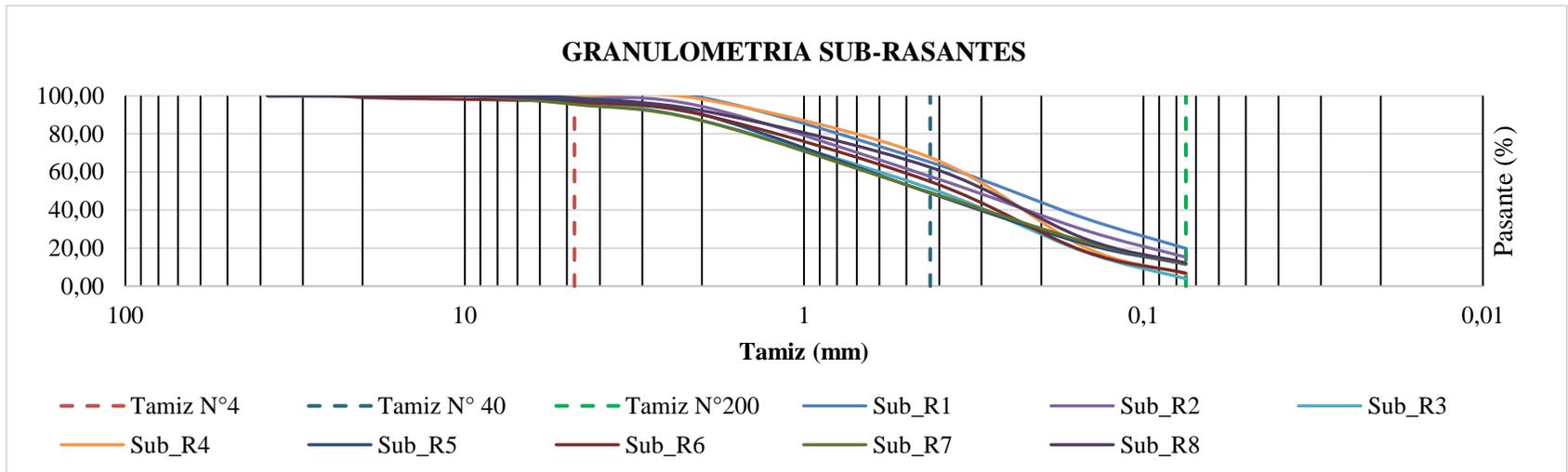


Ilustración 9. Curvas granulométricas correspondiente a las sub-rasantes

En la Ilustración 8 se presenta las curvas granulométricas de las 8 bases analizadas, junto con los límites superior e inferior que especifica la normativa (MOP, 2002) para la base Clase 1 tipo B; todas las bases han sido clasificadas como tal, a pesar de que la muestra 2, muestra 3 y muestra 6 superan ligeramente el límite superior, en su mayoría cumplen con los rangos establecido, por lo cual se consideró aceptable. En cuanto al análisis granulométrico, mediante la Tabla 3, se puede evidenciar que las bases están compuestas por gravas, arenas y un mínimo porcentaje de material fino, siendo predominante en arenas.

En cuanto a las subrasantes, se presenta en la Ilustración 9 las curvas granulométricas en donde se observa que todas son moderadamente similares, con más del 90% de arenas y un considerable contenido de finos, a excepción de la Muestra 3 la cual no cumple con lo establecido en las especificaciones de la SUCS, por lo tanto, le corresponde una clasificación diferente. Estos resultados nos demuestran que existe un suelo predominante tipo limoso con presencia de arenas, el cual concuerda con el estudio de (Yuquilema, 2010), y, el reporte presentado por (Espinosa et al., 2022) en el IGM.

4.1.2 Límites de Atterberg

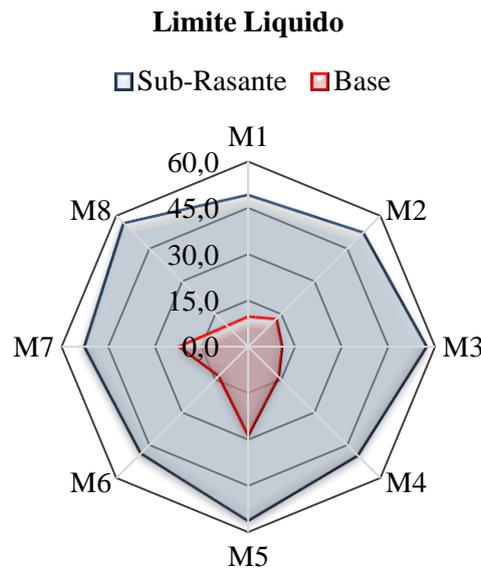


Ilustración 10. Limite liquido correspondiente a la Sub-Rasantes y Bases

Del ensayo de límites de Atterberg mediante la Ilustración 10 se analiza el límite líquido de las capas estudiadas. Las bases contienen bajo porcentaje de límite líquido, de tal forma que no pierden resistencia significativa al humedecerse. Por otro lado, las subrasantes tienen valores altos de límite líquido, reflejando la presencia de limos plásticos sensibles al agua, caracterizados por expandirse en presencia de ella y se contraen en su ausencia, generando deformaciones lo que puede comprometer las capas granulares.

Tabla 5. Resumen de las características de límites de consistencia de las Bases

BASE DE PAVIMENTO ARTICULADO				
	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice de Plasticidad (%)	Presencia de Plasticidad
M1	9.71	-	-	NO
M2	12.68	-	-	NO
M3	10.71	-	-	NO
M4	13.75	-	-	NO
M5	28.76	-	-	NO
M6	13.38	-	-	NO
M7	22.03	-	-	NO
M8	9.55	-	-	NO

Tabla 6. Resumen de las características de límites de consistencia de las Sub-Rasantes

SUB-RASANTE DE PAVIMENTO ARTICULADO				
	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice de Plasticidad (%)	Presencia de Plasticidad
M1	48.98	40.26	8.72	SI
M2	52.09	40.51	11.58	SI
M3	57.16	49.28	7.88	SI
M4	49.64	45.63	4.02	SI
M5	56.19	53.26	2.93	SI
M6	48.62	46.43	2.19	SI
M7	52.39	48.27	4.12	SI
M8	56.32	47.48	8.84	SI

La Tabla 5 y Tabla 6 presenta un resumen de los resultados del cálculo de límites de consistencia de las bases y subrasantes, respectivamente. Las bases por tratarse de suelos arenosos, tienen la característica de ser granulares y no cohesivos, lo que significa que su resistencia y deformación depende más de la fricción entre partículas, que pueden deslizarse unas sobre otras lo que permite que el material fluya y se organicen sin experimentar un estado plástico, por lo que no fue posible realizar la prueba y se considera que su límite plástico no existe en este caso. Según la (MOP, 2002) establece que una base debe cumplir con un límite líquido inferior a 25% y un índice de plasticidad máximo de 6%, exigiendo cierto grado de ausencia de plasticidad.

La Ilustración 11 muestra la cercanía de los valores de límite líquido y límite plástico característico de las subrasantes estudiadas.

SUB-RASANTE

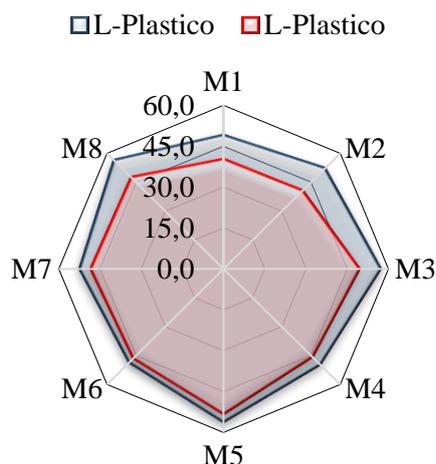


Ilustración 11. Limite Plástico y Limite Líquido correspondiente a la Sub-Rasante

En el caso de las subrasantes, las cuales son arenas con presencia de limos y un caso de arcillas, que por su naturaleza presentan límite plástico. Con respecto a la particularidad de la Muestra 3, según la SUCS corresponde una clasificación de Arena Pobrementemente Graduada. Sin embargo, el ensayo de límites de consistencia proporciona un alto límite plástico al igual con las otras muestras ensayadas, evidenciando la presencia de limos. Como menciona (Gutiérrez Rodríguez, 2024) en su trabajo que la plasticidad es característico de los materiales finos, sin tener ninguna relación con el diámetro de las partículas.

4.1.3 Compactación Proctor estándar

En la Tabla 7 y Tabla 8 se presenta el resumen de los resultados del ensayo de compactación Proctor para las capas de la estructura del pavimento, Base y Sub-rasante respectivamente. A través del cual se obtuvo la humedad óptima (%) y la densidad máxima seca (T/m^3) para cada una de las muestras.

Tabla 7. Resumen del ensayo Proctor estándar realizado en las bases

BASE DE PAVIMENTO ARTICULADO		
Características	Humedad Óptima [%]	Densidad Máxima Seca [T/m^3]
Muestra 1	9.66	2.05
Muestra 2	11.10	1.95
Muestra 3	10.14	1.85
Muestra 4	10.38	1.94
Muestra 5	18.68	1.74
Muestra 6	12.14	1.92
Muestra 7	11.64	1.85
Muestra 8	12.15	1.87

Tabla 8. Resumen del ensayo Proctor estándar realizado en las Sub-Rasantes

SUB-RASANTE DE PAVIMENTO ARTICULADO		
Características	Humedad Óptima [%]	Densidad Máxima Seca [T/m ³]
Muestra 1	29.77	1.35
Muestra 2	34.83	1.27
Muestra 3	42.63	1.20
Muestra 4	26.50	1.33
Muestra 5	34.08	1.16
Muestra 6	26.63	1.38
Muestra 7	29.36	1.35
Muestra 8	39.83	1.22

De acuerdo a (Moreira & Ruiz, 2023), la densidad máxima seca para una base clase 1 tipo B se encuentra alrededor de 1.89 T/m³, con una humedad óptima que ronda por el 13.21%. Valores semejantes a los encontrados en este estudio. Sin embargo, se debe destacar que los valores pueden cambiar en función de características como el tipo de material, entre otros.

Densidad Máxima Seca [T/m³]

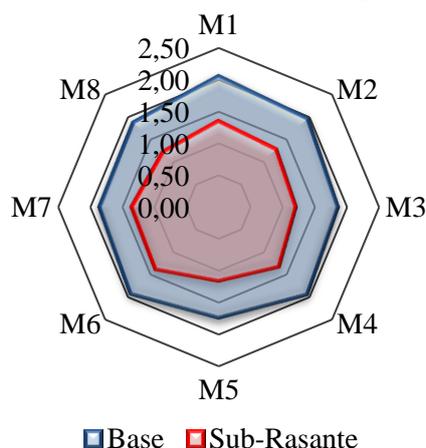


Ilustración 12. Densidad Máxima seca de la Base y Sub-Rasante

La ilustración 12 muestra la comparación de la densidad máxima óptima de las bases y subrasantes, en donde se puede observar en las bases pueden alcanzar mayores valores por la naturaliza de su composición.

La Ilustración 13 presenta las curvas de compactación que se obtuvieron mediando el ensayo de Proctor Estándar para las 8 bases estudiadas, así como, la densidad máxima seca y la humedad óptima de cada una. En su mayoría las muestras se mantienen en un rango de humedad óptima que va desde 9.22% a 12.15% donde se registraron densidades de 2.05 a 1.87 T/m³. Entre las bases se determinó un caso atípico en la muestra 5, debido a que

presenta una desviación significativa en la humedad óptima de 18.68% y reducción en la densidad seca de 1.74 T/m^3 , lo que sugiera mayor sensibilidad al agua.

Las curvas de las sub-rasantes se exponen en la Ilustración 14, mediante las cuales se observa significativos valores de humedad óptima esto debido a que el tipo de suelo presenta una característica de plasticidad buena debido a la presencia de finos. Por lo que necesitan mayor contenido de humedad para llegar a su densidad máxima seca. De acuerdo con (Martillo, 2012), para suelos con características arcillosas, limo arenosas y con CBR alrededor del 5% se recomienda mantener contenidos de humedad cerca de 26.30% y densidades secas de 1.34 T/m^3 , valores que se asemejan a los obtenidos en el estudio de las sub-rasantes.

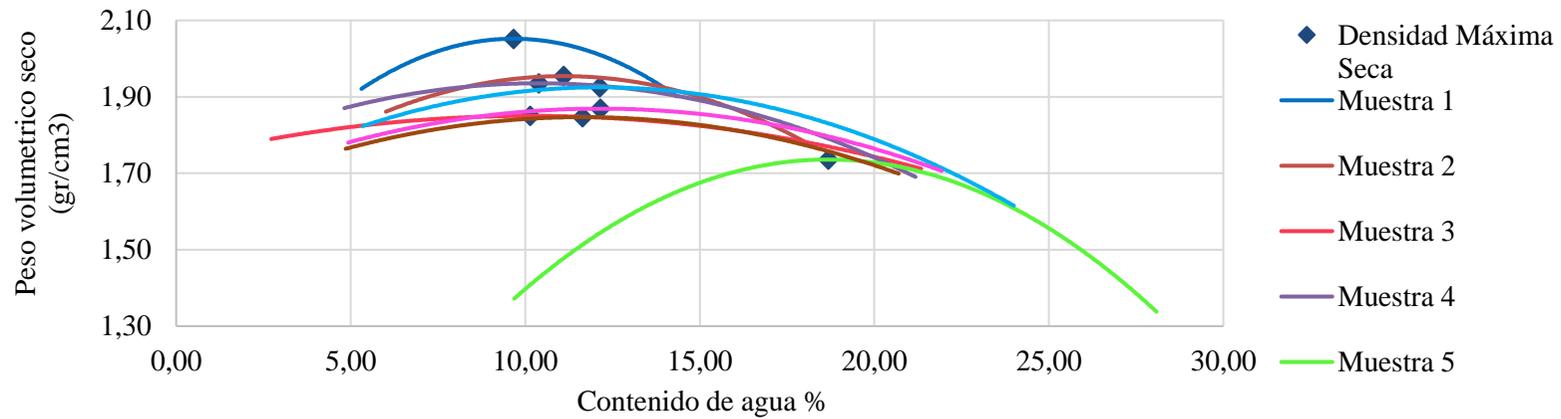


Ilustración 13. Curvas de compactación de la Base

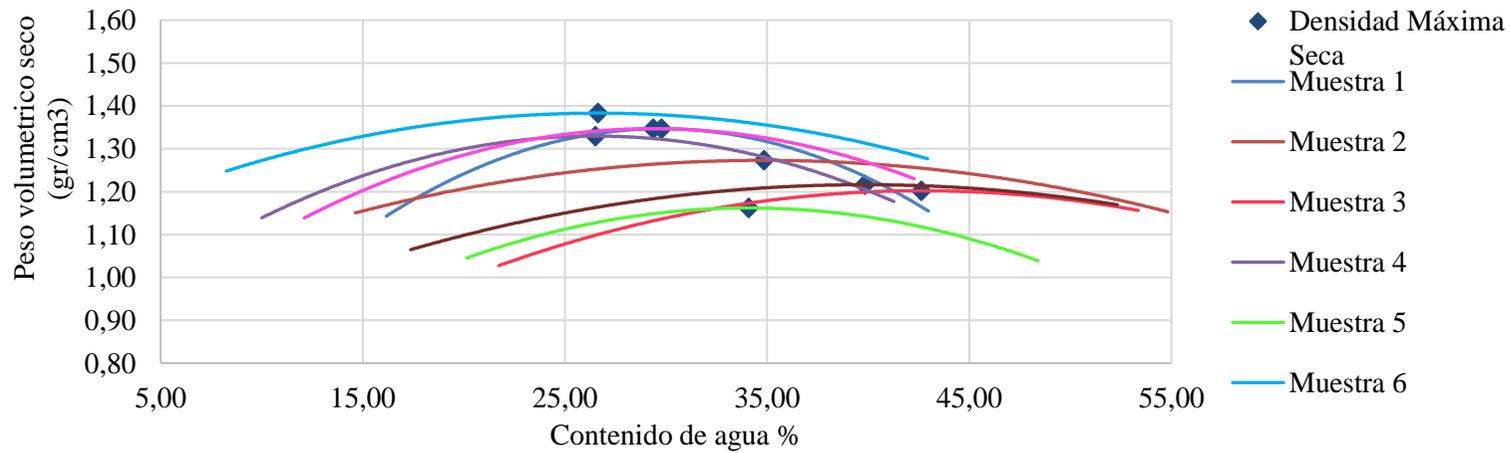


Ilustración 14. Curvas de compactación de la Sub-Rasante

4.1.4 Densidades

A continuación, en la Ilustración 155 e Ilustración 16 se exhibe la densidad de los estratos estudiados del pavimento, base y sub-rasante, respectivamente, mediante las cuales se presenta la comparación de las densidades obtenidas a partir de diferentes metodologías. Para ello se empleó una metodología de laboratorio y una in situ. Entre éstas, el ensayo Proctor Estándar proporcionó la densidad máxima seca de compactación bajo condiciones controladas de humedad determinado en laboratorio, y el ensayo de Cono de Arena brindó la densidad seca de compactación in situ.

Densidades- Cono de arena vs Proctor

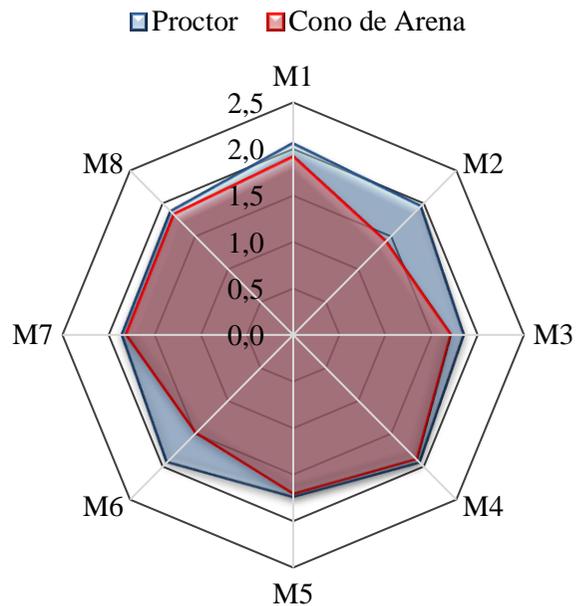


Ilustración 16. Densidades de la capa Base.

Densidades- Cono de arena vs Proctor

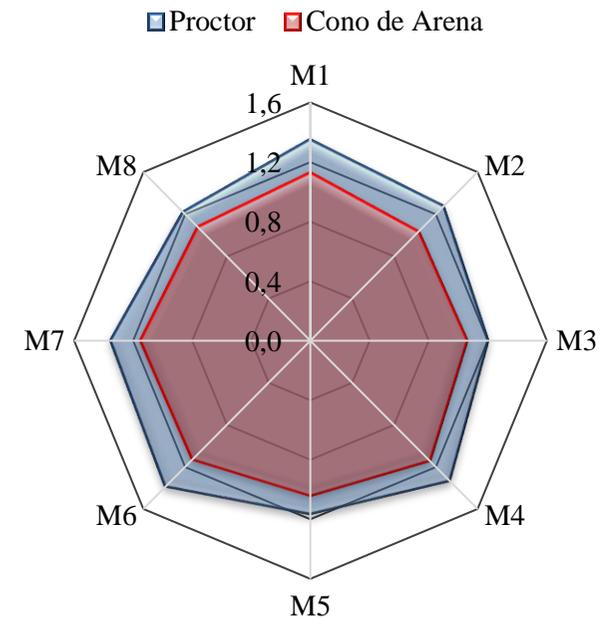


Ilustración 15. Densidades de la capa Sub-rasante.

Tabla 9. Resumen de densidades de la Base del pavimento articulado.

BASE DE PAVIMENTO ARTICULADO		
Densidades [gr/cm³]		
Muestra	Cono de Arena	Proctor
Muestra 1	1.91	2.05
Muestra 2	1.41	1.95
Muestra 3	1.70	1.85
Muestra 4	1.89	1.94
Muestra 5	1.71	1.74
Muestra 6	1.49	1.92
Muestra 7	1.81	1.85
Muestra 8	1.83	1.87

Tabla 10. Resumen de densidades de la Sub-rasante del pavimento articulado

SUBRASANTE DE PAVIMENTO ARTICULADO		
Densidades [gr/cm³]		
Muestra	Cono de Arena	Proctor
Muestra 1	1.13	1.35
Muestra 2	1.03	1.27
Muestra 3	1.06	1.20
Muestra 4	1.14	1.33
Muestra 5	1.04	1.16
Muestra 6	1.13	1.38
Muestra 7	1.15	1.35
Muestra 8	1.08	1.22

De la Tabla 9 se puede observar que en la mayoría de las bases granulares la densidad seca determinada por el método de cono de arena se acerca considerablemente a la densidad seca del Proctor, a excepción de la Muestra 2 y Muestra 6, sin embargo, no es una variación significativa. Mediante la Tabla 10 se constata que la densidad del cono de arena de las subrasantes no presenta fluctuaciones relevantes con la densidad del Proctor.

4.1.5 Humedades

La humedad se obtuvo por medio de las metodologías mencionadas en el apartado de Densidades. Las Ilustraciones 17 y 18 permiten expresar de manera fácil la comparación entre la humedad natural y la humedad óptima de las capas del pavimento. Se puede observar que en las bases la humedad natural, obtenida a partir del ensayo in situ de cono de arena concuerda predominantemente con la humedad óptima de compactación en la mayoría de las muestras. A diferencia de las subrasantes la humedad natural supera notablemente a la óptima de compactación.

Humedades- Cono de arena vs Proctor

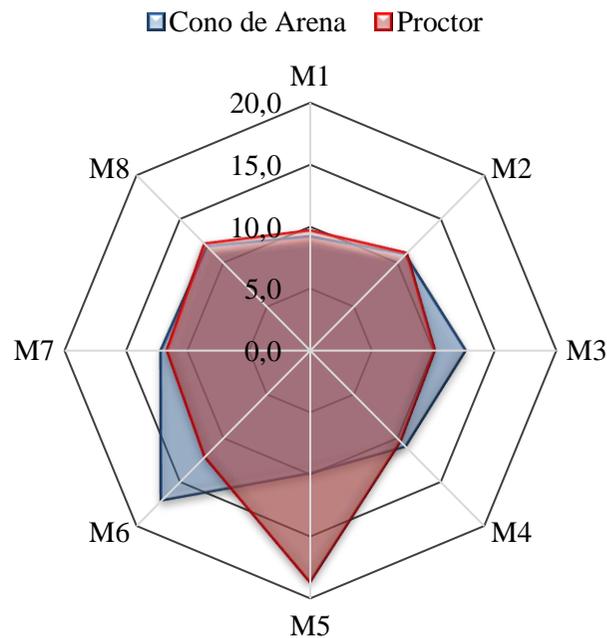


Ilustración 18. Humedad Natural y Humedad Óptima de la capa Base.

Humedades- Cono de arena vs Proctor

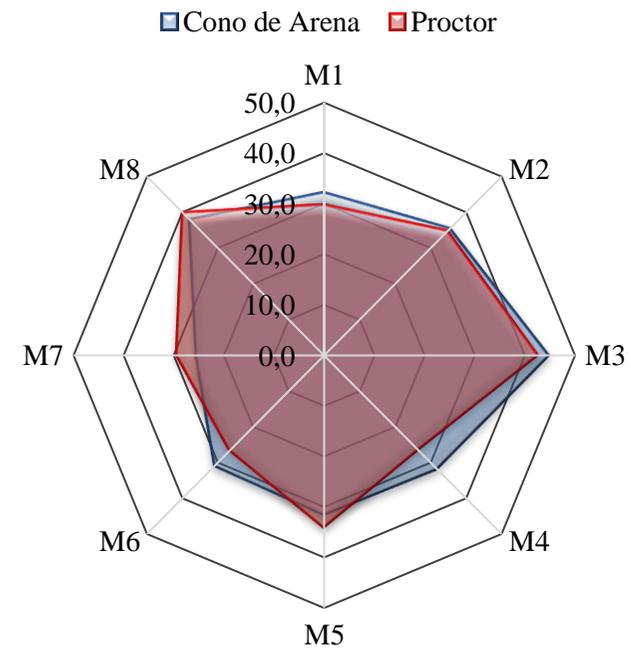


Ilustración 17. Humedad Natural y Humedad Óptima de la capa Sub-rasante.

Los valores registrados de humedad natural exhiben su comportamiento frente a la naturaleza del material y al clima tropical húmedo de la Amazonia Ecuatoriana. A continuación, la Tabla 11 resume los resultados obtenidos en las 8 bases estudiadas y la Tabla 12 presenta las humedades determinadas en las subrasantes.

Tabla 11. Resumen de las humedades en la base del pavimento articulado

BASE DE PAVIMENTO ARTICULADO		
Muestra	Humedades [%]	
	Cono de Arena	Proctor
Muestra 1	9.17	9.66
Muestra 2	10.93	11.10
Muestra 3	12.63	10.14
Muestra 4	10.96	10.38
Muestra 5	9.91	18.68
Muestra 6	17.08	12.14
Muestra 7	12.10	11.64
Muestra 8	11.80	12.15

Tabla 12. Resumen de las humedades en la Sub-Rasante del pavimento articulado

SUBRASANTE DE PAVIMENTO ARTICULADO		
Muestra	Humedades [%]	
	Cono de Arena	Proctor
Muestra 1	32.17	29.77
Muestra 2	35.40	34.83
Muestra 3	44.76	42.63
Muestra 4	31.70	26.50
Muestra 5	31.42	34.08
Muestra 6	30.78	26.63
Muestra 7	25.45	29.36
Muestra 8	37.85	39.83

4.1.6 Densidades y absorción de materiales granulares

La Tabla 13 presenta los resultados obtenidos de densidad y absorción realizados para áridos gruesos y áridos fino de la capa base; en la subrasante solo se realizó en ensayo en finos debido a la ausencia de áridos gruesos, mediante este ensayo se puede identificar que el extracto de la sub-rasante tiene un porcentaje de absorción mayor a la base eso debido a que la sub-rasante es más poroso y tiene una mayor capacidad de absorber agua.

Tabla 13. Densidad y Absorción de la Base y Sub-Rasante

Densidad y Absorción			
	Fino Base	Grueso Base	Fino Sub-Rasante
Densidad relativa (Gravedad específica)			
Densidad relativa (Gs) [SH]	2.41	2.47	1.51

Densidad relativa (Gs) [SSS]	2.57	2.53	1.92
Densidad relativa aparente (Gs aparente)	2.86	2.61	2.54
Densidad			
Densidad [SH] (kg/m ³)	2408.30	2466.57	1508.71
Densidad [SSS] (kg/m ³)	2560.41	2519.89	1911.86
Densidad aparente [SSS] (kg/m ³)	2857.57	2606.05	2532.71
Absorción			
Porcentaje de absorción (%)	6.49	2.17	26.82

La Ilustración 19 presenta el porcentaje de absorción en promedio de cada árido ensayado según la capa, mediante la cual se observa que la sub-rasante es la que mayor porcentaje representa debido a la presencia de arcillas en su composición. De igual manera, el agregado fino de la base presenta mayor absorción a comparación del agregado grueso.

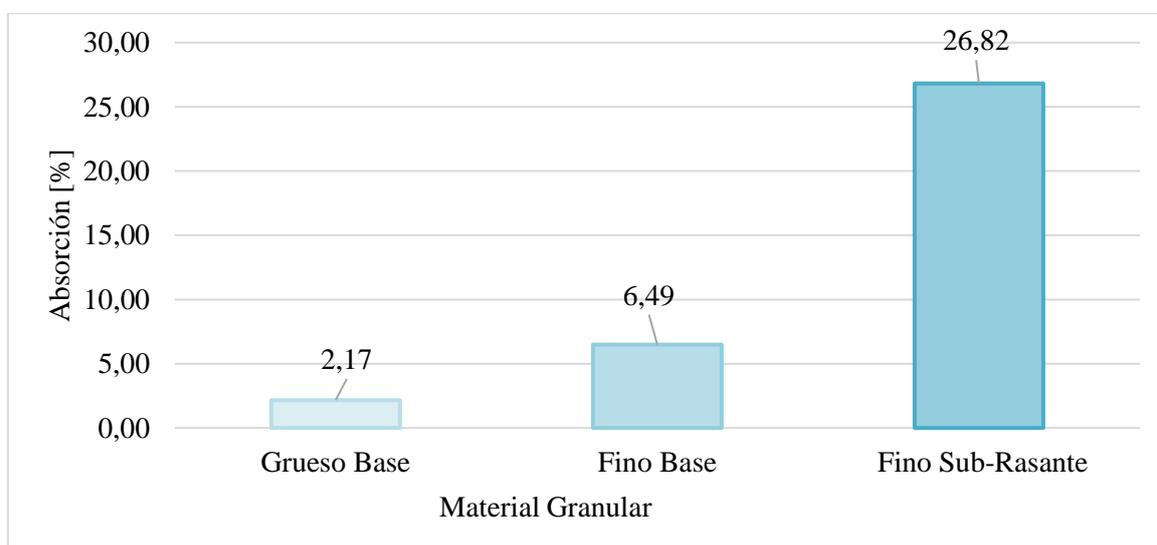


Ilustración 19. Absorción de las capas granulares

4.1.7 Grado de compactación

La determinación del grado de compactación tanto de la base como de la sub-rasante se obtuvo mediante la relación entre la densidad máxima seca y la densidad seca in situ, lo cual se presenta por medio de las Ilustraciones 20 y 21, respectivamente, mediante las cuales se puede observar variaciones mínimas entre las diferentes muestras.

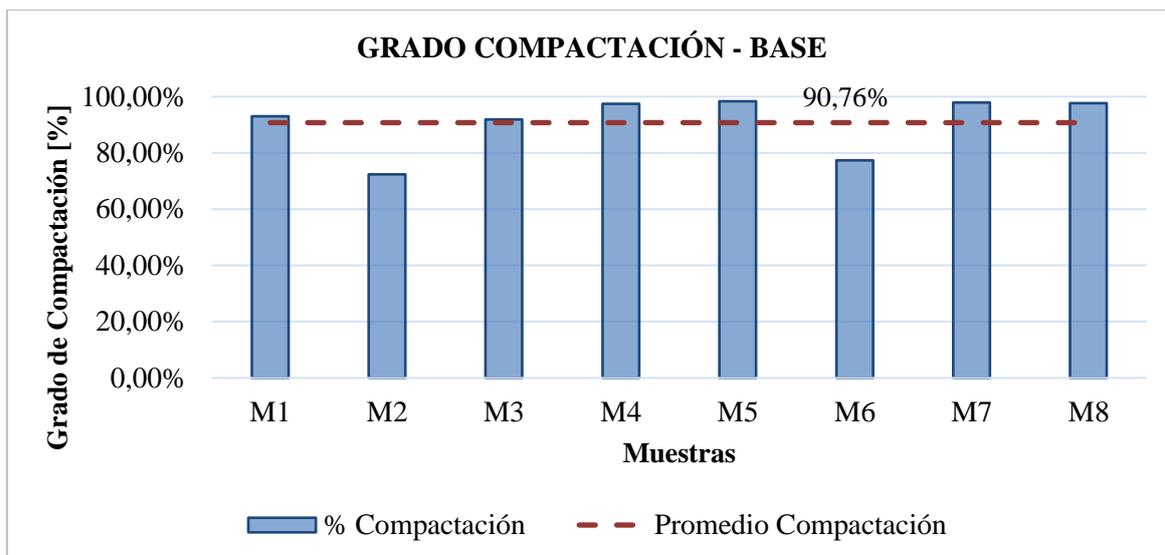


Ilustración 20. Grado de compactación-Base

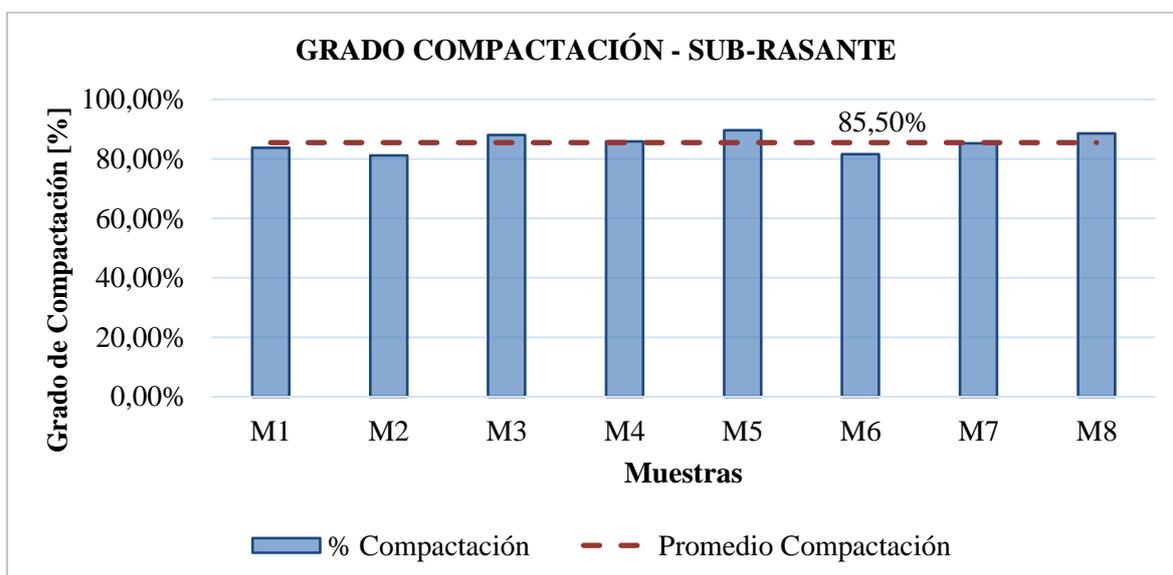


Ilustración 21. Grado de compactación-Sub-Rasante

Tabla 14. Grado de compactación correspondiente a la Base y Sub-Rasante del pavimento articulado

GRADO DE COMPACTACION [%]		
Método: Cono de Arena		
Muestra	Base	Sub-Rasante
Muestra 1	93.03%	83.74%
Muestra 2	72.38%	81.17%
Muestra 3	91.90%	88.03%
Muestra 4	97.44%	85.86%
Muestra 5	98.33%	89.68%
Muestra 6	77.38%	81.64%
Muestra 7	97.95%	85.28%

Muestra 8	97.69%	88.57%
Promedio	90.76%	85.50%

La Tabla 14 expone los resultados del grado de compactación en porcentaje. Las bases tienen un grado de compactación mayor a 90%, a excepción de dos casos, la muestra 2 con 72.38% y la muestra 6 con 77.38%. La muestra 4, 5, 7 y 8 cumple con la normativa (MTOPI, 2013), en donde se especifica que las capas granulares deben tener un grado de compactación mínimo de 95%.

Las sub-rasantes presentan cierta consistencia de compactación entre las 8 muestras, con un valor promedio de 85.50% lo que no es aceptable como criterio de calidad para la estructura del pavimento según lo establecido en (MTOPI, 2013).

GRADO DE COMPACTACIÓN

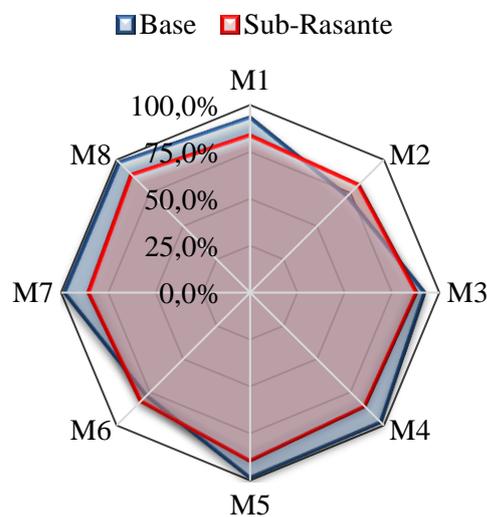


Ilustración 22. Grado de compactación correspondiente a la base y sub-rasante.

4.2 Propiedades mecánicas del pavimento articulado

4.2.1 Módulo de Young, Modulo de rigidez y CBR

El GeoGauge proporcionó valores del módulo de Young y del módulo de rigidez para la capa base y la capa subrasante, medidos en los 8 puntos de estudio. En la Tabla 15 se muestran los valores de las bases, así como la estimación del CBR mediante ecuaciones de correlación descritas en la metodología. De las 5 ecuaciones planteadas, la que arroja mejores valores es la **Ecuación 5** ajustándose a las condiciones locales, propuesta por (Abu-Farsakh et al., 2004).

La base 2 proporcionó las lecturas más bajas de GeoGauge, dando un CBR de 23.91%. Según la (MTOPI, 2013), el valor de soporte CBR debe ser igual o mayor a 80% para mantener un buen desempeño estructural, sin embargo, en ninguno de las 8 muestras se

cumple con lo especificado, esto nos indica que existe una necesidad crítica de implementar controles de calidad en los materiales previo a su empleo en obra.

Tabla 15. Datos obtenidos mediante el GeoGauge y cálculo del CBR

BASE DE PAVIMENTO ARTICULADO							
N° de Muestras	Módulo de Rigidez [MN/m]	Módulo de Young [MPa]	CBR Ec. [1]	CBR Ec. [2]	CBR AASHTO [3]	CBR Ec. [4]	CBR Ec. [5]
1	10.12	75.02	20.64	24.29	19.50	16.31	28.17
2	7.67	58.87	8.70	11.50	12.65	7.84	23.91
3	9.47	70.23	17.39	20.55	17.58	13.58	26.94
4	9.88	73.28	19.48	22.88	18.78	15.30	27.72
5	10.98	81.39	24.66	29.61	22.15	20.22	29.76
6	8.8	65.22	13.74	16.96	15.68	10.92	25.62
7	8.57	81.15	24.51	15.79	15.04	20.06	29.70
8	9.16	70.05	17.26	18.86	16.69	13.49	26.89

La Tabla 16 presenta las lecturas del GeoGauge junto con las estimaciones de CBR, para las cuales se utilizó las ecuaciones para subrasantes planteadas en la metodología, mediante ellas se obtiene valores de CBR sumamente bajos, lo cual se debe a la composición de las muestras, es decir, al alto contenido de finos con presencia de limos y/o arcillas medianamente plásticas. Además, se analiza que no se consideró un mejoramiento en la subrasante, ya que según (MTO, 2013), establece un CBR en campo mínimo de 20% para subrasantes con mejoramiento. Esto es perjudicial para asegurar la vida útil del pavimento y su correcto funcionamiento. Entre las 4 ecuaciones planteadas, se optó por la **Ecuación 6**, propuesta por (Rondón-Quintana et al., 2013), debido a que es la que ofrece valores más altos de CBR y la que mejor se relaciona a nuestro caso de estudio.

Tabla 16. Datos obtenidos mediante el GeoGauge y cálculo del CBR

SUB-RASANTE DE PAVIMENTO ARTICULADO							
N° de Muestras	Módulo de Rigidez [MN/m]	Módulo de Young [MPa]	CBR AASHTO [3]	CBR Ec. [5]	CBR Ec. [6]	CBR Ec. [7]	
1	3.3	24.48	3.39	2.45	3.41	2.37	
2	2.81	23.98	2.63	2.20	3.31	2.32	
3	3.15	24.19	3.15	2.38	3.35	2.34	
4	3.89	28.87	4.38	2.74	4.27	2.79	
5	3.67	28.45	4.00	2.63	4.19	2.75	
6	3.76	27.92	4.15	2.68	4.08	2.70	
7	2.73	20.23	2.52	2.16	2.63	1.96	
8	3.21	24.3	3.24	2.41	3.37	2.35	

(García, 2023) sostiene que un CBR entre 3% - 7% corresponde a una subrasante de calidad pobre a regular, dicho esto, se establece que las subrasantes son muy susceptibles a

deformaciones y no aptas como subrasantes sin mejoramiento para pavimentos. Así mismo, indica un CBR de 20% - 50% correspondiente a una base de buena calidad, sin embargo, debe ser considerado para tráfico bajo a medio, lo cual hace que las bases analizadas tengan un CBR adecuado para las condiciones de la zona.

MODULO DE YOUNG [MPa]

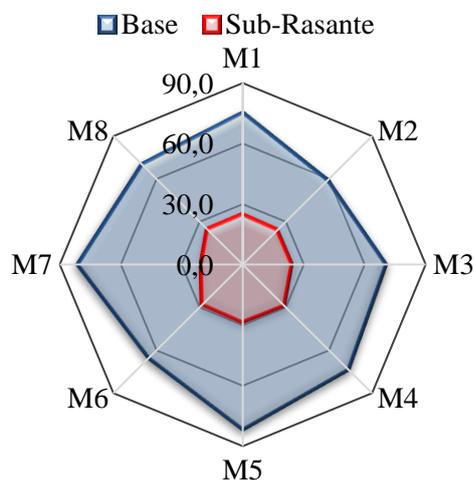


Ilustración 23. Módulo de Young obtenido con el Geogauge

4.2.2 Desgaste del agregado grueso de la base granular

La Tabla 17 revela los porcentajes de desgaste abrasivo del agregado grueso de las bases, según el análisis granulométrico, a todas les corresponde una gradación A. De lo cual tenemos que la Muestra 1 es la que tienen mayor porcentaje con un valor de 41.02% de abrasión y la muestras 4 es la que menor abrasión presenta con 33.88%. En la (MTO, 2013), se especifica que, si los materiales van a conformar capas estructurales, los agregados gruesos deben tener un desgaste a la abrasión no mayor a 50%, lo cual evidencia que los resultados obtenidos están dentro del rango establecido por la norma.

Tabla 17. Porcentaje de abrasión del agregado grueso de la Base

Agregado Grueso de la Base		
Muestra	Porcentaje de abrasión [%]	Promedio [%]
M1	41.02%	
M2	35.58%	
M3	34.88%	
M4	33.88%	
M5	39.77%	36.92%
M6	40.87%	
M7	34.18%	
M8	35.18%	

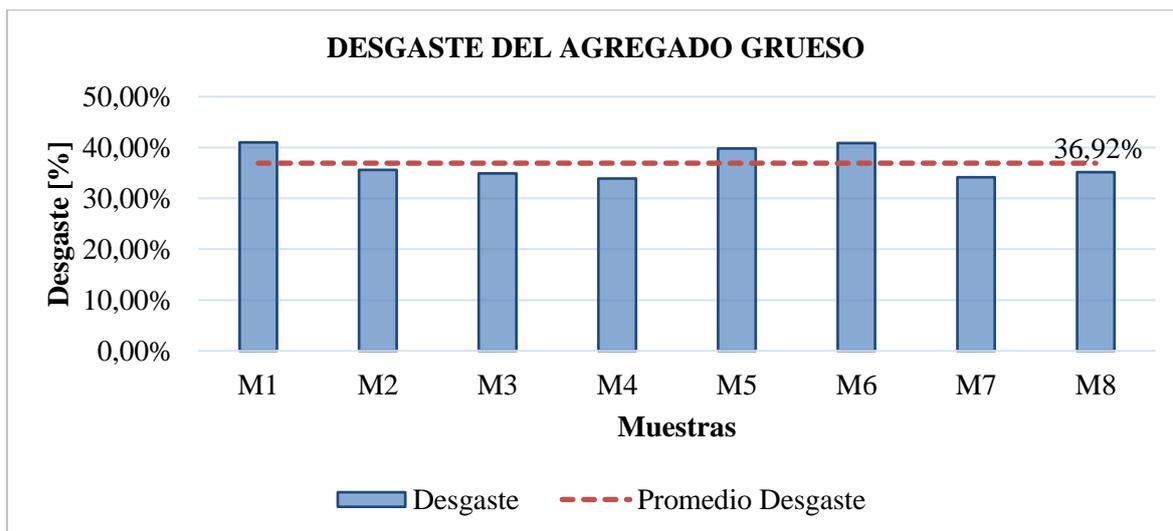


Ilustración 24. Desgaste del agregado grueso correspondiente a la base

4.2.3 Resistencia a la compresión de adoquines

Mediante este ensayo se calculó la resistencia a la compresión a un lote de 10 adoquines extraídos del lugar del muestreo, donde se puede identificar que la resistencia a la compresión característica del lote es de 41.10 MPa, el cual está por encima del valor mínimo de 40 MPa que identifica la norma INEN 1488 como resistencia característica de compresión. Cabe recalcar que ésta es una norma no vigente, ya que como la presente normativa INEN 3040 para requisitos y ensayos de adoquines de hormigón, la resistencia a la compresión ya no es un ensayo necesario para establecer como requisito de calidad, sino más bien prioriza otros métodos de evaluación más representativos de la calidad del cemento. Estos adoquines se presentan en buenas condiciones con respecto al parámetro de resistencia debido a que en la zona de estudio no se presenta circulación ni flujo de vehículos pesados es por eso que los adoquines se han mantenido en buenas condiciones; a continuación, se presenta en la Tabla 18 los resultados del ensayo.

Tabla 18. Resistencia a la compresión de lote de 10 adoquines

Identificación	Área Total [mm ²]	Espesor [cm]	Bisel	Carga máxima [N]	Resistencia a la compresión [MPa]
1	53502.00	8	1.11	2933800	54.835
2	51884.00	8	1.11	2604712	50.203
3	61250.00	9	1.11	2843501	46.425
4	64009.00	8.8	1.11	2708716	42.318
5	51903.00	8	1.11	2209841	42.576
6	53460.00	7.8	1.11	2382251	44.561
7	52140.00	7.9	1.11	2471919	47.409
8	51863.00	8	1.11	2616947	50.459
9	52800.00	8	1.11	2628538	49.783
10	60025.00	9	1.11	2788538	46.456

La Ilustración 25 compara de forma gráfica la resistencia de cada adoquín frente a lo mínimo permitido en la normativa ecuatoriana, es decir que todas las muestras del lote cumplen.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ADOQUINES

■ Resistencia actuante ■ Resistencia Mínima

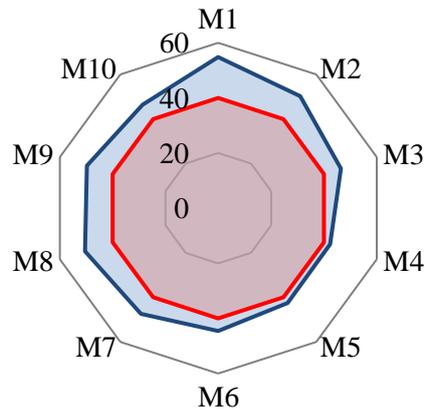


Ilustración 25. Resistencia a la compresión del adoquín

4.2.4 Absorción en adoquines

A continuación, se presenta los resultados obtenidos del ensayo de absorción donde se puede observar que se promedia un porcentaje de absorción de 5.58% el cual está por debajo del establecido en la norma (INEN, 2016), el cual establece que se debe mantener un porcentaje de absorción en adoquines inferior al 6%; el ensayo se realizó en un lote de 10 adoquines con los siguientes resultados:

Tabla 19. Absorción a lote de 10 adoquines

Identificación	Longitud [cm]	Ancho [cm]	Masa Saturada de agua [kg]	Masa Seca [kg]	Absorción [%]
1	24.10	22.20	8.596	8.107	6.03
2	23.80	21.80	8.127	7.635	6.44
3	25.00	24.50	10.471	10.13	3.37
4	25.30	25.30	10.059	9.731	3.37
5	23.70	21.90	8.012	7.399	8.28
6	24.30	22.00	8.193	7.64	7.24
7	23.70	22.00	8.097	7.644	5.93
8	23.90	21.70	8.274	7.752	6.73
9	24.00	22.00	8.405	7.972	5.43
10	24.50	24.50	10.968	10.651	2.98

4.3 Propiedades Hidráulicas del pavimento articulado

Para el análisis de las propiedades hidráulicas se utilizó la metodología descrita en la normativa ASTM D-3385-05, el cual detalla el uso del infiltrómetro de doble anillo, la misma que se modificó por parte de la Universidad Nacional de Chimborazo con el objetivo de recolectar los datos pertinentes, por esta razón resulta necesario comprender las condiciones y características bajo las cuales llevaron a cabo dicho ensayo.

4.3.1 Permeabilidad

Mediante el ensayo in situ de infiltración se pudo obtener el valor de la velocidad e infiltración de cada muestra estudiada y el coeficiente de escorrentía correspondiente a cada uno como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 20. Resumen del ensayo de infiltración en el pavimento articulado

Velocidad de infiltración vs Tiempo								
Tiempo acumulado (h)	Velocidades de infiltración K (cm/h)							
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7	Muestra 8
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	3.8	2.8	1.4	1.8	3	2	1.4
1.5	1	2.6	2.4	1.8	1.4	2.8	1.8	1.8
2	0.8	1.6	2	1.6	1.2	2.4	1.2	2.2
2.5	0.4	1.2	1.8	1.2	1.2	2.4	1	1.6
3	0.8	1.2	1.2	1.2	1	2	1.2	1
3.5	0.8	2	1.4	1.4	0.8	2	1.2	1
4	0.8	1.4	0.8	1.2	0.6	2	1	1.4
4.5	0.4	1.4	1.2	1	0.6	2	1	1.2
5	0	0.8	0.8	1	0.2	2	1	1.2
5.5	0	1	1.4	0.8	-	1.2	1	1
6	-	1.4	1	-	-	0.8	1	0.6
6.5	-	1	1	-	-	0.8	-	0.6
7	-	1.4	1	-	-	-	-	0.6
7.5	-	1.4	-	-	-	-	-	-
8	-	1	-	-	-	-	-	-
C (%)	94.34%	77.65%	82.10%	88.69%	92.01%	78.41%	87.93%	85.14%
Clima	Nublado	Soleado	Soleado	Nublado	Lluvioso	Soleado	Nublado	Nublado
Estado	Bueno	Regular	Bueno	Bueno	Bueno	Regular	Bueno	Bueno

4.3.2 Infiltración

En la tabla 21 se presenta varios resultados con los cuales se relaciona las características del suelo con los resultados del ensayo de infiltración (infiltración y escorrentía).

Tabla 21 . Características del pavimento articulado

Resumen de las características del pavimento Articulado					
Muestra	Característica				Observación
	Infiltración (%)	Escorrentía (%)	Absorción (%)	Compactación (%)	
Muestra 1	5.66%	94.34%	9.89	93.03%	A
Muestra 2	22.35%	77.65%	6.38	72.38%	B
Muestra 3	17.90%	82.10%	5.26	91.90%	B
Muestra 4	11.31%	88.69%	4.17	97.44%	C
Muestra 5	7.99%	92.01%	13.64	98.33%	A
Muestra 6	21.59%	78.41%	5.26	77.38%	B
Muestra 7	12.07%	87.93%	2.04	97.95%	C
Muestra 8	14.86%	85.14%	5.26	97.69%	C

Observaciones

A: La zona no presenta agrietamientos; se presentan lluvias a gran intensidad horas previas a realizar el ensayo, por el cual el suelo se presenta saturado en el momento del ensayo.

B: La zona no presenta agrietamientos; no presenta precipitaciones previo al día del ensayo, con temperaturas altas alrededor de 29°C.

C: La zona no presenta agrietamientos; aproximadamente 24 horas de sol previo al momento del ensayo, cuenta con un clima templado.

Una vez realizado el ensayo de infiltración se puede destacar que la muestra 2 y 6 son los que tienen un mayor valor de infiltración con un porcentaje 22,35% y 21,59% respectivamente, estos resultados se pueden atribuir a que las mismas muestra son las que tienen un grado de compactación más bajo.

CURVAS DE INFILTRACIÓN

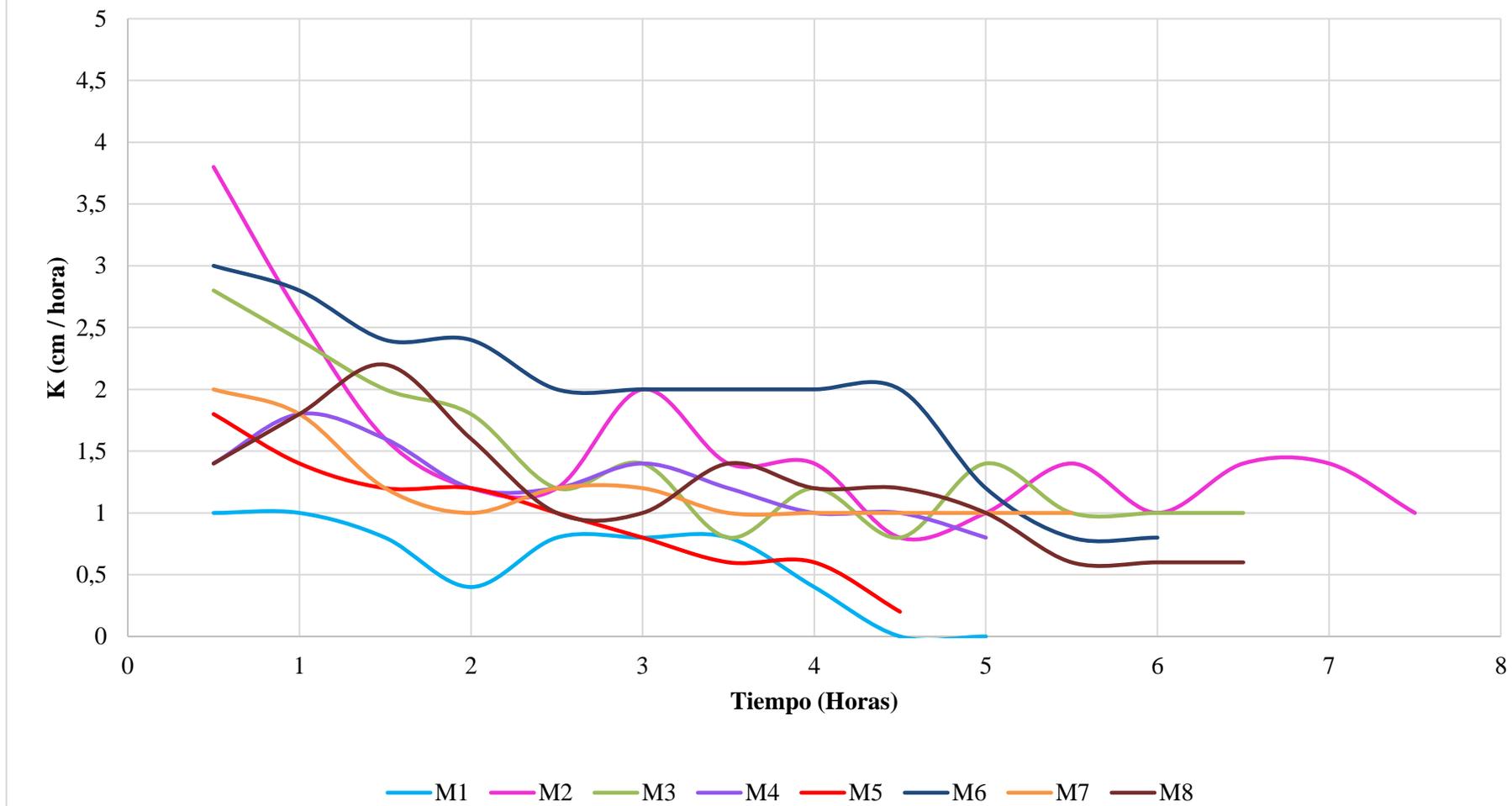


Ilustración 26. Curvas de infiltración de las 8 muestras realizadas

Comportamiento de curvas de infiltración

La Ilustración 26 presenta las curvas de infiltración obtenidas experimentalmente, donde se observa la relación entre la tasa de infiltración (mm/h) y el tiempo transcurrido (min/h). El comportamiento de las curvas está influenciado por el espaciamiento de las juntas, características de las capas inferiores del pavimento y de factores ambientales y climático. Las 8 muestras corresponden a pavimentos con capas de rodaduras en condiciones considerablemente buenas. Las curvas de M2, M3 y M6 demuestran un comportamiento de decrecimiento exponencial debido a que inician alcanzando altos valores de velocidad de infiltración que disminuyen progresivamente con el tiempo, reflejando la saturación gradual del suelo, es importante recalcar que ninguna alcanza una velocidad constante antes de las 4 – 5 horas, lo que indica que el suelo tarda en equilibrar su capacidad de infiltración. Por otro lado, las curvas M4, M7 y M8 presentan un comportamiento hidrológico similar caracterizado por sus velocidades de infiltración relativamente constantes, se destaca que al estar sometidas a condiciones de clima nublado favorece a una infiltración más predecible y menos variables.

La M2 y M8 a lo largo del ensayo presentan fluctuaciones en sus curvas, esto puede ser representativo de que los estratos por debajo del adoquinado son heterogéneos en su compactación y composición. Dando como resultado que el agua pueda encontrar mayores zonas de permeabilidad, aumentando temporalmente la infiltración y posteriormente disminuyendo. Además, es importante considerar que las dos muestras presentan mayor porcentaje de material fino en la base. La M2 presenta variaciones más pronunciadas debido a que presenta el menor grado de compactación a comparación de las otras muestras permitiendo el ingreso del agua de manera más descontrolada.

En especial las curvas M1 y M5 manifiestan una reducción significativa de la velocidad de infiltración aproximándose a cero. En el primer caso se debe a problemas de encharcamiento en la zona producto de lluvias previas al día del ensayo. La curva M5 tiene la particularidad de haber estado sometido a lluvias de alta intensidad horas previo al ensayo de infiltración llegando a una posible saturación del suelo

4.3.3 Análisis del coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía es otro de los resultados que se obtienen mediante la metodología de ensayo de infiltrómetro. Valores que se exponen en la Ilustración 27 para cada uno de los puntos propuestos a estudiar.

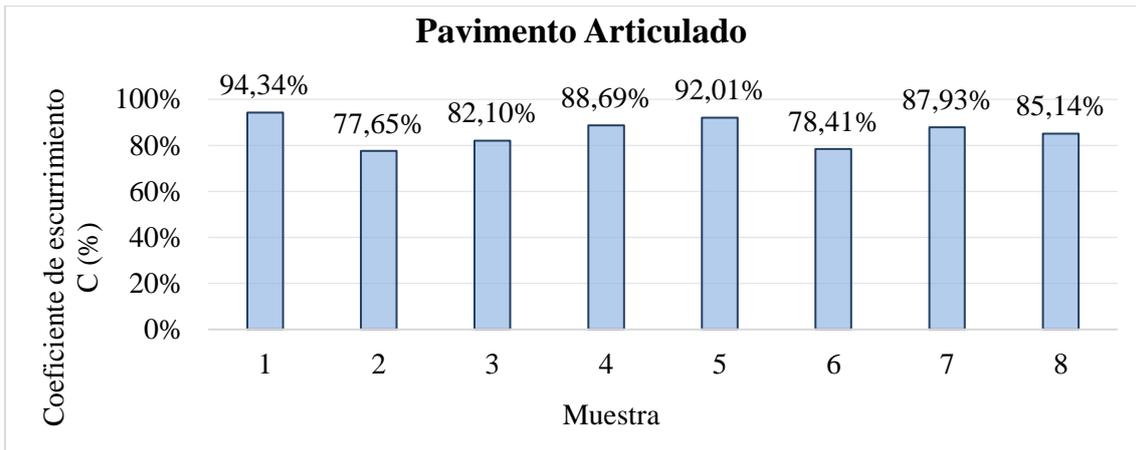


Ilustración 27. Coeficiente de escurrimiento de cada muestra

Los valores de la M2 y M6 representan los coeficientes de escurrimiento menores de 77.65% y 78.41%, respectivamente, el resultado de estos valores se ven relacionados con el grado de compactación tanto de la base como de la sub-rasante, los mismos que representan los valores más bajos, permitiendo que en los estratos del pavimento se presenten mayor cantidad de poros por ende mayor infiltración de agua. De la misma manera, se observa que el mayor C se da en la M1 con 94.34% presentado uno de los grados de compactación más altos tanto en la base como en la sub-rasante, corroborando así que existe menor cantidad de poros en los estratos impidiendo la infiltración y aumentando el porcentaje de escurrimiento.

En la Ilustración 28 constan los valores de escurrimiento propuesta por la normativa EIOS para diseño de sistemas de alcantarillado pluvial en función de diferentes tipos de superficies, además se plasma el valor promedio de coeficiente de escurrimiento correspondiente a 85.78%. Mediante un análisis comparativo con empedrado de juntas pequeñas se puede observar que sobrepasa el límite máximo

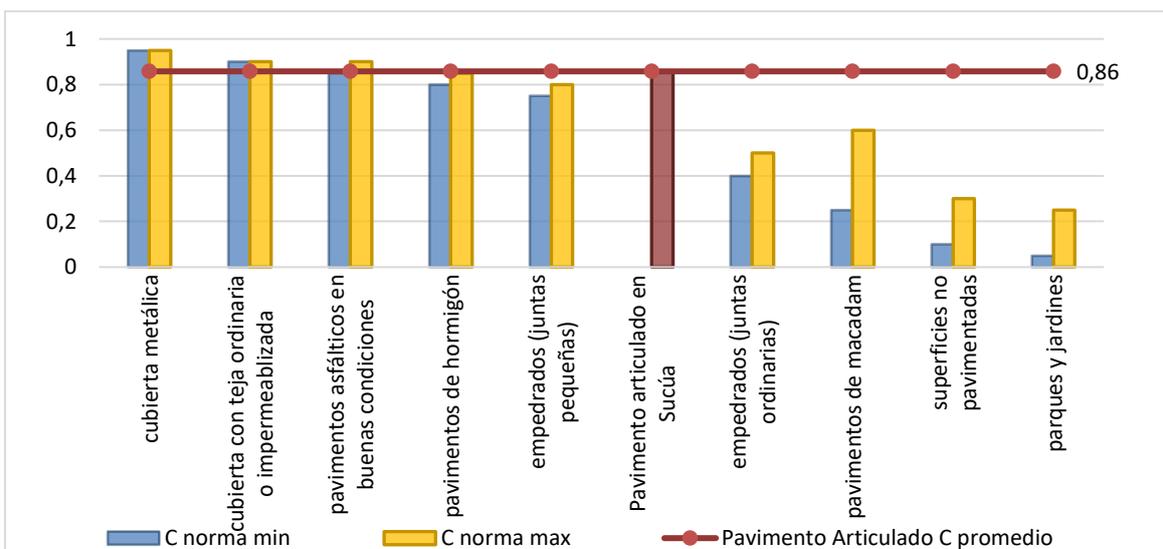


Ilustración 28. Comparación entre el "C" obtenido y el "C" propuesta por la norma

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

4.4.1 Relación entre el CBR y Esgurrimento

Se determino una vez realizados los ensayos pertinentes que existe una buena correlación entre las variables con un $R^2 = 0.7033$ como se puede observar en la ilustración 29, el cual nos indica que el modelo tiene un buen nivel de ajuste a los datos proporcionados, lo que significa que los datos están cerca de la tendencia lineal, dándonos un grado de confianza alto.

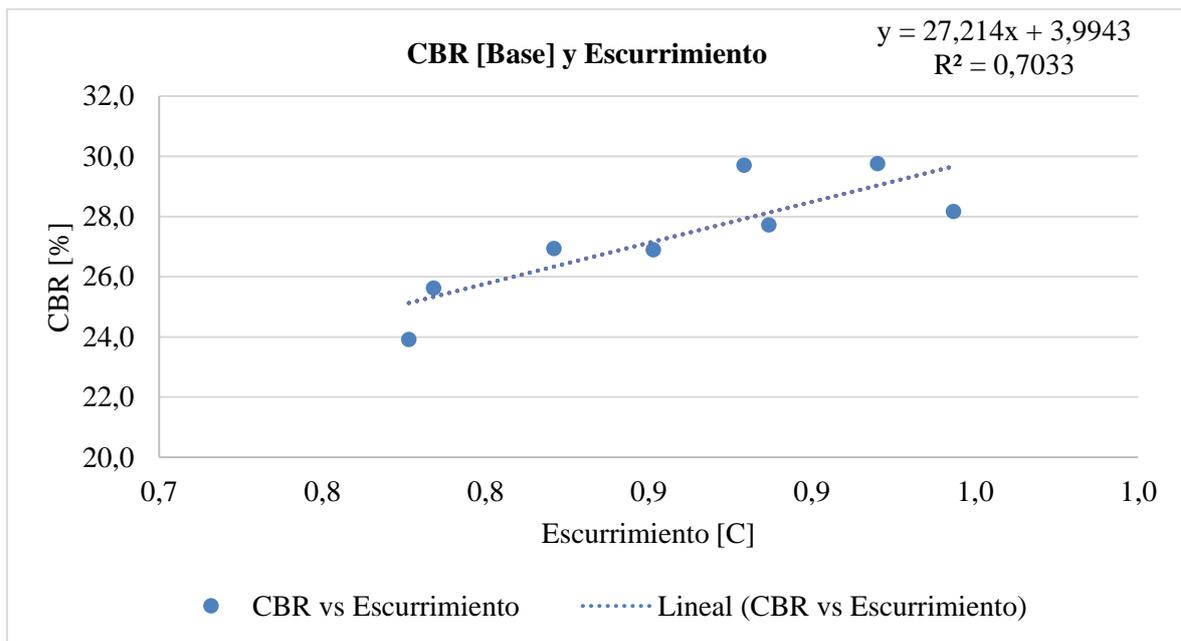


Ilustración 29. Comparación entre el coeficiente de esgurrimento y el CBR (%)

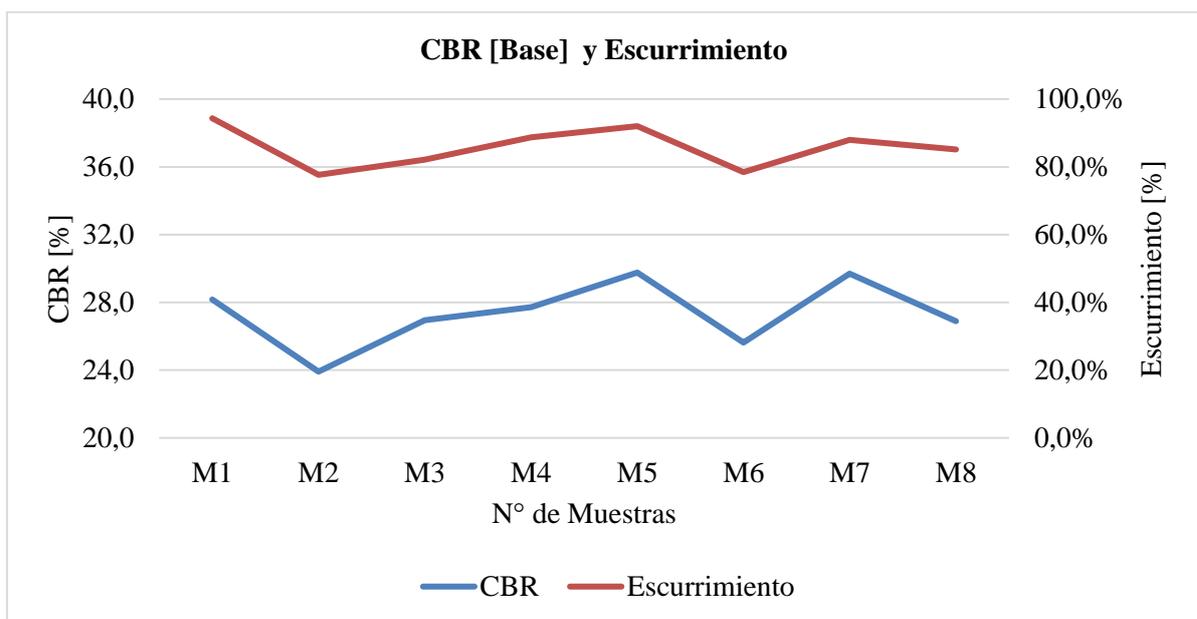


Ilustración 30. Diagrama de relación entre el CBR y el Esgurrimento

En la ilustración 30 se puede observar un diagrama de doble entrada en el cual se relaciona el CBR y el escurrimiento para poder realizar un análisis de manera grafica para un mejor entendimiento del comportamiento de las bases y su relación entre las propiedades físico-mecánicas e hidráulicas.

Mediante este análisis se pudo determinar que existe una correlación directa; es decir mientras un valor crece el otro crece de igual manera y viceversa.

4.4.2 Relación entre CBR e Infiltración

A continuación, se presenta la relación determinada entre el soporte CBR y la infiltración, en donde a partir de la Ilustración 31 la cual establece un coeficiente de correlación R de 0.70 por lo cual se determina que las variables mantienen una relación positiva moderadamente fuerte.

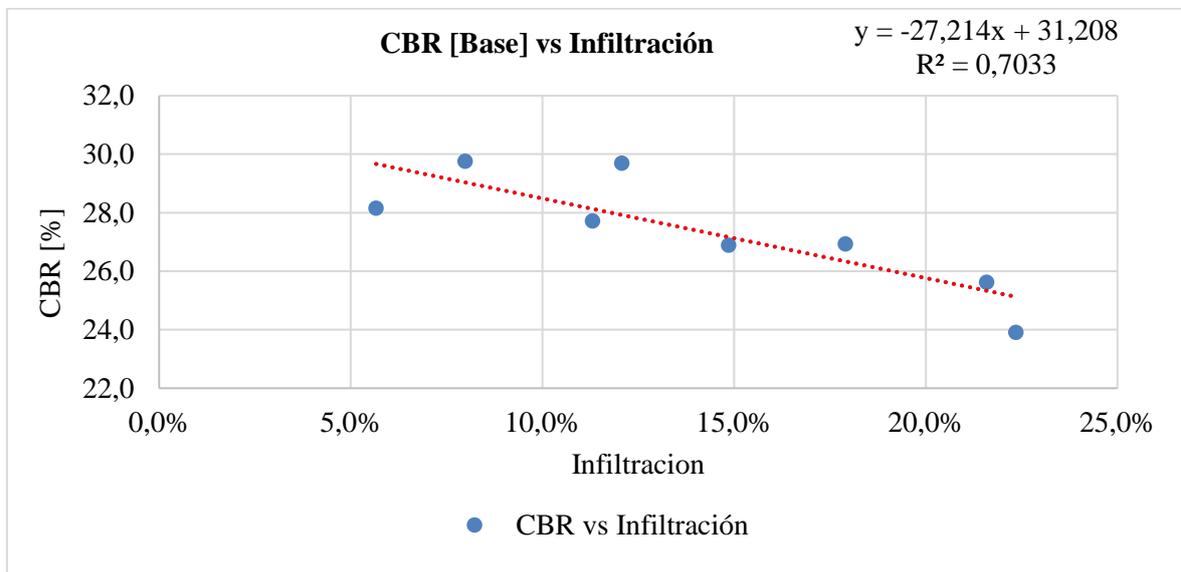


Ilustración 31. Comparación entre la infiltración (%) y el CBR (%)

Mediante la Ilustración 32 se puede corroborar la relación entre el porcentaje de infiltración y CBR, la misma que se define como inversamente proporcional debido a que según va aumentando la fracción de infiltración, el porcentaje de CBR va disminuyendo y viceversa. Dicho esto, los mayores valores de infiltración corresponden a los menores porcentajes de CBR, siendo la M2 y M6 una representación clara.

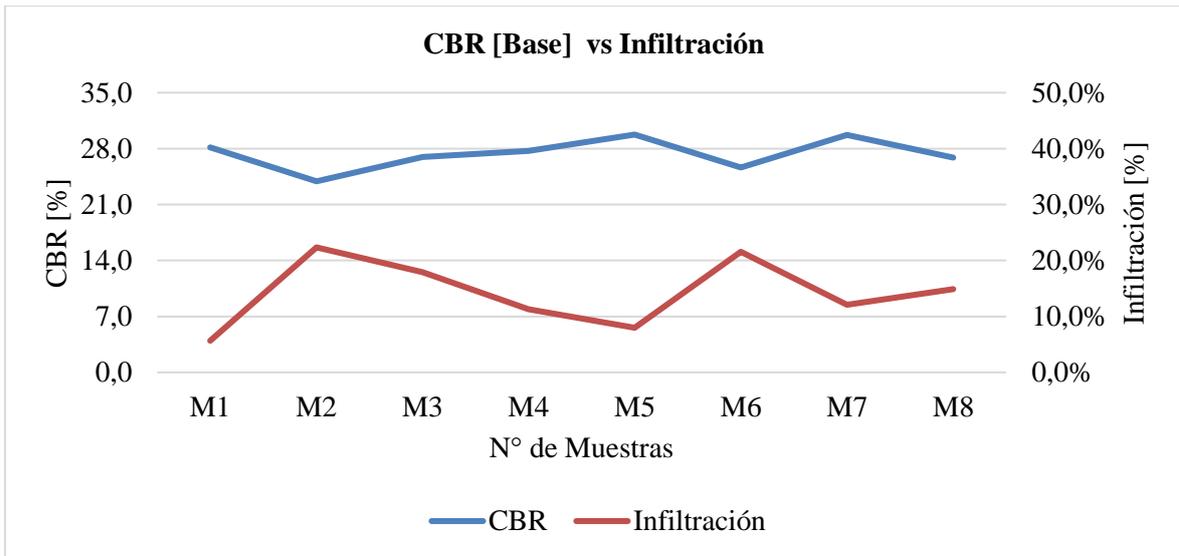


Ilustración 32. Diagrama de relación entre el CBR y la Infiltración

4.4.3 Relación entre el Grado de compactación y la Infiltración

En la ilustración 33 y 34, se puede observar la correlación y relación que existe entre ambas variables, determinando así que existe una correlación inversamente proporcional, debido a que gráficamente se puede observar que mientras la una variable crece la otra decrece y viceversa.

Con una relación de $R^2 = 0,6173$ que nos da a entender que las variables tienen un ajuste moderado al modelo de tendencia lineal, esto debido a que tenemos 2 variables ligeramente separados de los demás como se muestra a continuación en la ilustración 33.

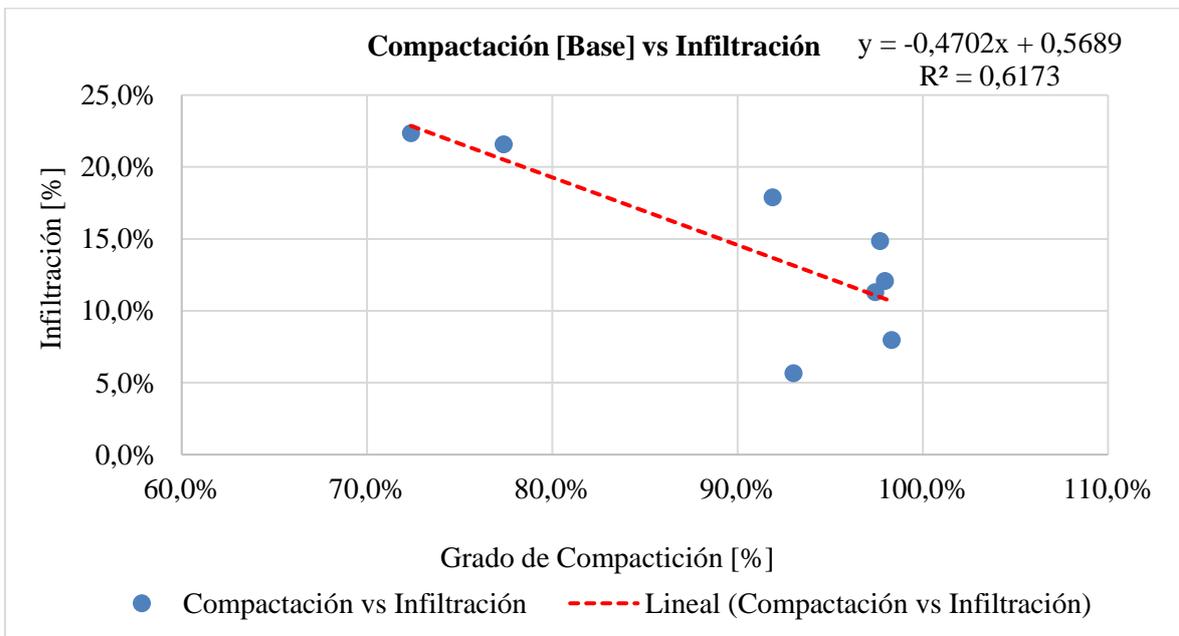


Ilustración 33. Comparación entre el grado de compactación (%) y la infiltración (%)

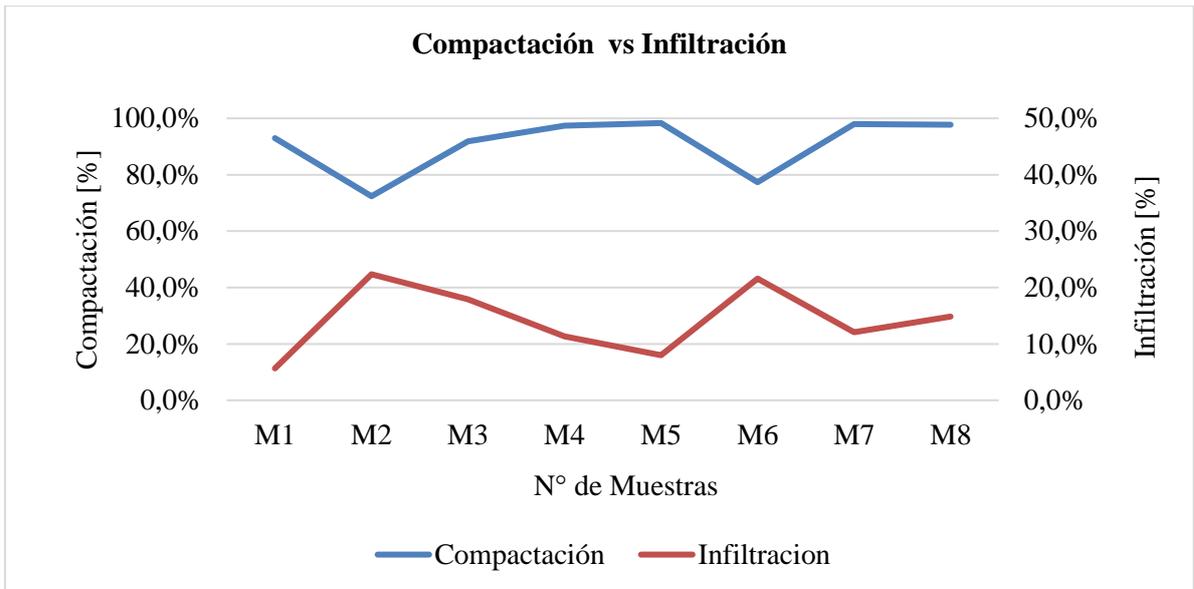


Ilustración 34. Diagrama de relación entre la compactación y la Infiltración

4.4.4 Relación entre CBR (%) y el Grado de compactación

En las siguientes ilustraciones se puede observar la relación que existe entre el CBR y el grado de compactación, en donde determinamos que existe una correlación directamente proporcional, a medida que el CBR aumenta el grado de compactación es mayor y viceversa.

Con una relación $R^2 = 0.7531$ que señala una fuerte relación de las variables que se ajustan muy bien a la línea de tendencia.

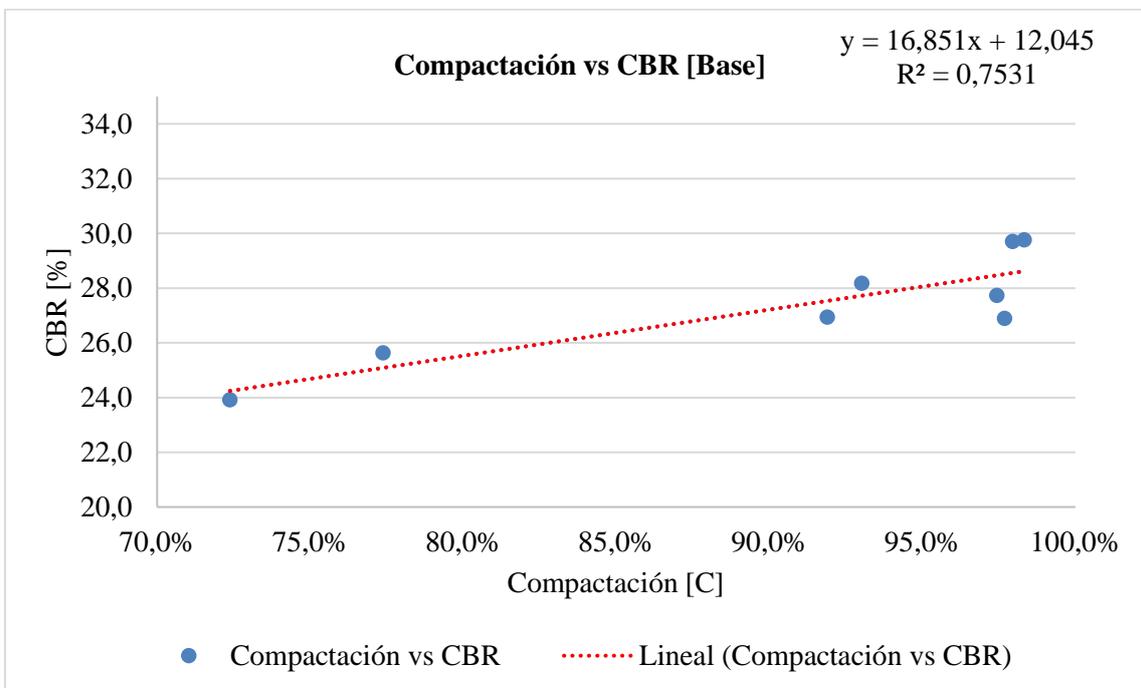


Ilustración 35. Comparación entre el grado de compactación (%) y el CBR (%)

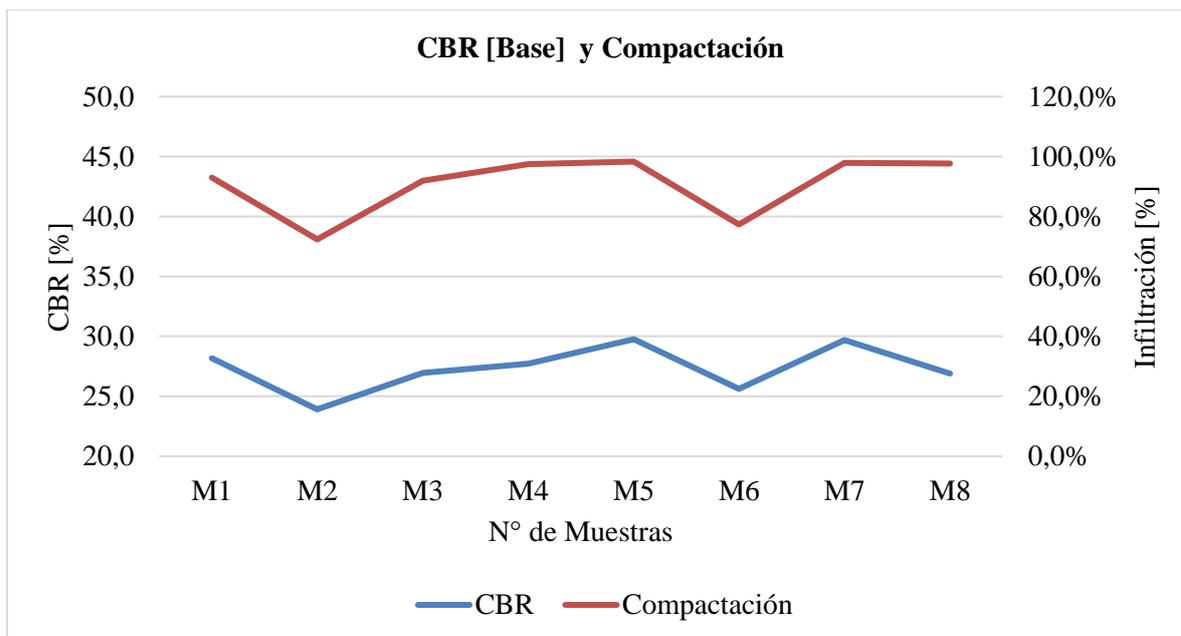


Ilustración 36. Diagrama de relación entre la compactación y el CBR (%)

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

A través de la caracterización de las propiedades de las 8 muestras extraídas en la cabecera cantonal de la ciudad de Sucúa, se identificaron que todas las muestras están conformadas por una capa de rodadura (adoquín), cama de arena, capa tipo base la misma que se construyó sobre una sub-rasante.

A partir de los resultados obtenidos, las bases en las 8 muestras se clasifican como una base clase 1 tipo B según el MTOP, las cuales están conformadas por agregados gruesos y finos que cuentan con un proceso de trituración previo a su colocación en campo; de igual manera dentro de la clasificación de la sub-rasante se identifica que predomina un material tipo arena pobremente gradada con presencia de limos según la clasificación por el método SUCS.

Los resultados revelan que, las sub-rasantes presentan una densidad máxima seca tal que, para alcanzar un buen grado de compactación, necesitan un porcentaje de humedad óptima promedio de 32.95%, esto se atribuye a que los suelos presentan alto contenido de finos (limos o arcillas), influyendo de igual manera en su porcentaje de absorción de 26.82%, lo cual al compararlo con las densidades secas in situ obtenidas del cono de arena, se determinó un grado de comparación de 85.5%. Las bases por su lado, presentan una absorción de material fino de 6.49% y material grueso de 2.17%, características representativas de los materiales granulares de la zona Oriental de Ecuador. Así mismo, debido a la presencia de arenas las bases tienen una humedad óptima de 11.98% resultando en grados de compactación de 90.76% lo cual es considerablemente bueno, pero no cumple con la normativa MTOP.

Por otro lado, de las propiedades mecánicas obtenidas in situ a partir del equipo electrónico GeoGauge, se determinó el CBR mediante ecuaciones de correlación, obteniendo resultados que no cumplen con lo establecido en la MTOP tanto para bases como subrasantes, esto nos indica que existe un déficit en la capacidad portante del suelo lo que puede poner en riesgo la estabilidad y durabilidad de la vía provocando fallas estructurales a lo largo del tiempo.

Al considerar los resultados obtenidos mediante el ensayo de infiltración de doble anillo, por el cual se obtuvo un coeficiente de escurrimiento aproximado de $C: 0.86$ cuyo valor es significativo debido a que en la normativa ofrece valores para diferentes tipos de superficie, mas no para un pavimento articulado con adoquines de concreto, este valor es de gran importancia para realizar un buen diseño de un sistema de drenaje y alcantarillado.

Es importante destacar que, a través del análisis de las propiedades físicas-mecánicas e hidráulicas se establecieron relaciones entre ellas; identificando 2 comportamientos relevantes, entre ellos, un comportamiento inversamente proporcional entre el CBR y la infiltración, Compactación e infiltración, y un comportamiento directamente proporcional entre el CBR y escurrimiento, CBR y compactación. Cuyos resultados en todos los casos nos brindan coeficiente de relación bastante aceptable. En función a los comportamientos identificados se puede concluir que, para una relación inversamente proporcional en este caso CBR y compactación en función de la fracción de infiltración, a un grado de compactación menor implica un mayor porcentaje de infiltración en las capas de rodadura.

Para concluir, mediante el estudio realizado de las características físico-mecánicas e hidráulicas de los materiales empleados para la construcción del pavimento articulado en la cabecera cantonal de la ciudad de Sucúa, que los materiales ensayados en laboratorio cumplen con lo establecido en las normas. Sin embargo, al obtener dichas propiedades mediante ensayos In Situ se evidencia que los resultados no cumplen en su mayoría con lo establecido en las normas, debido a que se derivan de procesos constructivos en este caso ineficientes. De igual manera, el agua presenta una gran influencia ya que puede infiltrar en las capas inferiores, en este caso puede aumentar o disminuir los valores de las propiedades dependiendo del estado de la vía.

5.2 Recomendaciones

Para optimizar la toma de muestras y datos en campo se recomienda que se opte por hacer estos procesos en días de clima soleado y evitando realizarlo en días donde previo aquello se presentó fuertes lluvias ya que la presencia de humedad en las capas puede alterar los resultados obtenidos en campo.

Es recomendable que, para el ensayo de infiltración realizado en campo, se limpie muy bien la zona de trabajo, se selle con mucha precaución las juntas de los adoquines y una vez colocado la silicona se le dé un tiempo mínimo de 1:30 horas para su correcto secado.

Con el fin de maximizar el impacto del estudio y generar nuevas perspectivas se recomienda que se considere nuevos parámetros que pueden influenciar en el comportamiento del pavimento, como podría ser el crecimiento automotriz en las zonas de estudio y su impacto en las propiedades físicas-mecánicas e hidráulicas de la vía.

A partir de los hallazgos de esta investigación es fundamental que se continúe con el monitoreo e investigaciones en la región Oriente del Ecuador, debido a la falta de estudios, información y aportes acerca del tema tratado en este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO, 93. (2006). *AASHTO_Guide_for_Design_of_Pavement_Stru.*
- Abu-Farsakh, M. Y., Alshibli, K., Seyman, E., & Nazzal, M. (2004). *ASSESSMENT OF IN-SITU TEST TECHNOLOGY FOR CONSTRUCTION CONTROL OF BASE COURSES AND EMBANKMENTS.*
- Alvarado, R. (2015). *Ensayo de Humedad Óptima.*
<https://es.scribd.com/doc/277184657/Ensayo-de-Humedad-Optima>
- ASTM D 6758. (2002). *Standard Test Method for Measuring Stiffness and Apparent Modulus of Soil and Soil-Aggregate In-Place by an Electro-Mechanical Method 1.*
www.astm.org
- ASTM D698. (2012). *Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m/m³)).* ASTM International.
<https://doi.org/10.1520/D0698-12>
- ASTM D1556. (1996). *Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by the Sand-Cone.*
- Bahamondes, R., Vargas-Tejeda, S., & Echaveguren, T. (2013). Análisis de métodos de diseño de pavimentos de adoquines de hormigón. *Revista de La Construcción*, 12(3), 17–26. <https://doi.org/10.4067/S0718-915X2013000300002>
- Betanco, F., Roa, E., & Blandón, E. (2019). *Diseño geométrico y estructural de pavimento articulado en el barrio Sandino, casco urbano de Ocotal, Nueva Segovia. (Tramo de 2 km)* [Universidad Nacional de Ingeniería].
<https://core.ac.uk/download/pdf/336876614.pdf>
- Borselli, L. (2024). *GEOTECNIA I.* https://www.lorenzo-borselli.eu/geotecnia1/Geotecnia_1_parte_II.pdf
- Casco, J., & Salcan, V. (2024). *CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, MECÁNICAS E HIDRÁULICAS EVALUADAS EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DEL CORREDOR VIAL FLORES - CEBADAS.*
- Castro, M. (2011). *PAVIMENTOS PERMEABLES COMO ALTERNATIVA DE DRENAJE URBANO.* <https://core.ac.uk/download/pdf/71418921.pdf>
- EIOS. (1992). *NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES.* <https://doi.org/10.07>
- Espinosa, J., Moreno, J., & Bernal, G. (2022). *SUELOS DEL ECUADOR, CLASIFICACION, USO Y MANEJO.*
- García, J. (2023). *Diseño estructural del pavimento articulado para la pavimentación de la avenida Progreso de la localidad de Chicama, provincia de Ascope, La Libertad* [Tesis

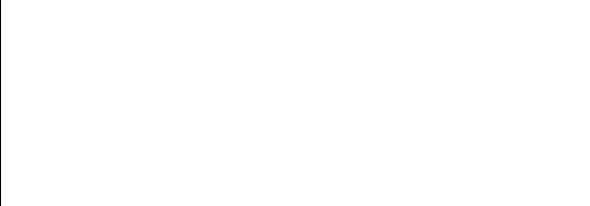
- de grado, Universidad Privada Antenor Orrego]. <https://orcid.org/0000-0003-4733-4959>
- García, V., & Rivera, A. (2016). Diseño vial de 1.73km del tramo vial en el casco urbano. *Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua*.
- Giordani, C., & Leone, D. (2019). *Pavimentos*. Universidad Tecnológica Nacional.
- Gutiérrez, W. Á. (2024). Diferentes formas del cálculo del Limite Líquido de los suelos. *Horizonte Académico*, 4(4), 1–17. <https://doi.org/10.70208/3007.8245.v4.n4.7>
- Gutiérrez, W. (2023a). Análisis comparativo de las técnicas de laboratorio para determinar los límites de Atterberg en suelos de la ciudad de Oruro – Bolivia. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4). https://doi.org/https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7475
- Gutiérrez, W. (2023b). Ensayo granulométrico de los suelos mediante el método del tamizado. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(2). https://doi.org/https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.5834
- Hernández-Crespo, C., Fernández-Gonzalvo, M., Martín, M., & Andrés-Doménech, I. (2019). Influence of rainfall intensity and pollution build-up levels on water quality and quantity response of permeable pavements. *Science of The Total Environment*, 684, 303–313. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.05.271>
- Hossne, A. (2014). ELASTOPLASTICIDAD DE UN SUELO FRANCO ARENOSO DE SABANA SANDY LOAM SAVANNA SOIL ELASTOPLASTICITY. *Revista Multidisciplinar Del Consejo de Investigación de La Universidad de Oriente*, 26(2), 153–167. <https://www.redalyc.org/pdf/4277/427739467008.pdf>
- Huekelom, W., & Klomp, A. (1962). *Dynamic Testing as Means of Controlling Pavements During and After Construction*. https://www.academia.edu/7710847/STRUCTURAL_EVALUATION_OF_LOW_VOLUME_ROAD_PAVEMENTS_USING_PAVEMENT_DYNAMIC_CONE_PENETROMETER
- Humboldt Mfg. Co. (n.d.). *GeoGauge TM GUIA DEL USUARIO Modelo H-4140 Medidor de rigidez y módulo del suelo Cumple con la nueva norma ASTM D6758 INDICE Contenido Página*.
- INEC. (2022). *Censo Ecuador, cuenta conmigo*. <https://cubos.inec.gob.ec/AppCensoEcuador/>
- INEN. (2016a). *NTE INEN 3040: Adoquines de hormigón. Requisitos y métodos de ensayo*. https://vipresa.com.ec/wp-content/uploads/2019/02/nte_inen_3040.pdf
- INEN. (2016b). *NTE INEN 3040: Adoquines de hormigón. Requisitos y métodos de ensayo*. https://vipresa.com.ec/wp-content/uploads/2019/02/nte_inen_3040.pdf
- INEN 691. (1982). *Determinación de Limite Líquido, método de casa grande*.

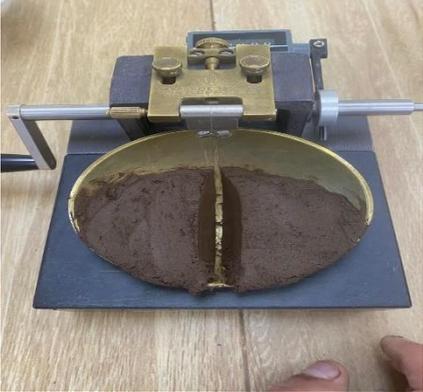
- INEN 692. (1982). *Determinación del límite plástico*.
- Lanzaro, M., & D'Elia, M. (2021, March 5). *Agua subterránea y construcciones subterráneas en áreas urbanas. El caso de la ciudad de Santa Fe, provincia de Santa Fe, Argentina*. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revista-asagai/article/view/46122/46299>
- Lizcano, F., Torres, A., Castaño, F., Herrera, J., Ruiz, A., & Rojas, L. (2012). Comportamiento hidráulico, beneficios y limitaciones de la aplicación de un SDGA a una estructura de pavimento flexible. *Infraestructura Vial*, 13(24), 17–21. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/vial/article/view/1979/1946>
- Martillo, R. (2012). *Estudio de suelo de las calles de la comuna Sancán del Cantón Jipijapa de la Provincia de Manabí* [Tesis de grado, Universidad Estatal del Sur de Manabí]. <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/496/1/UNESUM-ECU-CIVIL-56.pdf>
- McCombes, S. (2022, April 5). *Diseño de investigación descriptiva | Definición, métodos y ejemplos*. https://www-scribbr-co-uk.translate.google.com/research-methods/descriptive-research-design/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=sge
- Menéndez, J. (2009). *Ingeniería de pavimentos Materiales, diseño y construcción*.
- Montero, M. (2014). *Comparación del comportamiento hidromecánico de la arcilla boom compactada estática y dinámicamente*. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/24511/TFM%20Marlyn%20Montero.pdf>
- MOP. (2002). *ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES*.
- Mora, A., & Arguelles, C. (2015). *Diseño de pavimento rígido para la urbanización Caballero Gongora, Municipio de Honda-Tolima - Studocu*. <https://www.studocu.com/co/document/universidad-del-cauca/ingenieria-de-producto/diseño-de-pavimento-rígido-para-la-urbanización-caballero-gongora-municipio-de-honda-tolima/17517290>
- Moreira, F., & Ruiz, W. (2023). Materiales granulares de base clase 1B tratado con cemento para el uso de pavimentos rígidos. *Polo Del Conocimiento*, 8(1), 1780–1795. <https://doi.org/10.23857/pc.v8i1>
- MTOP. (2013). *NORMA ECUATORIANA VIAL NEVI-12 - MTOP: VOLUMEN N° 3 ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES*. https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_3.pdf
- NTE INEN 696. (2011). *ANALISIS GRANULOMETRICO EN LOS ARIDOS, FINO Y GRUESO*.

- NTE INEN 856. (2010). *NTE INEN 856- Densidad Relativa DEL Agregado FINO - INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN Quito - - Studocu*. <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-del-azuay/resistencia-de-materiales-2/nte-inen-856-densidad-relativa-del-agregado-fino/39868633>
- NTE INEN 857. (2010). *857 - Normativa - INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN Quito - Ecuador NORMA TÉCNICA ECUATORIANA - Studocu*. <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-central-del-ecuador/ensayo-de-materiales/857-normativa/63322875>
- NTE INEN 860. (2011, June). *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*. <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-politecnica-salesiana/hormigon-armado-de-elementos-a-flexo/nte-inen-860-tecnologia-del-hormigon/114292761>
- Ono, B. W., Balbo, J. T., & Cargnin, A. (2017). Análise da capacidade de infiltração em pavimento permeável de bloco de concreto unidirecionalmente articulado. *TRANSPORTES*, 25(3), 90. <https://doi.org/10.14295/transportes.v25i3.1314>
- Pérez, J., & Gardey, A. (2021). *Escorrentía* . <https://definicion.de/escorrentia/>
- Quinchimba, J., & Yáñez, A. (2024). *EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE AGREGADO EN LA DENSIDAD SECA MÁXIMA Y CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO EN SUELOS GRANULARES MEDIANTE EL ENSAYO PROCTOR MODIFICADO EN LA CIUDAD DE QUITO* [Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/28875/1/TTS2053.pdf>
- Rincon, L., Pico, J., & Marin, J. (2024). *Método de Infiltración: Método del Doble Anillo*. <https://prezi.com/p/ad9j7nwwzilcf/metodo-de-infiltracion-metodo-del-doble-anillo/>
- Rondón-Quintana, H. A., Fernández-Gómez, W. D., & Hernández-Noguera, J. A. (2013). *Influencia de la Rigidez de la Subrasante y las Capas Granulares sobre la Vida a Fatiga de Mezclas Asfálticas* (Issue 31).
- Sánchez, X. (2003). *DISEÑO DE PAVIMENTOS ARTICULADOS PARA TRÁFICOS MEDIO Y ALTO* [Tesis de grado, Universidad de los Andes]. <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/6f011213-8675-4efb-be13-9a294063ecb5/content>
- Saraguro, B., Carrión, J., Torres, H., & Guerrero, D. (2021). Resistencia a la compresión y al desgaste en adoquines de hormigón. *Impacto Científico Revista Arbitrada Venezolana Del Núcleo LUZ- Costa Oriental Del Lago*, 16(2), 481–506. https://www.researchgate.net/publication/356612907_La_resistencia_a_la_compresion_y_el_desgaste_en_adoquines_de_concreto_Resistance_to_compressive_and_wear_in_concrete_pavers
- Torres, R., & Saba, M. (2023). Incidencia de las propiedades físicas de agregados calizos y silíceos en el comportamiento mecánico de los concretos hidráulicos. *Ing-Nova*, 2(2), 69–88. <https://doi.org/https://doi.org/10.32997/rin2023-4143>

- Úbeda Rivera, J. S., & Delgado Dallatorre, Y. (2018). La infiltración del agua en los suelos y componentes artificiales y materia orgánica que se utilizan en ellos para la agricultura. *Rev. Iberoam. Bioecon. Cambio Clim.*, 4(7), 889–896. <https://doi.org/10.5377/RIBCC.V4I7.6299>
- Urquizo, P. (2019). *COMPARACIÓN TÉCNICA ENTRE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO DE MÓDULO DE YOUNG Y C.B.R PARA BASES Y SUBBASES*.
- Varas, J., & Areche, J. (2021). Comportamiento mecánico del adoquín de hormigón adicionando residuos orgánicos del maíz. *Dominio de Las Ciencias*, 7(5), 148–168. <https://doi.org/10.23857/dc.v7i5.2240>
- Varela, F. (2015). *Influencia de la Humedad de las Capas Granulares en la Optimización de Inversiones para la Conservación del Patrimonio Vial* [Tesis de Doctorado, Universidad Politécnica de Madrid]. https://oa.upm.es/54774/1/FERNANDO_VARELA_SOTO.pdf
- Verbal, F. (1987). Consideraciones básicas sobre compactación de suelos. *Revista Ingeniería De Construcción*, 3.
- Yuquilema, A. (2010). *Modelo depositacional de la arenisca de la T en la cuenca oriente*.

ANEXOS

 <p align="center">UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL</p>			
ANEXO FOTOGRAFICO			N° 1
Integrantes	Peralta Perez Angela Lizeth	TUTOR	Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluisa
	Jara Castro Oscar Alexander	UBICACIÓN	Sucúa
Extracción de muestras		Ensayo GeoGauge	
			
Ensayo Cono de Arena		Ensayo Granulometría	
			
Ensayo Límites de Atterberg – Límite líquido		Ensayo Límites de Atterberg – Límite plástico	
			

	
<p>Ensayo densidad y absorción - Fino</p>	<p>Ensayo densidad y absorción - Grueso</p>
	
<p>Ensayo Proctor Estándar</p>	<p>Ensayo Infiltración – Relleno Juntas</p>
	
<p>Ensayo Infiltración</p>	<p>Ensayo Absorción Adoquines</p>
	
<p>Ensayo Compresión Adoquines</p>	<p>Ensayo Compresión Adoquines - Mediciones</p>



Anexo 1. Ensayos realizados



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL



TEMA DE INVESTIGACION	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, MECÁNICAS E HIDRÁULICAS EVALUADAS EN EL PAVIMENTO ARTICULADO EN LA CABECERA CANTONAL DE SUCÚA, PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO				
Ensayo	G R A N U L O M E T R Í A			MUESTRA 1	
Ubicación	Sucua	Norte	9727565	Autores	Peralta Angela y Jara Oscar
Material	Base de Pavimento Articulado	Este	814184	Tutor	Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluisa

Masa Recipiente	0.530	[kg]	Masa inicial neta de la muestra	4.970	[kg]	% Gravas	51.03%
Masa inicial muestra + recipiente	5.500	[kg]	Masa final neta de la muestra	4.958	[kg]	% Finos	1.11%
Masa final muestra + recipiente	5.488	[kg]	% de error en el ensayo	0.241	[%]	% Arenas	47.86%
EL ERROR ES ADMISIBLE EN EL ENSAYO						CU	25.411
						CC	0.850

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tamiz ASTM	Abertura del Tamiz [mm]	Peso Retenido [kg]	Peso Neto de la Muestra [kg]	Peso Retenido Corregido [kg]	Retenido [%]	Retenido Acumulado [%]	Pasa [%]
1" 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.000	0.65	0.12	0.12	2.32	2.32	97.68
3/4"	19.000	0.79	0.26	0.26	5.24	7.56	92.44
1/2"	12.500	1.25	0.72	0.72	14.42	21.98	78.02
3/8"	9.500	1.07	0.54	0.54	10.79	32.78	67.22
No. 4	4.750	1.44	0.91	0.91	18.25	51.03	48.97
No. 10	2.000	1.06	0.53	0.53	10.69	61.72	38.28
No. 40	0.425	1.46	0.93	0.93	18.66	80.38	19.62
No. 100	0.150	1.30	0.77	0.77	15.53	95.91	4.09
No. 200	0.075	0.68	0.15	0.15	2.99	98.89	1.11
Fondo		0.59	0.05	0.06	1.11	100.00	0.00
Total			4.96	4.97	100.00		

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (CU) Y COEFICIENTE DE CURVATURA (CC)

D1	0.425
D2	0.15
D10%	0.307
%1	19.62
%2	4.09

D1	2
D2	0.425
D30%	1.426
%1	38.28
%2	19.62

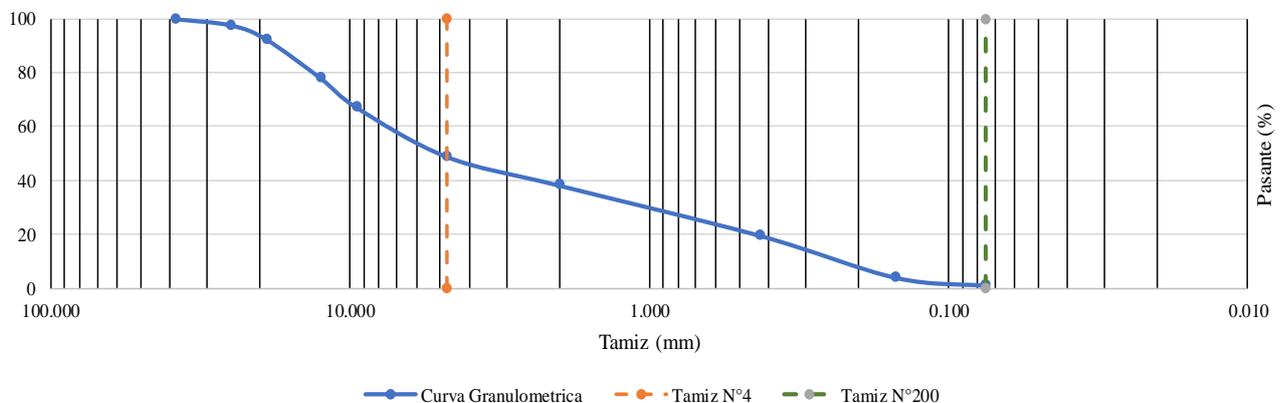
D1	9.5
D2	4.75
D60%	7.796
%1	67.22
%2	48.97

CU	25.411
----	--------

CC	0.850
----	-------

TIPO DE BASE	Clase 1, tipo B
--------------	-----------------

GRANULOMETRIA



Anexo 2. Formato de cálculo para el ensayo de granulometría



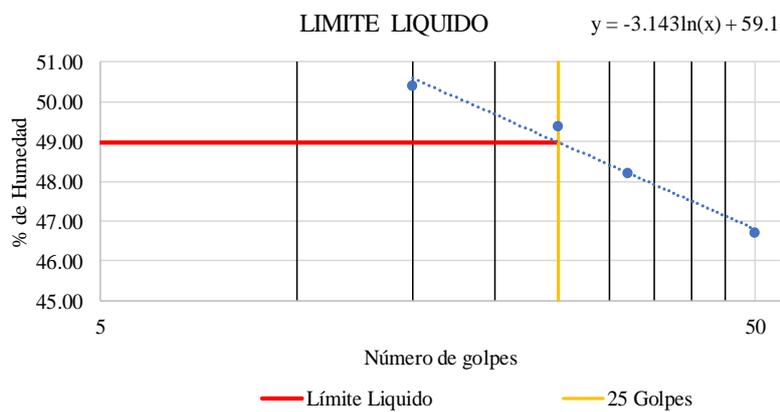
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL



TEMA DE INVESTIGACION	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, MECÁNICAS E HIDRÁULICAS EVALUADAS EN EL PAVIMENTO ARTICULADO EN LA CABECERA CANTONAL DE SUCÚA, PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO				
Ensayo	LIMITES ATTERBERG				MUESTRA 1
Ubicación	Sucúa	Norte	9727565	Autores	Peralta Angela y Jara Oscar
Material	Base de Pavimento Articulado	Este	814184	Tutor	Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluisa

LIMITE LIQUIDO

Nº GOLPES	Recipiente + suelo Humedo (gr)	Recipiente + suelo Seco (gr)	Peso del Agua (gr)	Peso del recipiente (gr)	Peso de suelo seco (gr)	% de Humedad	% de Humedad Promedio
50	21.72	19.36	2.36	14.38	4.98	47.39	46.67
	25.10	21.70	3.40	14.30	7.40	45.95	
32	22.46	19.94	2.52	14.74	5.20	48.46	48.17
	26.06	22.44	3.62	14.88	7.56	47.88	
25	22.74	20.10	2.64	14.76	5.34	49.44	49.35
	26.58	22.58	4.00	14.46	8.12	49.26	
15	28.26	23.68	4.58	14.66	9.02	50.78	50.39
	28.86	25.34	3.52	18.30	7.04	50.00	



Límite Líquido (%)

Ecuación	$Y = a * LN(x) + b$
a	-3.14
b	59.10
x	25.00
LL (%)	48.98

LIMITE PLASTICO

Muestra	Recipiente + suelo Húmedo (gr)	Recipiente + suelo Seco (gr)	Peso del Agua (gr)	Peso del recipiente (gr)	Peso de suelo seco (gr)	% de Humedad
1	19.42	19.06	0.36	18.12	0.94	38.30
2	15.9	15.52	0.38	14.62	0.9	42.22

Limite Plástico (%)

LP (%) 40.26

Anexo 3. Formato de cálculo para el ensayo de Límites de Atterberg

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL					
TEMA DE INVESTIGACION		CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, MECÁNICAS E HIDRÁULICAS EVALUADAS EN EL PAVIMENTO ARTICULADO EN LA CABECERA CANTONAL DE SUCÚA, PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO			
Ensayo	PROCTOR ESTANDAR			MUESTRA 1	
Ubicación	Sucua	Norte	9727565	Autores	Peralta Angela y Jara Oscar
Material	Sub Rasante de Pavimento Articulado	Este	814184	Tutor	Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluisa

CONTROL DE DENSIDAD

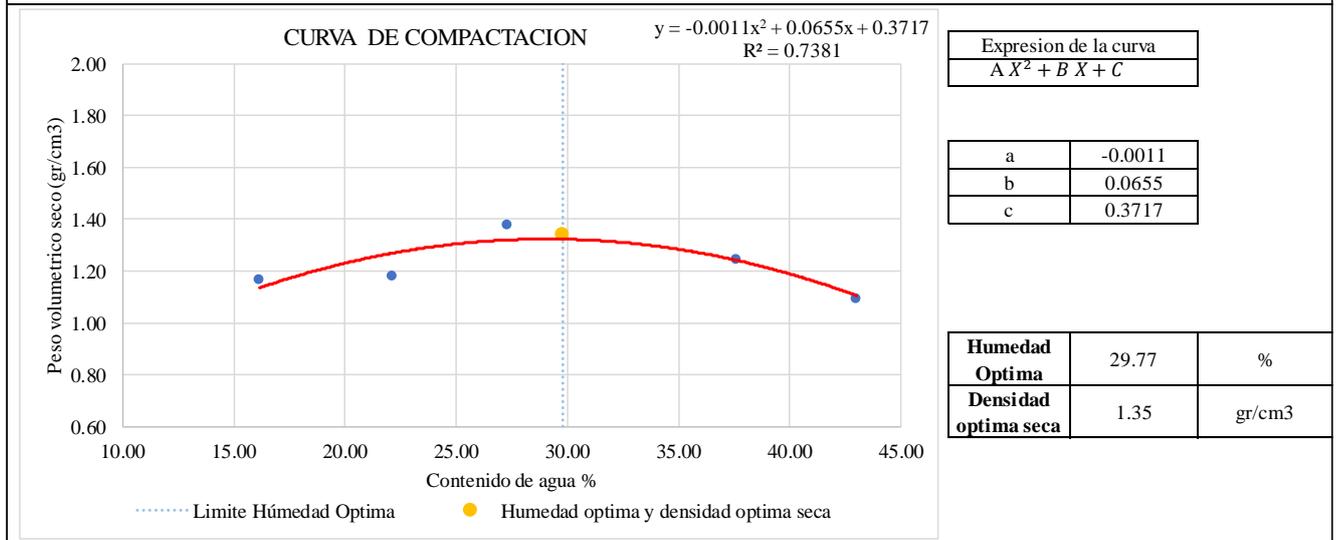
Datos					
Porcentaje de agua %	5	7	7	7	7
Altura del molde (cm)	11.64	11.64	11.64	11.64	11.64
Diámetro del molde (cm)	10.16	10.16	10.16	10.16	10.16
Volumen del molde (cm ³)	944	944	944	944	944
Peso del molde (gr)	4200	4200	4200	4200	4200
Peso molde + muestra (gr)	5480	5565	5855	5820	5680
Peso de la muestra húmeda (gr)	1280	1365	1655	1620	1480
Peso volumétrico húmedo (gr/cm ³)	1.356	1.446	1.754	1.717	1.568

ENSAYO DE COMPACTACION / HUMEDAD Y PESO ESPECIFICO SECO

	M1	M2	M3	M4	M5
Peso suelo humedo compactado + molde (gr)	5480	5565	5855	5820	5680
Peso del molde (gr)	4200	4200	4200	4200	4200
Peso del suelo húmedo compactado (gr)	1280	1365	1655	1620	1480
Peso volumétrico húmedo (gr/cm ³)	1.356	1.446	1.754	1.717	1.568

	Tara N°	Peso tara (gr)	Tara + suelo Húmedo (gr)	Tara + muestra seca (g)	Peso del agua (gr)	Peso suelo seco (gr)	Contenido de agua (%)	Contenido de agua Promedio (%)	Peso volumétrico seco (gr/cm ³)
Muestra 1	P1D3	14.24	36.98	33.74	3.24	19.50	16.62	16.16	1.17
	P5D4	18.58	33.02	31.06	1.96	12.48	15.71		
Muestra 2	P1I4	14.56	38.38	34.00	4.38	19.44	22.53	22.14	1.18
	P1D2	14.64	37.70	33.58	4.12	18.94	21.75		
Muestra 3	P2100I3	13.84	32.14	28.18	3.96	14.34	27.62	27.33	1.38
	P2100D4	14.24	33.22	29.18	4.04	14.94	27.04		
Muestra 4	P1D1	14.66	37.42	31.24	6.18	16.58	37.27	37.63	1.25
	5	17.56	35.58	30.62	4.96	13.06	37.98		
Muestra 5	612V	18.70	49.06	39.92	9.14	21.22	43.07	42.98	1.10
	P5I4	18.44	50.22	40.68	9.54	22.24	42.90		

CURVA DE COMPACTACION



Anexo 4. Formato de cálculo para el ensayo Proctor Estándar

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO					
		FACULTAD DE INGENIERIA					
		CARRERA DE INGENIERIA CIVIL					
TEMA DE INVESTIGACION		CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, MECÁNICAS E HIDRÁULICAS EVALUADAS EN EL PAVIMENTO ARTICULADO EN LA CABECERA CANTONAL DE SUCÚA, PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO					
Ensayo		GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION				M U E S T R A 1	
Ubicación		Sucúa	Norte	9727565	Autores	Peralta Angela y Jara Oscar	
Tipo de pavimento		Pavimento Articulado	Este	814184	Tutor	Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluisa	

Base de Pavimento articulado

Sub-Rasante de Pavimento articulado

Material granular Fino

Material granular Grueso

Material granular Fino

Masa molde (gr)	195
Masa molde + suelo SH (gr)	650
Masa muestra SH (gr)	455
Masa picnómetro + agua (gr)	1165
Masa picnómetro + agua + muestra (gr)	1500
Masa en estado SSS (gr)	500

Masa molde (gr)	620
Masa molde + suelo SH (gr)	2890
Masa muestra [SH] (gr)	2270
Molde + suelo [SSS]	2945
Masa muestra [SSS] (gr)	2325
Masa aparente en agua de la muestra saturada (gr)	1411.00

Masa molde (gr)	495
Masa molde + suelo SH (gr)	890
Masa muestra SH (gr)	395
Masa picnómetro + agua (gr)	1235
Masa picnómetro + agua + muestra (gr)	1480
Masa en estado SSS (gr)	500

Densidad relativa (Gravedad específica)		
Densidad relativa (Gs) [SH]	2.76	-
Densidad relativa (Gs) [SSS]	3.03	-
Densidad relativa aparente(Gs aparente)	3.79	-
Densidad		
Densidad [SH]	2750.68	kg/m3
Densidad [SSS]	3022.73	kg/m3
Densidad aparente [SSS]	3782.19	kg/m3
Absorción		
Porcentaje de absorción	9.89	%

Densidad relativa (Gravedad específica)		
Densidad relativa (Gs) [SH]	2.48	-
Densidad relativa (Gs) [SSS]	2.54	-
Densidad relativa aparente (Gs aparente) [SSS]	2.64	-
Densidad		
Densidad [SH]	2477.38	kg/m3
Densidad [SSS]	2537.40	kg/m3
Densidad aparente	2636.00	kg/m3
Absorción		
Porcentaje de absorción	2.42	%

Densidad relativa (Gravedad específica)		
Densidad relativa (Gs) [SH]	1.55	-
Densidad relativa (Gs) [SSS]	1.96	-
Densidad relativa aparente(Gs aparente)	2.63	-
Densidad		
Densidad [SH]	1545.15	kg/m3
Densidad [SSS]	1955.88	kg/m3
Densidad aparente [SSS]	2626.75	kg/m3
Absorción		
Porcentaje de absorción	26.58	%

Anexo 5. Formato de cálculo para el ensayo de gravedad específica y absorción



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL



TEMA DE INVESTIGACION	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, MECÁNICAS E HIDRÁULICAS EVALUADAS EN EL PAVIMENTO ARTICULADO EN LA CABECERA CANTONAL DE SUCÚA, PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO		
ENSAYO:	ABRASION MAQUINA DE LOS ANGELES	UBICACIÓN	Sucúa
		AUTORES	Peralta Angela, Jara Oscar
MATERIAL	Base de Pavimento Articulado	TUTOR	Ing. Hernán Vladimir Pazmiño

Muestra 1						Norte	9727565	
						Este	814184	
Tamaño del tamiz		Masa requerida según gradación (g)				Masa iniciar necesaria (g)	Tipo de Material	Base de pavimento articulado
Pasa	Retiene	A	B	C	D		N° de esferas	11
37.5 mm	25 mm	1250± 25				5000± 10	Masa Inicial del ensayo (g)	5002
25 mm	19 mm	1250± 25					Gradación B	Masa retenida en el tamiz N° 12 (g)
19 mm	12.5 mm	1250± 10	2500± 10			5000± 10		Porcentaje de abrasión (%)
12.5 mm	9.5 mm	1250± 10	2500± 10					
9.5 mm	6.3 mm			2500± 10				
6.3 mm	4.75 mm			2500± 10				
4.75 mm	2.36 mm				5000± 10			
NOTA:	La base cuenta con gradación tipo B según la norma ASTM D1441							

Anexo 6. Formato de cálculo para el ensayo de abrasión máquina de los ángeles



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL



Tema:		EVALUADAS EN EL PAVIMENTO ARTICULADO EN LA CABECERA CANTONAL DE SUCÚA, PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO			
Ensayo:		Absorción en Adoquines	Ubicación:		Sucúa
Desarrollado por:		Peralta Perez Angela Lizeth	Forma de adoquín:		Peatonal
		Jara Castro Oscar Alexander	Tipo de adoquín:		Hexagonal/Biselado
Tutos de investigación:		Ing. Vladimir Pazmiño		N° muestras:	10
Identificación	Longitud [cm]	Ancho [cm]	Masa Saturada de agua [kg]	Masa Seca [kg]	Absorción [%]
1	24.10	22.20	8.596	8.107	6.03
2	23.80	21.80	8.127	7.635	6.44
3	25.00	24.50	10.471	10.13	3.37
4	25.30	25.30	10.059	9.731	3.37
5	23.70	21.90	8.012	7.399	8.28
6	24.30	22.00	8.193	7.64	7.24
7	23.70	22.00	8.097	7.644	5.93
8	23.90	21.70	8.274	7.752	6.73
9	24.00	22.00	8.405	7.972	5.43
10	24.50	24.50	10.968	10.651	2.98
Ensayo:		Resistencia en Adoquines			
Identificación	Área Total [mm²]	Espesor [cm]	Bisel	Carga máxima [N]	Resistencia a la compresión [MPa]
1	53502.00	8	1.11	2933800	54.835
2	51884.00	8	1.11	2604712	50.203
3	61250.00	9	1.11	2843501	46.425
4	64009.00	8.8	1.11	2708716	42.318
5	51903.00	8	1.11	2209841	42.576
6	53460.00	7.8	1.11	2382251	44.561
7	52140.00	7.9	1.11	2471919	47.409
8	51863.00	8	1.11	2616947	50.459
9	52800.00	8	1.11	2628538	49.783
10	60025.00	9	1.11	2788538	46.456

Absorción promedio [%]	5.58
Resistencia a la compresión promedio fm [MPa]	47.50
Desviación estándar [MPa]	3.90
Resistencia a la compresión característica fk [Mpa]	41.10

Anexo 7. Formato de cálculo para el ensayo de absorción y resistencia de adoquines

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL 					
TEMA DE INVESTIGACION	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, MECÁNICAS E HIDRÁULICAS EVALUADAS EN EL PAVIMENTO ARTICULADO EN LA CABECERA CANTONAL DE SUCÚA, PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO				
ENSAYO:	CONO DE ARENA				
UBICACIÓN	Sucúa	NORTE:	9727565	AUTORES	Peralta Angela y Jara Oscar
TIPO DE PAVIMENTO	Pavimento Articulado	ESTE:	814184	TUTOR	Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluisa
MATERIAL	Base de Pavimento Articulado				
1) Determinación del peso del suelo extraído					
Peso de la masa de suelo + recipiente (g)	2512.90				
Peso de recipiente (g)	195.04				
Peso de la masa de suelo (g) [Wm]	2317.86				
2) Determinación del volumen del hueco en el suelo					
Lectura inicial frasco + cono + arena (g)	5574.65				
Lectura final frasco + cono + arena (g)	2304.25				
Peso de arena en el cono (g)	1534.40				
Peso de la arena en el hueco (g) [W hueco]	1736.00				
Calibración de la arena de ottawa (g/cm ³) [Ysand]	1.56				
Volumen del hueco (de la masa) (cm ³) [Vhueco - Vm]	1112.82				
3) Determinación de W%					
Muestra N°	1	2			
Peso de muestra Húmeda + recipiente (g)	70.36	72.74			
Peso de muestra seca + recipiente (g)	66.16	67.96			
Peso de recipiente (g)	17.74	18.48			
Peso de agua (Ww)	4.2	4.78			
Peso de muestra seca (Ws)	48.42	49.48			
W% [Humedad Natural]	8.67%	9.66%			
HUMEDAD NATURAL					
Promedio W%	9.17%				
DENSIDAD IN SITU					
Densidad Húmeda del Suelo (Natural) (gr/cm ³) [Ym]	2.08				
Peso volumétrico seco (g/cm ³) [Yd]	1.91				
GRADO DE COMPACTACION					
Densidad Óptima en el Ensayo Proctor [gr/cm ³]	Densidad de Suelo Seco [gr/cm ³]		% de Compactación		
2.05	1.91		93.03%		

Anexo 8. Formato de cálculo para el ensayo de Cono de Arena

PAVIMENTO ARTICULADO

VARIABLES		UNIDADES	CAPAS DEL PAVIMENTO	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	PROMEDIO	
ENSAYOS INSITU	1	Coefficiente de escurrimiento C	[-]	[-]	0.94	0.78	0.82	0.89	0.92	0.78	0.88	0.85	0.86
	2	Módulo de Young	[Mpa]	Base	75.02	58.87	70.23	73.28	81.39	65.22	81.15	70.05	71.90
				Sub Rasante	24.48	23.98	24.19	28.87	28.45	27.92	20.23	24.30	25.30
	3	Módulo de Rigidez	[Mn/m]	Base	10.12	7.67	9.47	9.88	10.98	8.80	8.57	9.16	9.33
				Sub Rasante	3.30	2.81	3.15	3.89	3.67	3.76	2.73	3.21	3.32
	4	CBR	[%]	Base	28.17	23.91	26.94	27.72	29.76	25.62	29.70	26.89	27.34
				Sub Rasante	2.90	2.62	2.80	3.55	3.39	3.40	2.31	2.84	2.98
	5	Densidad Natural Cono de Arena	[gr/cm ³]	Base	2.08	1.57	1.92	2.09	1.88	1.74	2.03	2.04	1.92
				Sub Rasante	1.49	1.40	1.53	1.50	1.37	1.48	1.44	1.48	1.46
	6	Densidad Seca Cono de Arena	[gr/cm ³]	Base	1.91	1.41	1.70	1.89	1.71	1.49	1.81	1.83	1.72
Sub Rasante				1.13	1.03	1.06	1.14	1.04	1.13	1.15	1.08	1.10	
7	Humedad Natural IN SITU Cono de Arena	[%]	Base	9.17%	10.93%	12.63%	10.96%	9.91%	17.08%	12.10%	11.80%	11.82%	
			Sub Rasante	32.17%	35.40%	44.76%	31.70%	31.42%	30.78%	25.45%	37.85%	33.69%	
8	Escurrimiento	[%]	-	94.34%	77.65%	82.10%	88.69%	92.01%	78.41%	87.93%	85.14%	85.78%	
9	Infiltración	[%]	-	5.66%	22.35%	17.90%	11.31%	7.99%	21.59%	12.07%	14.86%	14.22%	

ENSAYOS EN LABORATORIO	10	Densidad Óptima Proctor	[gr/cm ³]	Base	2.05	1.95	1.85	1.94	1.74	1.92	1.85	1.87	1.90
				Sub Rasante	1.35	1.27	1.20	1.33	1.16	1.38	1.35	1.22	1.28
	11	Humedad Óptima Proctor	[%]	Base	9.66	11.10	10.14	10.38	18.68	12.14	11.64	12.15	11.99
				Sub Rasante	29.77	34.83	42.63	26.50	34.08	26.63	29.36	39.83	32.95
	12	Grado de Compactación Cono de Arena	[%]	Base	93.03%	72.38%	91.90%	97.44%	98.33%	77.38%	97.95%	97.69%	90.76%
				Sub Rasante	83.74%	81.17%	88.03%	85.86%	89.68%	81.64%	85.28%	88.57%	85.50%
	13	% Gravas Gruesas	[%]	Base	7.56%	16.46%	20.54%	21.18%	22.67%	12.50%	27.02%	28.06%	19.50%
				Sub Rasante	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.02%	0.00%	0.00%	0.13%
	14	% Gravas Finas	[%]	Base	43.47%	20.04%	20.13%	24.69%	16.67%	22.97%	20.13%	19.67%	23.47%
				Sub Rasante	0.00%	0.80%	2.60%	0.00%	1.15%	2.45%	4.53%	2.35%	1.74%
	15	% Arenas Gruesas	[%]	Base	29.35%	37.57%	43.41%	33.02%	35.67%	34.80%	31.52%	30.13%	34.43%
				Sub Rasante	34.91%	41.60%	46.10%	32.43%	50.00%	41.58%	46.28%	35.21%	41.01%
	16	% Arenas Finas	[%]	Base	18.52%	23.97%	15.27%	19.04%	23.33%	28.04%	19.21%	19.81%	20.90%
				Sub Rasante	45.28%	42.40%	47.40%	61.26%	37.36%	48.10%	37.63%	50.29%	46.22%
	17	% de Material Fino	[%]	Base	1.11%	1.97%	0.65%	2.08%	1.67%	1.69%	2.12%	2.33%	1.70%
				Sub Rasante	19.81%	15.20%	3.90%	6.31%	11.49%	6.86%	11.57%	12.15%	10.91%
	18	Limite Liquido	[%]	Base	9.71%	12.68%	10.71%	13.75%	28.76%	13.38%	22.03%	9.55%	15.07%
				Sub Rasante	48.98%	52.09%	57.16%	49.64%	56.19%	48.62%	52.39%	56.32%	52.67%
	19	Limite Plastico	[%]	Base	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				Sub Rasante	40.26%	40.51%	49.28%	45.63%	53.26%	46.43%	48.27%	47.48%	46.39%
	20	Indice Plastico	[%]	Base	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Sub Rasante	8.72%	11.58%	7.88%	4.02%	2.93%	2.19%	4.12%	8.84%	6.29%	
21	Clasificación SUCS	[%]	Base	GP	SP	SP							
			Sub Rasante	SM	SC	SP	SP-SM	SP-SM	SW-SM	SP-SM	SM	SM	SP-SM

Anexo 9. Resumen de datos obtenidos en los diferentes ensayos realizados