



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“Características físicas - mecánicas e hidráulicas del pavimento articulado en la cabecera cantonal de Guano Provincia de Chimborazo.”

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil

Autor:

Tierra Taraguay, Jhon Byron
Yupangui Chacon, Milton Ramiro

Tutor:

Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza, Mgs.

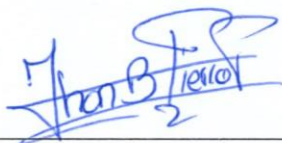
Riobamba, Ecuador. 2024

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Nosotros, **Jhon Byron Tierra Taraguay**, con cédula de ciudadanía **0202171476** y **Milton Ramiro Yupangui Chacon**, con cédula de ciudadanía **1401297542**, autores del trabajo de investigación titulado: “**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS - MECÁNICAS E HIDRÁULICAS DEL PAVIMENTO ARTICULADO EN LA CABECERA CANTONAL DE GUANO PROVINCIA DE CHIMBORAZO**”, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mi 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, 28 de noviembre de 2024.



Jhon Byron Tierra Taraguay

C.I: 02021714765



Milton Ramiro Yupangui Chacon

C.I: 1401297542




Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO

en movimiento
SGC
SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD
UNACH-RGF-01-04-08.11
VERSIÓN 01: 06-09-2021

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluzza, Mgs, 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 DEL PAVIMENTO ARTICULADO EN LA CABECERA CANTONAL DE GUANO PROVINCIA DE CHIMBORAZO**", bajo la autoría de **Jhon Byron Tierra Taraguay** y **Milton Ramiro Yupangui Chacón**, por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 19 días del mes de noviembre del 2024.



Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluzza, Mgs
TUTOR(A)

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 DEL PAVIMENTO ARTICULADO EN LA CABECERA CANTONAL DE GUANO PROVINCIA DE CHIMBORAZO**”, presentado por **Jhon Byron Tierra Taraguay**, con cédula de identidad número **0202171476** y **Milton Ramiro Yupangui Chacón**, con cédula de identidad número **1401297542** bajo la tutoría de Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza, Mgs; certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 28 de noviembre de 2024.

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



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



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





Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO

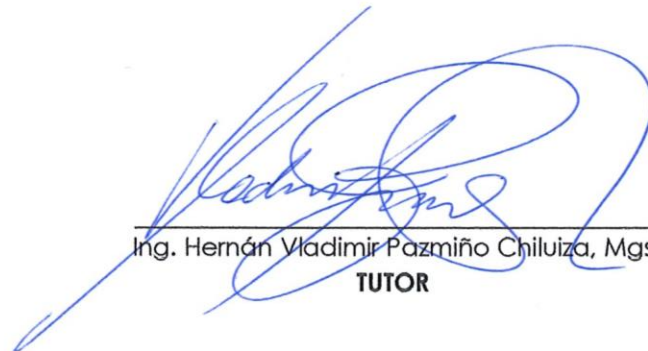


UNACH-RGF-01-04-08.15
VERSIÓN 01: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Que, **Jhon Byron Tierra Taraguay** con CC: **0202171476** y **Milton Ramiro Yupanguí Chacon** con CC: **1401297542** estudiante de la Carrera de **Ingeniería Civil**, Facultad de **Ingeniería**; han trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS - MECÁNICAS E HIDRÁULICAS DEL PAVIMENTO ARTICULADO EN LA CABECERA CANTONAL DE GUANO PROVINCIA DE CHIMBORAZO**" cumple con el 4 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **TURNITIN**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 21 de noviembre de 2024



Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluza, Mgs
TUTOR

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación se lo dedico a mis padres Edgar Gregorio Tierra Shuguli y Verónica Elizabeth Taraguay Broncano; a mi hermana Barbara Monserrath Tierra Taraguay. Quienes han sido mi inspiración y pilar fundamental en todo este proceso universitario, además, por todos sus sacrificios y por enseñarme que, con esfuerzo y cariño, todo es posible.

Finalmente, a mis abuelitos, Josefina Shuguli y Luis Taraguay que me cuidan y velan por mi desde el cielo, que sus consejos me perduran en la mente y en corazón siempre que los necesito.

Jhon B. Tierra T.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a una persona extraordinaria que ha sido el pilar fundamental en mi camino académico y personal, mi madre Rebeca, por tus sacrificios y por enseñarme que, con esfuerzo y cariño, todo es posible.

Además, deseo extender mi gratitud a mis hermanos, quienes gracias a su colaboración y su apoyo constante han enriquecido este proyecto de forma invaluable.

Milton R. Yupangui C.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi profundo agradecimiento a Dios, mi guía y fortaleza, cuya constante protección y orientación han iluminado cada paso de este camino académico. A él dedico este logro, fruto de su infinita bondad y sabiduría.

A la Universidad Nacional de Chimborazo, por abrirme las puertas al conocimiento y brindarme las herramientas necesarias para crecer profesionalmente. Su compromiso con la excelencia educativa ha sido un pilar en mi formación como profesional.

Al Ing. Vladimir Pazmiño, mi sincero agradecimiento por su paciencia, dedicación y apoyo incondicional. Su guía ha sido clave en la realización de este trabajo de investigación.

Finalmente, a mis amigos, novia y todas aquellas personas que, con su compañía y aliento, hicieron que este proceso fuera más llevadero. A ustedes, que siempre creyeron en mí, les dedico también este logro, agradeciendo de corazón su respaldo y motivación.

¡Gracias a todos!

Jhon B. Tierra T.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, quien me ha brindado fortaleza, sabiduría y el regalo de tener a mi madre Rebeca a mi lado un ser que valiente a quien agradezco por brindarme su todo su apoyo y amor.

A mis hermanos, quienes con su confianza en mí han sido mi mayor impulso para alcanzar este objetivo.

Mi más sincero agradecimiento al Ing. Vladimir Pazmiño por su dedicación, paciencia, orientación y apoyo a lo largo de este trabajo de investigación.

Finalmente, quiero expresar mi agradecimiento a todos mis amigos y a aquellas personas que me brindaron su apoyo a lo largo de todo este proceso. Su compañía, ánimo y respaldo han sido fundamentales para que pudiera alcanzar esta meta.

Milton R. Yupangui C.

ÍNDICE GENERAL

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

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	19
1.1 Zona de Estudio.....	19
1.2 Antecedentes de investigación.....	19
1.3 Planteamiento del problema.....	21
1.4 Justificación.....	22
1.5 Objetivos.....	24
1.5.1 General.....	24
1.5.2 Específicos.....	24
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	25
2.1 PAVIMENTO ARTICULADO.....	25
2.1.1 Aspectos generales.....	25
2.1.2 Elementos del pavimento articulado (Díaz, 2018).....	25
2.1.3 Base.....	26
2.1.3.1 Clasificación de bases en pavimentos articulados.....	27
2.1.4 Sub-base.....	27
2.1.4.1 Clasificación de sub-base en pavimentos articulados.....	27
2.1.5 Subrasante.....	28
2.2 PROPIEDADES FÍSICAS DEL PAVIMENTO ARTICULADO.....	28

2.2.1	Granulometría	28
2.2.2	Límites de consistencia.....	28
2.2.3	Clasificación del suelo	29
2.2.3.1	Clasificación AASHTO	29
2.2.3.2	Clasificación SUCS	29
2.2.3.3	Coefficiente de uniformidad y Coeficiente de curvatura	29
2.2.4	Humedad Óptima	30
2.2.5	Grado de Compactación.....	30
2.2.6	Absorción.....	30
2.2.7	Macrotextura	31
2.3	PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PAVIMENTO ARTICULADO	31
2.3.1	Módulo de Rigidez	31
2.3.2	Módulo de Young.....	31
2.3.3	CBR.....	31
2.3.4	Resistencia del adoquín	32
2.3.5	Desgaste del adoquín	32
2.4	PROPIEDADES HIDRÁULICAS DEL PAVIMENTO ARTICULADO	32
2.4.1	Infiltración de la capa de rodadura.....	32
2.4.2	Infiltración en función de los estratos del pavimento articulado	32
2.4.3	Coefficiente de escorrentía.....	33
CAPÍTULO III. METODOLOGIA.		34
3.1	Diagrama Metodológico	34
3.2	Tipo de Investigación	34
3.3	Diseño de la investigación	34
3.4	Definición de la muestra.....	35
3.4.1	Población.....	35
3.4.2	Muestra	35
3.4.3	Tipo de muestreo	35

3.4.4	Criterios de selección.....	35
3.4.5	Ubicación de las muestras.....	36
3.5	Procedimientos.....	37
3.5.1	Ensayos de laboratorio.....	37
3.5.1.1	Granulometría de materiales granulares	37
3.5.1.2	Límites de Atterberg.....	37
3.5.1.2.1	Límite Líquido.....	37
3.5.1.2.2	Límite Plástico.....	37
3.5.1.3	Compactación Proctor modificado.....	37
3.5.1.4	Densidad y absorción del agregado fino.....	38
3.5.1.5	Densidad y absorción del agregado grueso.....	38
3.5.2	Ensayos in situ.....	38
3.5.2.1	Densidad in situ – Método del cono de arena.....	38
3.5.2.2	Elasticidad y rigidez in situ – Método “GeoGauge”	38
3.5.2.3	Densidad in situ – Método Eléctrico	39
3.5.2.4	Estimación del CBR	41
3.5.2.5	Infiltración y escurrimiento – Método del infiltrómetro de doble anillo (UNACH 2024)	42
	CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
4.1	RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO.....	44
4.1.1	Granulometría	44
4.1.2	Límites de Atterberg.....	47
4.1.3	Compactación Proctor modificado.....	48
4.1.4	Densidades	50
4.1.5	Humedades.....	52
4.1.6	Densidades y absorción del material granular	53
4.1.7	Grado de compactación	54
4.2	PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PAVIMENTO ARTICULADO	55
4.2.1	Resiliencia, Rigidez y CBR	55
4.2.2	Desgaste del agregado grueso de la base granular	56
4.3	PROPIEDADES HIDRÁULICAS DEL PAVIMENTO ARTICULADO.....	56
4.3.1	Datos de las pruebas de infiltración.....	56

4.3.2	Resultados de las pruebas de infiltración.....	57
4.3.3	Comportamiento de las curvas de infiltración	58
4.3.4	Análisis de los coeficientes de escorrentía.....	59
4.4	RELACIONES ENTRE PROPIEDADES FISICO – MECÁNICAS Y PROPIEDADES HIDRÁULICAS DEL PAVIMENTO ARTICULADO	60
4.4.1	CBR vs Infiltración.....	60
4.4.2	Relación de Grado de Compactación vs Infiltración.....	62
4.4.3	Relación de Densidad EDG vs Infiltración.....	63
	CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
5.1	CONCLUSIONES.....	64
5.2	RECOMENDACIONES	66
	BIBLIOGRAFIA	67
	ANEXOS.....	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores de coeficientes de escorrentía.....	23
Tabla 2. Requisitos granulométricos para bases granulares de pavimento articulado.	27
Tabla 3. Requisitos granulométricos para sub-bases granulares de pavimento articulado.	28
Tabla 4: Valore de coeficientes de escorrentía.	33
Tabla 5: Puntos de análisis de las muestras.....	36
Tabla 6: Resumen de ensayo granulométrico - Base.	44
Tabla 7: Resumen de ensayo granulométrico - Subrasante.	45
Tabla 8. Resumen de plasticidad en las capas granulares del pavimento articulado.....	47
Tabla 9. Resultados del ensayo Proctor modificado.	48
Tabla 10: Resumen de densidades en las capas granulares del pavimento articulado.	51
Tabla 11: Resumen de humedades en las capas granulares del pavimento articulado.....	53
Tabla 12: Porcentajes densidades y abrasión de la base clase 3.	53
Tabla 13: Grados de compactación en la base del pavimento articulado.	54
Tabla 14: Resumen de los datos obtenidos a través del GeoGauge.	56
Tabla 15: Resumen de los resultados de los ensayos de abrasión.	56
Tabla 16: Resultados del ensayo de infiltración.	57
Tabla 17: Resultados del ensayo de infiltración	59

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ubicación geográfica de los tramos viales de análisis.....	19
Ilustración 2: Estructuración típica de un pavimento articulado.....	25
Ilustración 3: Diagrama metodológico propuesto.....	34
Ilustración 4. Esquema gráfico del GeoGauge. Adaptado de: (Pradeep, 2020).....	39
Ilustración 5. Componentes del EDG. Adaptado de: (Humboldt, 2011).....	40
Ilustración 8. Colocación del caucho en el infiltrómetro.....	42
Ilustración 7. Modo de ensamblado.....	42
Ilustración 6. Caucho – Perfiles burletes alambrados 341.....	42
Ilustración 9. Esquema gráfico del infiltrómetro.....	43
Ilustración 10: Curvas Granulométricas - Base.....	46
Ilustración 11: Curvas Granulométricas - Subrasante.....	46
Ilustración 12: Curvas de compactación de la Base.....	49
Ilustración 13: Curvas de compactación de la Subrasante.....	49
Ilustración 14: Densidades obtenidas de la base.....	51
Ilustración 15: Humedades obtenidas de la base.....	52
Ilustración 16: Compactación EDG vs Cono de Arena - Base.....	54
Ilustración 17: Curvas de infiltración de la zona de estudio.....	58
Ilustración 18: Comparación entre coeficientes de escurrimiento normativos vs obtenidos en la zona de estudio.....	60
Ilustración 19: Comparación entre los valores porcentuales de CBR. vs los valores porcentuales de infiltración.....	61
Ilustración 20: Diagrama de soporte de California (CBR) e infiltración de las muestras.....	61
Ilustración 21: Comparación entre los valores de compactación. vs los valores porcentuales de infiltración.....	62
Ilustración 22: Diagrama de grados de compactación in situ vs infiltración – Base.....	63
Ilustración 23: Comparación entre los valores de densidades EDG. vs los valores porcentuales de infiltración.....	63
Ilustración 24: Diagrama de grados de densidades EDG vs infiltración – Base.....	64

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Etiquetado de muestras.	71
Anexo 2. Extracción del material de cada muestra.....	71
Anexo 3. Restauración de la perforación.	71
Anexo 4. Ensayo granulométrico.	71
Anexo 5. Ensayo límite líquido.	71
Anexo 6. Ensayo límite plástico.	71
Anexo 7. Ensayo proctor modificado.	71
Anexo 8. Ensayo de absorción del material fino.	71
Anexo 9. Ensayo de absorción del material grueso.	71
Anexo 10. Ensayo cono de arena.....	72
Anexo 11. Instalación del Geo-Gaugue.	72
Anexo 12. Ensayo Geo-Gaugue, toma de datos.	72
Anexo 13. Ensayo - Instalación del EDG.	72
Anexo 14. Ensayo - Toma de datos del EDG.....	72
Anexo 15. Gráfica del modelo del suelo del ensayo EDG.....	72
Anexo 16. Ensayo de infiltración - rellenado de juntas.	72
Anexo 17. Ensayo de infiltración - instalación del equipo.....	72
Anexo 18. Ensayo de infiltración - toma de datos.....	72
Anexo 19. Formato de procesamiento de datos del ensayo de proctor modificado de la muestra 1.	73
Anexo 20. Formato de procesamiento de datos del ensayo de granulometría de la muestra 1.	74
Anexo 21. Formato de procesamiento de datos del ensayo del cono de arena de la muestra 1.....	75
Anexo 22. Formato de procesamiento de datos del ensayo del límite de atterberg de la muestra 1.	76
Anexo 23. Formato de procesamiento de datos del ensayo del infiltrómetro de la muestra 1.	77
Anexo 24. Resumen de datos finales obtenidos.	78

RESUMEN

El deterioro de los pavimentos articulados está relacionado con la acción del agua proveniente de las precipitaciones, lo que se agrava debido a la falta de especificación de un coeficiente de escurrimiento en la normativa vigente para este tipo de pavimentos, para el diseño de sistemas de drenaje. Estas condiciones representan un riesgo para la seguridad vial. Por lo tanto, es necesario generar información sobre las características hidráulicas de los pavimentos articulados en la cabecera cantonal de Guano, provincia de Chimborazo. Esta investigación presenta datos tanto de laboratorio como IN SITU sobre dichas propiedades y su correlación, utilizando equipos eléctricos para su medición. Los resultados indican que las propiedades físicas del material cumplen parcialmente con la normativa ecuatoriana para capas granulares de base tipo 3. Sin embargo, se evidencian deficiencias en las propiedades IN SITU, las cuales se atribuyen a procesos constructivos inadecuados y a la exposición a condiciones climáticas adversas. En particular, se observan valores de compactación y CBR por debajo de lo establecido en la normativa. El análisis de las propiedades hidráulicas reveló que los valores de escurrimiento para el pavimento articulado coinciden con los límites normativos para pavimentos flexibles en buen estado. Al correlacionar las propiedades físico-mecánicas IN SITU con las hidráulicas, se detectó un aumento en el porcentaje de infiltración en las muestras con menor CBR y grado de compactación. Finalmente, esta caracterización puede ser valiosa para el diseño de sistemas de drenaje más adecuados, adaptados al material de la zona estudiada, y para la implementación de nuevos indicadores de deterioro en pavimentos articulados.

Palabras claves: Pavimento articulado, características, físicas, mecánicas, hidráulicas, IN SITU, base, correlaciones.

ABSTRACT

The deterioration of articulated pavements is related to the action of water from rainfall. The need for more specification of a runoff coefficient in the current regulations for this type of pavement for the design of drainage systems aggravates it. These conditions represent a risk for road safety. Therefore, it is necessary to generate information on the hydraulic characteristics of articulated pavements in the cantonal head of Guano, province of Chimborazo. This research presents laboratory and in situ data on these properties and their correlation, using electrical equipment for their measurement. The results indicate that the material's physical properties partially comply with Ecuadorian type 3 granular base course standards. However, deficiencies are evident in the IN-SITU properties. It results from inadequate construction processes and exposure to adverse weather conditions. In particular, it was possible to observe the compaction and CBR values below those established in the standard. The hydraulic properties analysis revealed that the articulated pavement's runoff values coincide with the regulatory limits for flexible pavements in good condition. When correlating the physical-mechanical properties IN SITU with the hydraulic properties, it was possible to detect an increase in the percentage of infiltration in the samples with lower CBR and degree of compaction. Finally, this characterization can be valuable for designing more adequate drainage systems adapted to the material of the area studied and for implementing new deterioration indicators in articulated pavements.

Keywords: Articulated pavement, characteristics, physical, mechanical, hydraulic, IN SITU, base, correlations.



Reviewed by:

Mgs. Jessica María Guaranga Lema
ENGLISH PROFESSOR
C.C. 0606012607

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Zona de Estudio

El cantón Guano se ubica en el centro del Altiplano Andino del Ecuador, al norte de la provincia de Chimborazo. Está situada a una altitud de 2720 metros sobre el nivel del mar y se encuentra a una distancia de 8 kilómetros de la ciudad de Riobamba. La cabecera cantonal cuenta con una población estimada de 42.851 habitantes (INEC, 2010).

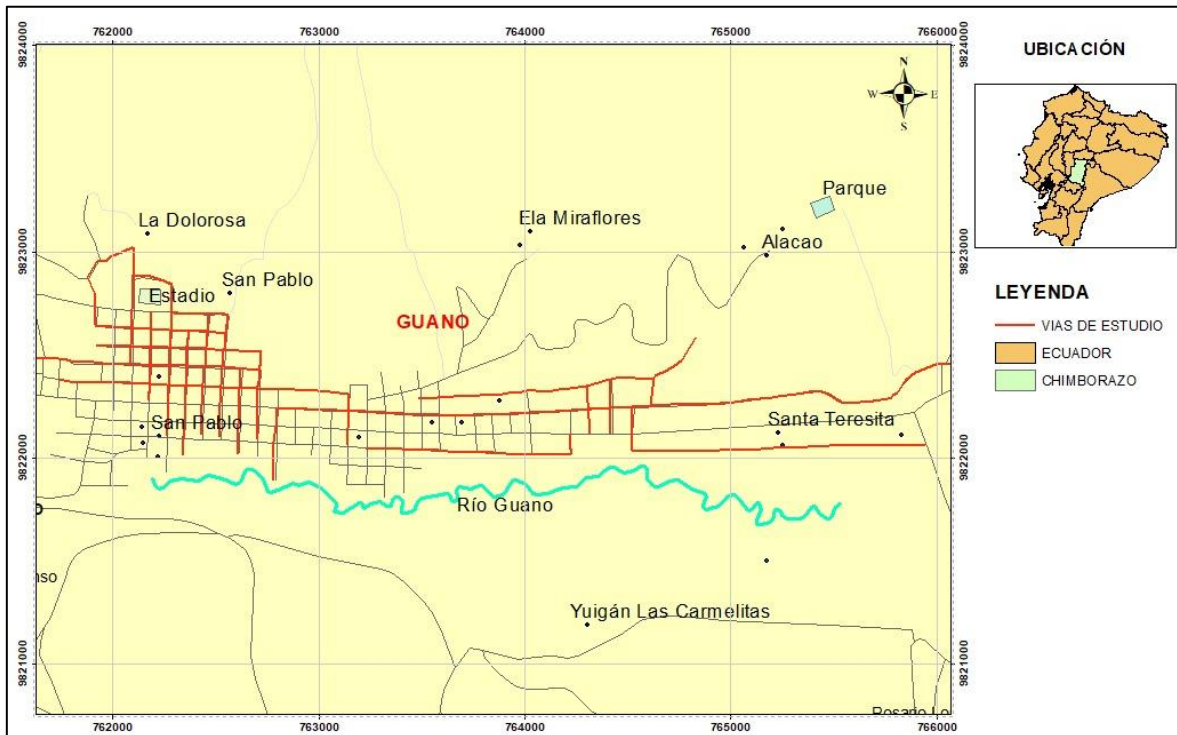


Ilustración 1. Ubicación geográfica de los tramos viales de análisis.

Fuente Propia.

Los tramos viales analizados comprendieron la totalidad del pavimento articulado de la cabecera cantonal de Guano, con una extensión total de 18,37 km. El objetivo principal de este muestreo fue garantizar una representatividad adecuada que capturará fielmente las características y particularidades de la zona en estudio, asegurando así la calidad y precisión de los datos obtenidos.

1.2 Antecedentes de investigación

En todo el mundo, se encuentran diversos tipos de carreteras que desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de las comunidades. Estas vías están construidas utilizando distintos tipos de pavimentos, que se distinguen principalmente por sus superficies de rodadura impermeables. En Ecuador, se construyen comúnmente tres tipos de

pavimentos: flexibles, rígidos y articulados. Según (Sánchez, 2003) los pavimentos articulados son reconocidos como una opción de pavimentación adecuada para vías que soportan tráfico vehicular de intensidad media y alta. Además, los pavimentos articulados logran retener las propiedades flexibles inherentes a los asfálticos, prescindiendo de las complicaciones asociadas a su deformación (Montejo, 1999).

La implementación de este tipo de pavimentos se basa en una serie de consideraciones económicas y técnicas, que abarcan diversos aspectos como las características del suelo, la estimación del tráfico de diseño esperado, la comodidad y serviciabilidad para el usuario. Sin embargo, es fundamental resaltar que uno de los aspectos más cruciales a considerar es el impacto de las condiciones climáticas en el pavimento, especialmente en lo que respecta a las precipitaciones. Este factor meteorológico constituye uno de los enfoques principales de la presente investigación, ya que la correcta ejecución de pavimentos viales se ha vuelto cada vez más desafiante para los constructores debido a las influencias climáticas (VINTIMILLA, 2014).

Dichos pavimentos requieren de la construcción de drenajes superficiales y o sumideros conectados al alcantarillado, a fin de hacer la evacuación de las aguas superficiales siempre y cuando se dejen bien definidas las pendientes transversales como longitudinales, y los coeficientes de escurrimiento para que por ningún motivo se presente estancamientos de agua sobre el pavimento (Mora & Argüelles, 2015). No obstante, es una situación frecuente durante la temporada invernal presenciar una sobresaturación de los pavimentos y la correspondiente saturación vial. Esto se agrava cuando hay un tráfico intenso, lo que provoca problemas adicionales (Ruiz, 2014). Por lo tanto, comprender adecuadamente este fenómeno en las redes viales es crucial para garantizar la eficiencia y durabilidad de los pavimentos en diversos entornos climáticos. Optimizar las prácticas ingenieriles durante la fase de construcción vial es esencial para mitigar los riesgos asociados con las precipitaciones, promoviendo así la seguridad y el bienestar de los usuarios.

Por lo tanto, es crucial tener un conocimiento adecuado de las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas del pavimento, ya que esto constituye una base esencial para adaptar el diseño y la construcción de un pavimento articulado a las condiciones específicas de cada lugar. En particular, las características mecánicas se refieren a las propiedades que determinan la capacidad de los componentes del pavimento para soportar cargas y deformaciones inducidas por el tráfico vehicular y las condiciones climáticas. Estas propiedades incluyen la resistencia a la compresión, el desgaste, la capacidad de soporte

estructural y la fricción entre las partículas del suelo (Garnica et al., 2002). Por otro lado, cuando se habla de propiedades físicas del pavimento articulado hace referencia a las características intrínsecas que describen la composición y estructura del pavimento, abarcando aspectos como la densidad de los materiales utilizados, el espesor de las capas y su resistencia.

Finalmente, las propiedades hidráulicas propias de los pavimentos hacen referencia a la capacidad que disponen para gestionar el flujo de agua superficial y drenaje bajo la superficie, dentro de este contexto se engloban distintos atributos que relacionan al pavimento con el suelo tales como la permeabilidad, textura superficial, saturación, capacidad de infiltración e inclinación del camino (Zepeda, 1992).

En relación con este tema según (Llerena & Ticlla, 2020), la ocupación del suelo en el medio urbano se caracteriza por el aumento del área impermeable, ocasionando el aumento del escurrimiento superficial (crecidas), la degradación de la calidad de las aguas urbanas y la disminución de la recarga de las aguas subterráneas. En consecuencia, a este fenómeno la capa de rodadura se ve afectada por encharcamientos que generan baches e incomodan al usuario.

El objetivo principal de este trabajo es investigar las características físicas, mecánicas e hidráulicas relacionadas del pavimento articulado de la cabecera cantonal del cantón Guano de la provincia de Chimborazo, 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

Guano se encuentra ubicada en una región montañosa con topografía irregular y condiciones climáticas variables que incluyen lluvias intensas y variaciones significativas de temperatura, enfrenta desafíos únicos en la infraestructura vial. Estas condiciones adversas afectan directamente el comportamiento del pavimento articulado, influyendo en su resistencia, durabilidad y capacidad de drenaje. La evaluación del estado de la estructura que comprenden el pavimento articulado, la erosión y la degradación, así como la disminución de la resistencia estructural del pavimento, requiere un análisis exhaustivo de sus propiedades físicas-mecánicas e hidráulicas.

La infiltración de agua en la estructura del pavimento articulado representa un problema crítico, ya que puede provocar deformaciones, hundimientos y una pérdida significativa de capacidad portante del suelo al afectar las capas inferiores. Por tanto, el desafío principal radica en encontrar un equilibrio óptimo entre la impermeabilidad del pavimento, la adecuada infiltración y la capacidad de escurrimiento, permitiendo que el agua se aleje rápidamente de la superficie.

La necesidad de esta investigación surge de la importancia de evaluar el desempeño de los pavimentos articulados existentes en la cabecera cantonal de Guano, comprendiendo cómo las características físicas y mecánicas afectan el flujo de agua de lluvia y, por ende, la seguridad y comodidad de los usuarios. Por tales motivos se plantea la siguiente interrogante: ¿Cómo se relacionan las características físicas – mecánicas con las características hidráulicas evaluadas en campo y laboratorio, y la determinación del coeficiente de escurrimiento medido en pavimentos articulados existentes?

1.4 Justificación

El pavimento articulado está conformado por varias capas en su estructura, su capa de rodadura está elaborada con bloques de concreto prefabricado, llamados adoquines de espesor uniforme e iguales entre sí, por lo cual presenta una característica de impermeabilidad que facilita el escurrimiento de las precipitaciones pluviales generando flujos que se conducen hacia los elementos de drenaje vial. Además, una parte de estas precipitaciones se infiltra a través de las juntas que se forman en las uniones entre los adoquines. Uno de los elementos esenciales correspondientes a los sistemas de drenaje viales son las cunetas, alcantarillas y sumideros, necesarios para evitar el estancamiento de agua en las calzadas y contrarrestar inundaciones, razón por la cual el diseño de estas debe cubrir el caudal máximo que fluye por la superficie de rodadura durante eventos de lluvia, en donde interviene el coeficiente de escurrimiento como una de las principales variables hidráulicas.

Dentro del ámbito vial, el coeficiente de esorrentía es el factor que establece cuánta agua se anticipa que escurra por las carreteras durante las lluvias. Este coeficiente representa la proporción entre la cantidad de líquido que fluye sobre la superficie y el volumen total de precipitación, que finalmente desemboca en los sistemas de drenaje. Esta característica hidráulica presente en el pavimento articulado está relacionada a propiedades físicas y mecánicas.

En Ecuador existe 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), que no ha sido actualizada desde el año de 1992.

En la norma se puede encontrar tabulados los coeficientes de escurrimiento para los diferentes tipos de superficies de pavimentos, notando que no especifica un rango para pavimento articulado construidos con adoquín artesanal, a eso sumado que en nuestro país no existe una actualización constata de la normativa, por lo tanto es complejo asegurar que los coeficientes pueden representar las condiciones reales de escurrimiento del pavimento articulado, los patrones de clima según su región, las lluvias y calidad de materiales son distintos, además los factores propios o locales de una vía en específico podrían darle cierta diferencia con el coeficiente que propone la norma ecuatoriana.

Tabla 1: Valores de coeficientes de escurrimiento.

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

Fuente: Adaptado de NORMA URBANA EIOS, 1992).

Por lo tanto, surge la necesidad de obtener coeficientes específicos de escurrimiento para cada tramo vial de análisis del cantón de Guano, considerando que estos parámetros pueden estar estrechamente relacionados con las características físicas y mecánicas de la capa de base de las muestras investigadas.

Al determinar nuevos coeficientes de escurrimiento específicos para pavimentos articulados, se podrá generar información valiosa para mejorar el diseño hidráulico de las carreteras. Esto permitirá una mayor precisión en las obras y ofrecerá múltiples beneficios, tales como la protección contra el deterioro causado por el agua, la mejora de la estabilidad estructural inclusive reduciendo los riesgos de accidentes.

1.5 Objetivos

1.5.1 General

- Determinar las características físicas, mecánicas e hidráulicas del pavimento articulado realizando sondeos en campo con equipos eléctricos y valoraciones de laboratorio.

1.5.2 Específicos

- Medir en laboratorio características físicas del pavimento articulado.
- Evaluar IN SITU las características mecánicas e hidráulicas usando equipos eléctricos.
- Establecer la relación de las características físico-mecánicas en pavimentos articulados con el comportamiento hidráulico.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

1.6 PAVIMENTO ARTICULADO

1.6.1 Aspectos generales

Un pavimento articulado se define como aquel que utiliza adoquines como capa de rodamiento, los cuales son elementos prefabricados de pequeñas dimensiones con una alta resistencia individual. Estos adoquines están unidos entre sí mediante un sellante que no solo los retiene, sino que también contribuye a impermeabilizar la estructura. Debido a su disposición entrelazada y a la conformación de sus caras laterales, estos adoquines permiten una eficiente transferencia de cargas desde el elemento que las recibe hacia varios de sus adyacentes, lo que resulta en un trabajo sólido y sin la posibilidad de desmontaje individual (Díaz, 2018).

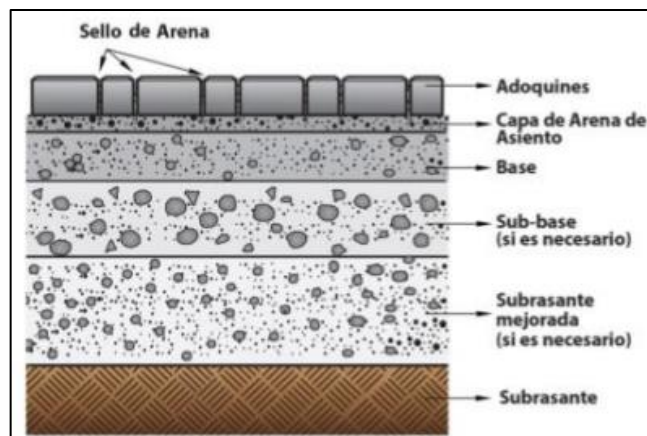


Ilustración 2: Estructuración típica de un pavimento articulado.

Fuente: (Díaz, 2018).

1.6.2 Elementos del pavimento articulado (Díaz, 2018)

- **Sub-rasante:** La subrasante se define como el soporte natural, debidamente preparado y compactado, sobre el cual se puede construir un pavimento. Su función principal consiste en proporcionar un apoyo uniforme y estable, sin cambios abruptos en su capacidad de soporte. Es fundamental que la subrasante ofrezca una base estable más que una alta capacidad de soporte.
- **Capas de base y/o Sub-base:** Las capas de base y sub-base tienen como objetivo principal disipar las tensiones provenientes de las capas superficiales y distribuir las uniformemente hacia el terreno de fundación, con el fin de controlar las deformaciones a lo largo del tiempo. Estas capas pueden estar

compuestas por suelos granulares o bien pueden ser tratadas con asfalto o cemento.

- **Capa de arena de asiento:** La capa de arena forma parte de la capa de rodadura de un pavimento articulado y desempeña tres funciones clave: actúa como filtro para el agua que pueda penetrar a través de las juntas, proporciona soporte para los adoquines y facilita la unión entre ellos cuando la arena penetra por las juntas. Además, permite la consolidación del pavimento debido a la compactación y el tráfico durante los primeros años de vida útil.
- **Adoquines:** Los adoquines son elementos prefabricados que, una vez colocados y compactados, forman la capa de rodadura del pavimento. Su función principal es proporcionar una superficie de rodado resistente, duradera y funcional, que permita transmitir y disipar las tensiones hacia las capas inferiores, así como prevenir o limitar las deformaciones.
- **Sello de arena:** El sello de arena se refiere a la arena fina que se utiliza para rellenar las juntas entre los adoquines. Su función principal es proporcionar un anclaje vertical y transferir las cargas debido al tráfico.
- **Bordes de Confinamiento:** Los bordes de confinamiento tienen como función principal evitar el desplazamiento de los adoquines, la apertura excesiva de las juntas o la pérdida de la unión entre ellos debido a las fuerzas del tráfico. Existen dos tipos de confinamiento: externo e interno.
 - **Confinamiento externo:** Este tipo de confinamiento rodea el pavimento y puede estar constituido por elementos como bordillos de acera, bordillos contra áreas verdes o bordillos a ras contra otros tipos de pavimentos.
 - **Confinamiento interno:** Este tipo de confinamiento rodea las estructuras que se encuentran dentro del pavimento, como sumideros, cámaras de inspección, cunetas, entre otros.

1.6.3 Base

Este estrato, formado por materiales granulares, se ubica sobre la subbase o directamente sobre la subrasante. Su función clave es brindar la resistencia estructural necesaria para soportar las presiones verticales de los ejes vehiculares. Asimismo, debe ser lo suficientemente grueso para resistir las presiones hacia la

subbase, drenar el agua infiltrada, prevenir el ascenso capilar del agua subterránea y reducir las deformaciones por tracción en la capa de rodadura (MTOPI, 2002)

1.6.3.1 Clasificación de bases en pavimentos articulados

De acuerdo con el (MTOPI, 2002), se identifican cuatro clases de bases. Las bases de las clases 1, 2 y 3 están compuestas por 100%, 50% y 25% de material triturado, respectivamente, y todas son producidas en una planta centralizada. En contraste, para la clase 4, el material se obtiene mediante el cribado de agregados. Los requisitos granulométricos específicos para cada una de estas clases de bases en el pavimento articulado se detallan en la **tabla 2**.

Tabla 2. Requisitos granulométricos para bases granulares de pavimento articulado.

Tamiz ASTM	Abertura en [mm]	Porcentaje que pasa el tamiz [%]				
		Clase 1 Tipo A	Clase 1 Tipo B	Clase 2	Clase 3	Clase 4
2"	50.000	100 máx.	100 máx.	-	-	100
1" 1/2"	38.100	70 a 100	70 a 100	-	-	-
1"	25.000	55 a 85	55 a 85	100	-	60 a 90
3/4"	19.000	50 a 80	60 a 90	70 a 100	100	-
3/8"	9.500	35 a 70	45 a 75	50 a 80	-	-
No. 4	4.750	25 a 50	30 a 60	35 a 65	45 a 80	20 a 50
No. 10	2.000	20 a 40	20 a 50	25 a 30	30 a 60	-
No. 40	0.425	10 a 25	10 a 25	15 a 30	20 a 35	-
No. 200	0.075	2 a 12	2 a 12	2 a 12	3 a 15	0 a 15

Fuente: Adaptado de MTOPI, 2002.

1.6.4 Sub-base

La subbase granular se coloca debajo de la base, sobre la subrasante o terraplén, y se construye directamente sobre el mejoramiento de la subrasante. Su función es reducir los costos del pavimento al permitir transformar parte del espesor de la base en un espesor equivalente de subbase. Además, protege la base al prevenir la capilaridad, los cambios volumétricos, la disminución de resistencia, y evita la migración de finos hacia las capas superiores (MTOPI, 2002).

1.6.4.1 Clasificación de sub-base en pavimentos articulados

De acuerdo con el (MTOPI, 2002), existen tres clases de subbase, diferenciadas por el método de obtención del material: la clase 1 proviene del triturado de piedras y gravas, la clase 2 se obtiene por cribado, y la clase 3 utiliza

material excavado de la plataforma. Los requisitos granulométricos para cada clase de subbase en el pavimento articulado se detallan en la **tabla 3**.

Tabla 3. Requisitos granulométricos para sub-bases granulares de pavimento articulado.

Tamiz ASTM	Abertura [mm]	en Porcentaje que pasa el tamiz [%]		
		Clase 1	Clase 2	Clase 3
3"	75.000	-	-	100
2"	50"	-	100	80 a 100
1" 1/2"	38.100	100	70 a 100	-
No. 4	4.750	30 a 70	30 a 70	30 a 70
No. 40	0.425	10 a 35	15 a 40	15 a 45
No. 200	0.075	0 a 15	0 a 20	0 a 20

Fuente: Adaptado de MTOP, 2002.

1.6.5 Subrasante

La subrasante es el estrato o cimiento esencial que sostiene toda la estructura del pavimento y, en la mayoría de los casos, corresponde al terreno natural de la vía (MTOP, 2002).

1.7 PROPIEDADES FÍSICAS DEL PAVIMENTO ARTICULADO

1.7.1 Granulometría

La granulometría es una propiedad física clave que define las partículas de una roca sedimentaria, suelo o terreno, basándose únicamente en sus dimensiones de las partículas, sin considerar su composición química. Esta clasificación granulométrica permite organizar los sedimentos según su tamaño y textura, brindando información valiosa sobre su origen, mecanismos de transporte y patrones de depósito.

Una granulometría óptima de las capas granulares puede mejorar la resistencia de la estructura del pavimento articulado frente a las cargas de tráfico y condiciones ambientales, aumentando así su vida útil y reduciendo el desgaste (Yang et al., 2022).

1.7.2 Límites de consistencia

- a) **Límite líquido:** Se refiere al contenido máximo de humedad que un suelo puede presentar manteniendo su estado plástico. Si la cantidad de agua

excede este límite, el suelo pasará a un estado de fluidez viscosa (Garcia, 2023)

- b) **Límite plástico:** Hace referencia a la cantidad mínima de agua que un suelo puede contener manteniendo su estado semisólido. Si el contenido de humedad es menor, el suelo se fracturaría con facilidad (Garcia, 2023).
- c) **Índices de plasticidad:** Se obtiene restando el límite plástico del límite líquido (Garcia, 2023).

1.7.3 Clasificación del suelo

Los suelos pueden ser categorizados en grupos y subgrupos basándose en sus características mecánicas y su comportamiento en el ámbito de la ingeniería. En la actualidad, existen dos sistemas de clasificación ampliamente utilizados en aplicaciones de ingeniería: el de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), los cuales se basan en la distribución granulométrica y la plasticidad de los suelos (Castro, 2023).

1.7.3.1 Clasificación AASHTO

El sistema de clasificación de la AASHTO fue desarrollado en 1929 y se enfoca en las características de estabilidad de los suelos empleados en la construcción de caminos, fundamentándose en la distribución granulométrica, el límite líquido y el límite plástico (Castro, 2023).

1.7.3.2 Clasificación SUCS

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) es el más utilizado en la práctica geotécnica, inicialmente propuesto por Arthur Casagrande en 1932. Este procedimiento se basa en el análisis granulométrico y en los límites de plasticidad de los suelos (Castro, 2023).

1.7.3.3 Coeficiente de uniformidad y Coeficiente de curvatura

El coeficiente de uniformidad (C_u) mide la dispersión de los tamaños de partículas en una muestra de suelo, indicando su variabilidad. Cuando C_u es mayor a 6 en arenas o mayor a 4 en gravas, el suelo se clasifica como bien graduado. Esto implica que presenta una distribución uniforme de tamaños de partículas, lo cual es beneficioso para su estabilidad y capacidad de compactación (Das, 2015).

Por otro lado, el coeficiente de curvatura (C_c) describe la forma de la curva granulométrica, evaluando la simetría de la distribución de partículas. Valores de C_c entre 1 y 3 sugieren una distribución equilibrada, lo que también contribuye a una mejor compactación y mayor estabilidad del suelo (Das, 2015).

1.7.4 Humedad Óptima

La humedad óptima es un concepto importante en ingeniería de pavimentos y materiales de construcción. Se refiere al nivel de contenido de agua en un material granular en el cual se logra la máxima densidad y resistencia mecánica. Es el punto en el que el material alcanza sus mejores características de compactación y rendimiento bajo carga. En el contexto de pavimentos flexibles, la determinación de la humedad óptima es crucial para garantizar la calidad y durabilidad del pavimento. Cuando el contenido de agua en el material se encuentra por debajo del óptimo, puede haber una falta de compactación y, por lo tanto, una menor resistencia del pavimento (Zhu et al., 2017).

1.7.5 Grado de Compactación

La compactación se evalúa típicamente como un porcentaje de la densidad óptima del material empleado, y tanto los suelos de fundación como los de relleno deben alcanzar al menos el 95% del ensayo Proctor estándar o la densidad máxima del suelo (MTOP, 2002).

1.7.6 Absorción

La absorción se refiere al incremento de peso del agregado debido a la penetración de agua en los poros de las partículas durante un intervalo de tiempo específico, excluyendo el agua que queda en la superficie de las partículas. Este incremento se expresa como un porcentaje del peso en seco del material. Este fenómeno, también conocido como higroscopicidad, es una característica inherente a los materiales granulares y está determinada por su porosidad. La higroscopicidad se define como la capacidad del material para absorber o liberar humedad del entorno circundante, influenciando así su comportamiento y durabilidad en diversas aplicaciones (Universidad Centroamericana, 2001).

1.7.7 Macrotextura

La macrotextura del pavimento proporciona una superficie rugosa que facilita el drenaje del agua entre el neumático y la carretera, reduciendo así el riesgo de hidroplaneo. Además, desempeña un papel crucial en la resistencia al deslizamiento, especialmente a altas velocidades. Esta característica depende de las propiedades como, la gradación y el tamaño máximo del agregado. Para medir la macrotextura, se utilizan dispositivos volumétricos, cuyos resultados se expresan en términos de profundidad de textura o de perfil (Pranjic et al., 2020).

1.8 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PAVIMENTO ARTICULADO

1.8.1 Módulo de Rigidez

La rigidez se define como la capacidad de un material para resistir deformaciones dentro de su rango elástico. Este comportamiento está relacionado con la resiliencia del material, que le permite absorber y liberar energía de cargas externas sin sufrir deformaciones permanentes (Rincón-Morantes et al., 2022).

1.8.2 Módulo de Young

El módulo de Young, también conocido como módulo de elasticidad longitudinal o simplemente módulo de elasticidad, es una propiedad mecánica que describe la rigidez o resistencia a la deformación elástica de un material. Es una medida de la respuesta del material a las fuerzas de tracción o compresión aplicadas en la dirección longitudinal. Formalmente, el módulo de Young se define como la relación entre el esfuerzo (fuerza aplicada por unidad de área) y la deformación unitaria (cambio relativo en la longitud) que experimenta un material bajo una tensión uniaxial (tensión o compresión) dentro de su rango elástico. Se denota comúnmente por la letra "E" y se expresa en unidades de presión, como Pa (pascal) o psi (libra por pulgada cuadrada) (Freire, 2005)

1.8.3 CBR

El CBR es un método desarrollado en 1929 por los ingenieros Stanton y Porter del Departamento de Carreteras de California para evaluar la calidad relativa del suelo destinado a subrasante, subbase y base de pavimentos. Este método, cuyo nombre en español es Relación de Soporte California, también se conoce en algunos países como Valor Relativo de Soporte (VRS). Desde su creación, el CBR se ha

generalizado tanto en Europa como en América, convirtiéndose en una herramienta estándar para clasificar suelos utilizados en la construcción de carreteras (Castro, 2023).

1.8.4 Resistencia del adoquín

Según el (MTO, 2002), la resistencia a la compresión en adoquines debe ser de al menos 300 kg/cm² para áreas con tráfico medio o ligero, y de al menos 400 kg/cm² para vías de tráfico pesado.

1.8.5 Desgaste del adoquín

La norma (INEN 3040, 2016), regula la medición de la resistencia al desgaste por abrasión en adoquines de concreto mediante el método Böhme, que determina la pérdida de volumen en una muestra cúbica tras ser sometida a un ciclo abrasivo. La pérdida de volumen permitida no debe exceder los 20,000 mm³ por cada 5,000 mm². En su versión actual, la norma establece que este desgaste se evalúa utilizando el método de rueda ancha, donde una rueda giratoria somete la muestra a un proceso abrasivo controlado, permitiendo medir la resistencia del material al desgaste en condiciones específicas.

1.9 PROPIEDADES HIDRÁULICAS DEL PAVIMENTO ARTICULADO

1.9.1 Infiltración de la capa de rodadura

La infiltración en la capa de rodadura se refiere al proceso en el que el agua penetra la superficie del pavimento. Este fenómeno puede afectar negativamente la durabilidad y estabilidad del pavimento, especialmente en climas lluviosos. La capacidad de infiltración del pavimento depende de su porosidad, textura y estado de conservación. Un drenaje adecuado y un diseño óptimo de la capa de rodadura son esenciales para minimizar los riesgos de daños por infiltración de agua. Además, técnicas como el uso de mezclas porosas y sistemas de drenaje superficial pueden mejorar la gestión del agua en la capa de rodadura (Rebolledo, 2010).

1.9.2 Infiltración en función de los estratos del pavimento articulado

Las superficies artificiales incrementan la escorrentía superficial en comparación con la infiltración, lo que resulta en un mayor volumen de agua llegando a los drenajes naturales durante o poco después de la lluvia. La infiltración

del agua de lluvia en el estrato granular de la base de un pavimento articulado es crucial, destacando la necesidad de entender su dinámica. Idealmente, estas superficies deberían estar compuestas por grava, concreto o asfalto poroso, o por pavimentos articulados con amplias separaciones entre las unidades individuales para facilitar el paso del agua hacia las capas inferiores (GUERRERO, 2015).

1.9.3 Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía (c) representa la proporción de agua de la lluvia total que se convierte en escorrentía superficial una vez que el suelo ha alcanzado su capacidad de saturación. Su valor depende de las características específicas del terreno que influyen en la infiltración del agua en el suelo (Asensio et al., 2011).

En nuestro país, se han establecido valores específicos según el tipo de superficie, como se detalla en la siguiente **tabla 4**.

Tabla 4: Valore de coeficientes de escorrentía.

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

Adaptado: (NORMA URBANA EIOS, 1992).

CAPÍTULO III. METODOLOGIA.

2.1 Diagrama Metodológico

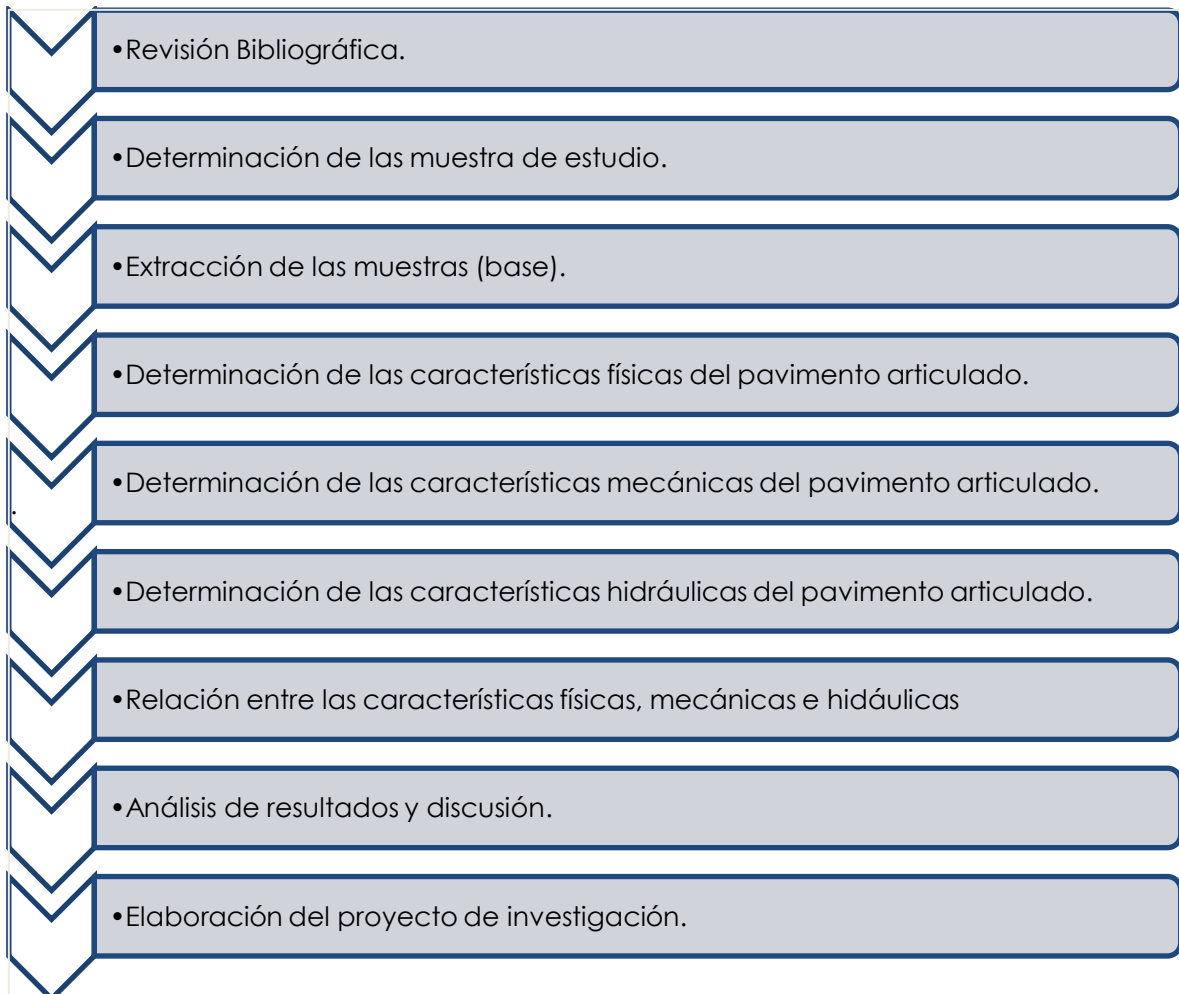


Ilustración 3: Diagrama metodológico propuesto.

2.2 Tipo de Investigación

Esta investigación adoptará un enfoque cuantitativo, ya que se obtendrán datos numéricos a través de la realización de ensayos de laboratorio e in situ sobre las muestras de la base del pavimento articulado.

2.3 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es de tipo descriptivo, ya que se encuentra enfocado en detallar las características físicas, mecánicas e hidráulicas del pavimento articulado.

2.4 Definición de la muestra

2.4.1 Población

La población es un mallado de un pavimento articulado que cubre la cabecera cantonal de Guano, en la provincia de Chimborazo, excluyendo otros tipos de pavimento, como el flexible o rígido.

2.4.2 Muestra

El muestreo realizó en ocho ubicaciones a lo largo de todo el mallado en las vías conformadas por pavimento articulado en el cantón Guano, la extracción de la muestra consideró únicamente los materiales que se encuentran por debajo de la capa de rodadura y la cama de arena.

2.4.3 Tipo de muestreo

El tipo de muestreo utilizado es sistemático estratificado. Se considera sistemático debido a las perforaciones regulares en cada uno de los puntos, y estratificado por la uniformidad del material a lo largo de la vía.

2.4.4 Criterios de selección









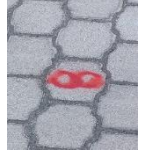
El criterio de selección de muestras se basó en una inspección visual detallada de los tramos viales que abarcan toda la cabecera cantonal de Guano. A partir de esta evaluación, se seleccionaron ocho puntos estratégicamente representativos, distribuidos en diferentes ubicaciones a lo largo de toda la extensión del área en estudio. Este enfoque garantiza que la toma de muestras cubra adecuadamente toda la zona, reflejando sus características de manera precisa.

El proceso de obtención de las muestras granulares se pueden observar en los **anexos 1,2 y 3.**

2.4.5 Ubicación de las muestras

En la **tabla 5** se indican la ubicación de las muestras a ser analizadas.

Tabla 5: Puntos de análisis de las muestras.

Google Earth	Muestra		Coordenadas	
	Nº	Fotografía	Este	Norte
	1		765408.274	9822055.229
	2		765173.246	9822290.703
	3		763889.35	9822217.26
	4		762064.797	9822540.258
	5		762241.704	9822865.099
	6		763609.992	9822034.162
	7		764404.718	9822384.697
	8		763737.582	9822303.139

Fuente Propia.

2.5 Procedimientos

2.5.1 Ensayos de laboratorio

2.5.1.1 Granulometría de materiales granulares

La granulometría es un método utilizado para analizar la distribución de tamaños de partículas en una muestra seca de material granular, empleando tamices con aberturas decrecientes. Los resultados obtenidos permiten verificar si la distribución granulométrica de las partículas cumple con los requisitos establecidos y determinar la clasificación de la muestra según la curva granulométrica. El procedimiento para realizar este ensayo está regulado por normativa específica (NTE INEN 696, 2011).

2.5.1.2 Límites de Atterberg

2.5.1.2.1 Límite Líquido

Este ensayo se centra en determinar el contenido de agua en un suelo en el punto de transición entre sus estados líquido y plástico. Se realiza utilizando un dispositivo mecánico llamado Copa de Casagrande, aplicando un número específico de golpes para establecer la fluidez del suelo bajo condiciones normalizadas (NTE INEN 691, 1982).

2.5.1.2.2 Límite Plástico

Este ensayo determina el contenido de agua en un suelo en el límite entre su comportamiento plástico y sólido, utilizando el proceso de rolado para evaporar gradualmente el agua hasta que el suelo comience a fisurarse o disgregarse normalizadas (NTE INEN 692, 1982).

2.5.1.3 Compactación Proctor modificado

El ensayo implica compactar una muestra de suelo mientras se varían los porcentajes de agua, con el objetivo de determinar la densidad máxima seca y la humedad óptima. La normativa que regula y especifica este procedimiento es la (ASTMD-1557, 1978).

El proceso se puede visualizar en el **anexo 7**.

2.5.1.4 Densidad y absorción del agregado fino

Este ensayo se utiliza para determinar la densidad promedio de una muestra de árido fino (excluyendo el volumen de vacíos entre partículas), así como la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del árido (NTE INEN 856, 2010).

El proceso se puede visualizar en el **anexo 8**.

2.5.1.5 Densidad y absorción del agregado grueso

Este ensayo se utiliza para determinar la densidad promedio de una muestra de árido grueso (excluyendo el volumen de vacíos entre partículas), así como la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del árido (NTE INEN 857, 2010).

El proceso se puede visualizar en el **anexo 9**.

2.5.2 Ensayos in situ

2.5.2.1 Densidad in situ – Método del cono de arena

Este ensayo consiste en la excavación manual de un hoyo en el suelo con un combo y un cincel. Este método se emplea para determinar la densidad in situ y el peso unitario de los suelos, utilizando un aparato denominado cono de arena. Los indicadores de este ensayo son la densidad y la humedad del suelo in situ, conforme a la norma (ASTM D1556, 2000).

2.5.2.2 Elasticidad y rigidez in situ – Método “GeoGauge”

El GeoGauge es un instrumento ideal para complementar los dispositivos de medición de densidad, como los medidores nucleares y el densímetro eléctrico. Este equipo asegura que se cumplan los valores de rigidez o módulo especificados en el diseño de pavimentos nuevos o rehabilitados.

Este dispositivo, con un cilindro de 28 cm de diámetro y 25,4 cm de altura y un peso de 10 kg, está diseñado para colocarse sobre materiales granulares utilizando una base anular. Tiene capacidad para almacenar hasta 100 mediciones en su memoria y funciona con seis pilas desechables tipo D-cell estándar como fuente de energía.

Los elementos que conforman este equipo son los siguientes:

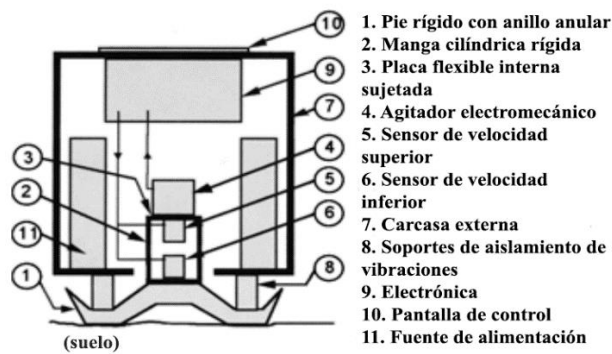


Ilustración 4. Esquema gráfico del GeoGauge. Adaptado de: (Pradeep, 2020).

Funciona aplicando una fuerza vibratoria a 25 frecuencias específicas y mide las pequeñas desviaciones resultantes para determinar la rigidez del material, basándose en la relación entre fuerza y deflexión. Además, puede calcular el módulo de Young y el módulo de cizalla, asumiendo una relación de Poisson, lo que permite simular condiciones reales de uso y obtener mediciones directas de las propiedades de ingeniería in situ durante la construcción (COTECNO, 2022).

El equipo GeoGauge admite la siguiente norma: ASTM D6758.

La metodología empleada para obtener las propiedades mecánicas del pavimento utilizando el equipo GeoGauge incluye los siguientes pasos:

- ✓ Limpieza y nivelación del área de ensayo, utilizando una pala si es necesario.
- ✓ Alineación y encendido del equipo, asegurándose de que la base esté en contacto con el suelo y nivelada.
- ✓ Inicio de la toma de datos presionando el botón "Measure", proceso que tarda aproximadamente un minuto en completarse.
- ✓ Visualización de los valores de ruido ambiental (Snr) y desviación estándar de frecuencias (Sd) en la pantalla del dispositivo.
- ✓ Alternancia entre la visualización del módulo de Young (resiliente) y el módulo de rigidez presionando "Test", con estos valores expresados en MPa y MPA/m respectivamente.

El **anexo 11 y 12** muestra el proceso y funcionamiento del equipo.

2.5.2.3 Densidad in situ – Método Eléctrico

El método eléctrico se refiere a la medición de la densidad directamente en el terreno mediante el uso del densímetro eléctrico (EDG), modelo H-4114C de la marca Humboldt, un dispositivo portátil que ha ganado popularidad en los últimos años como

una metodología no invasiva para evaluar la densidad, el contenido de humedad y el grado de compactación del suelo.

Los elementos que conforman este equipo son los siguientes:



Ilustración 5. Componentes del EDG. Adaptado de: (Humboldt, 2011)

El proceso para obtener una firma eléctrica del suelo incluye la evaluación de dos configuraciones de conexión en un único punto del ensayo. Los resultados eléctricos obtenidos se registran y promedian. Esta firma eléctrica tiene dos propósitos principales: configurar un modelo de suelo y realizar mediciones en campo.

Para realizar este ensayo, se identifican zonas adecuadas donde se conectan el sensor de temperatura y el sensor de medición del suelo, siguiendo las instrucciones mostradas en el **anexo 13**. Esto permite generar un modelo de suelo en el equipo de manera correcta. Se instalan los dardos en el suelo para capturar las firmas eléctricas, junto con el plato de soporte y el sensor de medición. Los cables se conectan al sensor y a la sonda de temperatura en la consola, verificando la correcta inserción de la sonda. Durante las descargas eléctricas, se intercambian las pinzas, tal como se muestra en el **anexo 14**. Se crean al menos tres conos de arena para el modelo de suelo y se realiza la prueba de compactación proctor en la muestra representativa. Los datos se ingresan en la consola, verificando el ajuste y asegurándose de que el FIT sea mayor a 0.70; de lo contrario, se deberá repetir las mediciones. Posteriormente, se establece un nuevo sitio de trabajo en la consola asociado al modelo de suelo previamente realizado, repitiendo los pasos para las descargas eléctricas, de modo que el dispositivo adquiriera las características físicas del suelo basándose en los datos eléctricos registrados.

Las normas que regulan la configuración del equipo son las mismas que se aplican en los ensayos de laboratorio del proctor modificado y del cono de arena, específicamente (ASTM D1556, 2000) y (ASTMD-1557, 1978).

2.5.2.4 Estimación del CBR

Los valores de CBR de los puntos ensayados en el pavimento articulado pueden estimarse a partir de las mediciones obtenidas con el GeoGauge, utilizando las ecuaciones que se presentan a continuación:

(Rondón-Quintana et al., 2011), mencionan en su artículo una fórmula para caracterizar suelos con contenido de arenas, limos y arcillas, con el objetivo de obtener un CBR en campo que facilite un proceso estandarizado de mejoramiento de suelos. La ecuación 1 emplea el módulo resiliente expresado en MPa.

$$MR (Mpa) = 10 * CBR^{0.73} \quad [1]$$

(Urquizo, 2019), tras analizar los materiales de base y subbase de la cantera San Joaquín en la provincia de Cotopaxi, se desarrolló una ecuación que correlaciona de manera efectiva el CBR con el módulo resiliente. Aunque el instrumento proporciona datos del módulo de Young (Resiliente) en MPa, la fórmula requiere el módulo resiliente en psi.

$$MR (psi) = 7138.8e^{0.0203(\%CBR)} \quad [2]$$

(Abu-Farsakh et al., 2004), en colaboración con el Departamento de Transporte y Desarrollo de Carreteras de Luisiana, concluyeron que el CBR puede estimarse utilizando el equipo GeoGauge a través de la ecuación 1. En esta ecuación, el CBR se expresa como un porcentaje (%) y KG representa la rigidez del material granular, medida en (MN/m) por el instrumento.

$$CBR = 0.0039(8.672 K_G)^2 - 5.75 \quad [3]$$

Según (AASHTO-93, 2006), Se puede estimar el CBR a través de la ecuación 4. Esta ecuación está en función del módulo de elasticidad donde el CBR está expresado en (%) y el módulo de elasticidad esta medido en (kg/cm²)

$$CBR = \left(\frac{Mr}{2555} \right)^{\left(\frac{1}{0.64} \right)} \quad [4]$$

2.5.2.5 Infiltración y escurrimiento – Método del infiltrómetro de doble anillo (UNACH 2024)

El procedimiento en cuestión es expuesto en la norma ASTM (2003), sin embargo, el método fue adaptado de acuerdo con las necesidades de la investigación.

A continuación, se describen todas las características presentes en el infiltrómetro utilizado:

- Los cilindros se encuentran confeccionados en acero galvanizado de 1.5 mm de espesor, presentando un peso total de 22.5 kg
- Las dimensiones de los cilindros se establecieron de la siguiente manera, el diámetro del cilindro exterior es de 45 cm mientras que el diámetro del cilindro interior corresponde a 25 cm, ambos cilindros poseen una altura de 600 cm.
- En la parte inferior del infiltrómetro, se incorporaron anillos de caucho (burlete) impermeabilizante con alma metálica con el propósito de limitar el flujo de agua hacia el entorno circundante del suelo, garantizando así la hermeticidad del dispositivo, la elección del caucho se basó en su facilidad para adaptarse y ajustarse al entorno circular de la base del infiltrómetro.



Ilustración 8. Caucho – Perfiles burletes alambrados 341.



Ilustración 7. Modo de ensamblado.



Ilustración 6. Colocación del caucho en el infiltrómetro.

- El pavimento articulado, al tener juntas entre adoquines, puede permitir la infiltración de agua. No obstante, se comprobó que el uso de "Silicón Blanco ABRD 1200" es eficaz para sellar estas juntas, aplicando aproximadamente 1 cm por cada una, además, en los extremos la cruz metálica situada en la parte superior del infiltrómetro, se dispusieron contrapesos de 15 kg con el fin de asegurar la estabilidad y ejercer presión en el caucho para que impida la fuga lateral de agua.

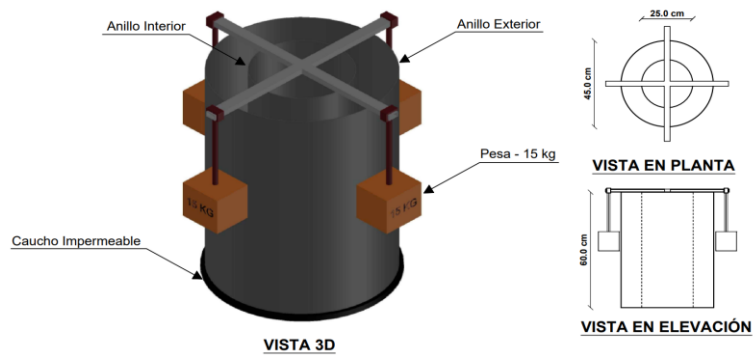


Ilustración 9. Esquema gráfico del infiltrómetro.

Fuente: (Casco & Salcán, 2024).

La metodología del ensayo consiste en instalar el infiltrómetro, nivelar los anillos y aplicar silicona en la base para evitar fugas. Se colocan pesas de 15 kg en los extremos superiores, se llena parcialmente con agua y se registra el tiempo inicial. Usando un cronómetro, se monitorea el descenso del nivel del agua a intervalos. 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.

El procedimiento se puede observar en el **anexo 16, 17 y 18.**

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

3.1.1 Granulometría

En las **tablas 6 y 7** se presentan los porcentajes de material que pasan por cada tamiz, junto con su clasificación según SUCS y AASHTO para la base y la subrasante. Además, se incluye la clase de material y el análisis de las caras fracturadas de la base.

Tabla 6: Resumen de ensayo granulométrico - Base.

Tamiz ASTM	Abertura [mm]	Pasa [%] Muestra 1	Pasa [%] Muestra 2	Pasa [%] Muestra 3	Pasa [%] Muestra 5	Pasa [%] Muestra 6	Pasa [%] Muestra 7	Pasa [%] Muestra 8	Material Obtenido
1" 1/2"	38.100	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	Grava Gruesa Grava Fina GRAVA
1"	25.000	98.85%	99.20%	96.45%	95.95%	100.00%	96.95%	99.00%	
3/4"	19.000	93.99%	91.96%	94.81%	91.39%	97.65%	91.84%	95.74%	
1/2"	12.500	87.63%	85.12%	91.21%	84.48%	93.60%	82.63%	91.54%	
3/8"	9.500	83.73%	79.93%	87.41%	79.83%	90.40%	77.43%	87.08%	
No. 4	4.750	71.61%	69.20%	78.02%	69.02%	79.16%	64.21%	75.01%	Arena Gruesa Arena Fina ARENA
No. 10	2.000	52.98%	58.41%	65.63%	55.06%	62.22%	48.60%	62.39%	
No. 40	0.425	27.14%	34.10%	38.51%	30.48%	32.58%	24.82%	37.56%	
No. 100	0.150	7.96%	11.73%	13.19%	11.06%	12.24%	10.31%	15.22%	
No. 200	0.075	1.85%	4.24%	5.29%	3.60%	5.90%	5.21%	6.31%	
Coefficiente de Uniformidad (CU)		16.54	17.78	12.79	19.99	15.17	26.15	17.24	
Coefficiente de Curvatura (CC)		0.55	0.42	0.55	0.46	0.66	0.66	0.52	
Clasificación SUCS		SP	SP	SP - SM	SP	SP - SM	SP - SM	SP - SM	
		Arena	Arena	Arena	Arena	Arena	Arena	Arena	
		pobrementegraduada con grava	pobrementegraduada con grava	pobrementegraduada con limo y grava	pobrementegraduada con grava	pobrementegraduada con limo y grava	pobrementegraduada con limo y grava	pobrementegraduada con limo y grava	
Clasificación AASHTO		A-1-b (0)	A-1-b (0)	A-1-b (0)	A-1-b (0)	A-1-b (0)	A-1-a (0)	A-1-b (0)	
		Fragmento de piedra, grava y arena	Fragmento de piedra, grava y arena	Fragmento de piedra, grava y arena	Fragmento de piedra, grava y arena	Fragmento de piedra, grava y arena	Fragmento de piedra, grava y arena	Fragmento de piedra, grava y arena	
Clase de Base		3	3	3	3	3	3	3	
Más de dos caras fracturadas		SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	

Tabla 7: Resumen de ensayo granulométrico - Subrasante.

Tamiz ASTM	Abertura [mm]	Pasa [%] Muestra 4	Material Obtenido	
1" 1/2"	38.10	100.00%		GRAVA
1"	25.00	100.00%	Grava Guesa	
3/4"	19.00	98.40%		
1/2"	12.50	96.70%	Grava Fina	
3/8"	9.50	95.05%		
No. 4	4.75	92.19%	Arena Guesa	ARENA
No. 10	2.00	88.44%		
No. 40	0.43	69.32%	Arena Fina	
No. 100	0.15	30.83%		
No. 200	0.08	7.11%	Limos	
Coefficiente de Uniformidad (CU)		4.05		
Coefficiente de Curvatura (CC)		0.80		
		SP - SM		
Clasificación SUCS		Arena pobremente graduada con limo		
Clasificación AASHTO		A3 (0) Arena Fina		

Se muestran las curvas granulométricas de cada muestra analizada a lo largo de toda la cabecera cantonal de Guano, abarcando la base y la subrasante.

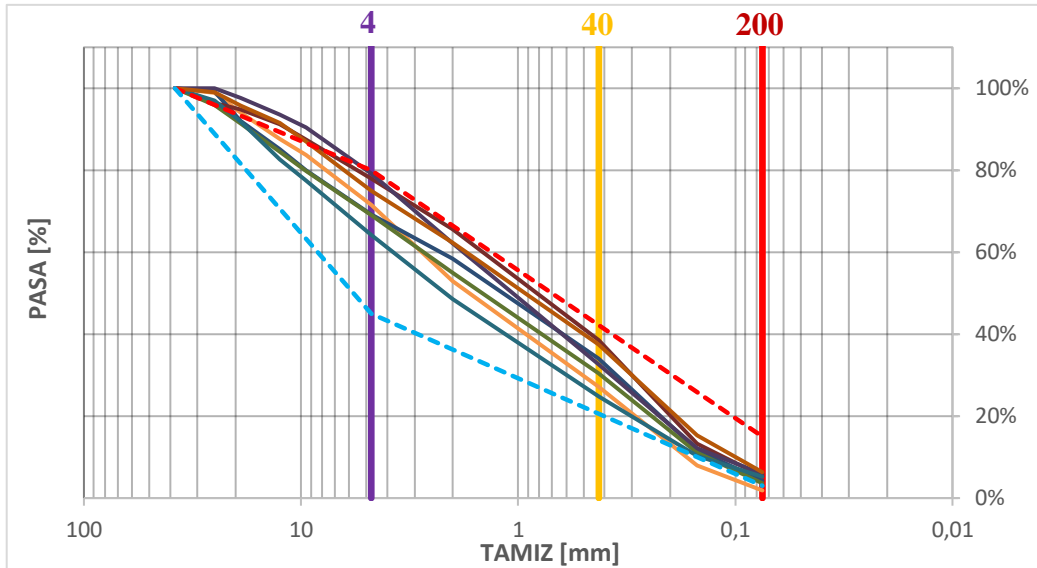


Ilustración 10: Curvas Granulométricas - Base.

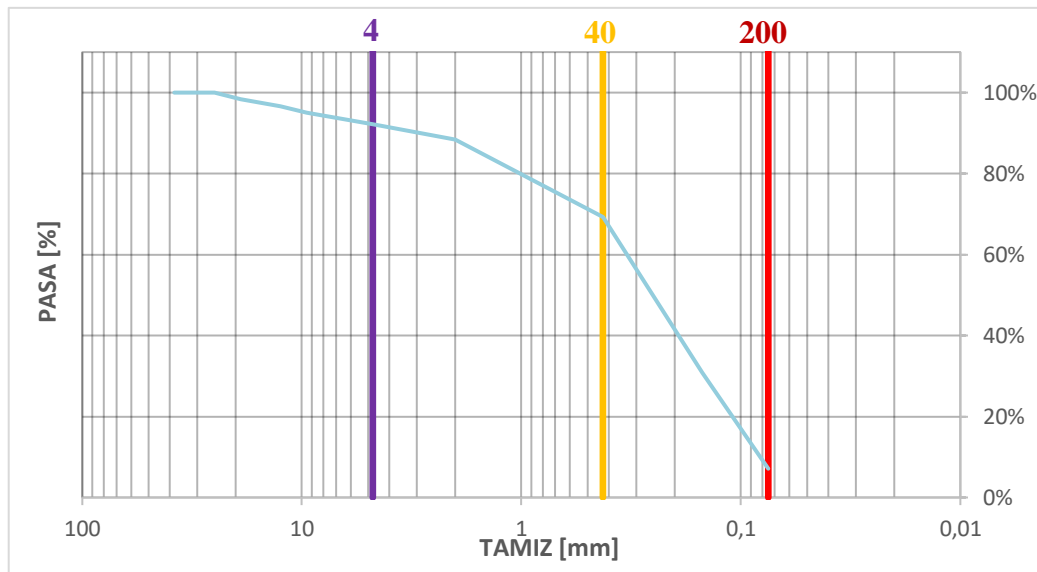


Ilustración 11: Curvas Granulométricas - Subrasante.

- | | |
|--|--|
| Tamiz No. 4 (Separa Arenas de Gravas) | Tamiz No. 40 (Separa Arena Gruesa de Fina) |
| Tamiz No. 200 (Separa Arena Fina de Limos) | M1 |
| M2 | M3 |
| M4 | M5 |
| M6 | M7 |
| M8 | Lim. Superior |
| Lim. Infe | |

Leyenda para las curvas granulométricas.

En la **ilustración 10** se presentan las curvas granulométricas correspondientes a la base, donde se observa que todas las muestras se encuentran dentro de los límites superior e inferior establecidos por la MTOP (2002) para ser clasificadas como Clase 3. A pesar de que en las curvas correspondientes a las muestras M6, M8 y M1 se detectan algunos puntos que exceden estos límites, es notable que más del 50% de cada curva se sitúa dentro del rango especificado, lo que permite considerarlas aceptables.

Por el contrario, en la **ilustración 11**, se observa la curva granulométrica de la muestra M4, la cual no cumple con los límites superior e inferior requeridos para ser catalogada como base o subbase. Este comportamiento, junto con el hecho de que más del 80% del material de esta muestra pasa por el tamiz N°4, sugiere una ausencia de gravas en este estrato, lo que permite clasificarla como subrasante.

En cuanto a la composición de la base, se destaca la predominancia de partículas de arena. Al evaluar los resultados del tamiz N°4, que diferencia entre arenas y gravas, se evidencia que más del 50% del material pasa a través de este tamiz, lo cual confirma la mayor presencia de partículas arenosas.

Por otro lado, el análisis granulométrico de la subrasante muestra que más del 80% del material pasa por el tamiz N°4, lo que refleja una significativa carencia de partículas de grava en esta capa. Esto sugiere que el estrato está compuesto principalmente por arena o partículas finas, lo cual coincide con las características de los suelos arenosos finos típicos de la región, según lo reportado por el (IGM, 2022).

3.1.2 Límites de Atterberg

Tabla 8. Resumen de plasticidad en las capas granulares del pavimento articulado.

Muestra	Estrato	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Presencia de Plasticidad
1		15.720%	-	-	No
2		16.621%	-	-	No
3		18.757%	-	-	No
5	Base	17.487%	-	-	No
6		17.267%	-	-	No
7		17.001%	-	-	No
8		15.827%	-	-	No
4	Subrasante	17.697%	-	-	No

En la **tabla 8**, se observa únicamente la determinación del límite líquido, mientras que el límite plástico no pudo ser determinado. Esta ausencia de límite plástico se debe a que el material no alcanzó las condiciones requeridas durante el ensayo de plasticidad, que consistía en formar cilindros de 3 mm de diámetro. El material no logró cohesionarse de manera adecuada, lo que resultó en valores nulos para dicho ensayo.

Este comportamiento indica que tanto la base como la subrasante están compuestas por un material no plástico (NP).

De acuerdo con la normativa MTOP (2002), para una base se requiere que el material carezca de plasticidad o que presente un límite líquido inferior al 25% y un índice de plasticidad menor al 6%. Esta especificación es crucial, ya que materiales con estas características son fundamentales para garantizar la estabilidad y durabilidad de las estructuras construidas. En el contexto de esta investigación, se ha verificado que las muestras analizadas cumplen con estos parámetros, lo que respalda la idoneidad del material para su uso en proyectos de construcción.

3.1.3 Compactación Proctor modificado

En la **tabla 9** se presenta el resumen de resultados del ensayo Proctor de las muestras en la base y subrasante.

Tabla 9. Resultados del ensayo Proctor modificado.

Características	Estrato	Muestras							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Humedad Óptima [%]	Base	6.786	7.214	6.936	-	6.750	6.690	6.899	7.034
Densidad Máxima Seca [T/m ³]		2.154	2.060	2.093	-	2.240	2.112	2.199	2.129
Humedad Óptima [%]	Subrasante	-	-	-	8.864	-	-	-	-
Densidad Máxima Seca [T/m ³]		-	-	-	1.804	-	-	-	-

En las siguientes ilustraciones se muestran las curvas de compactación de las capas granulares de la base y subrasante respectivamente.

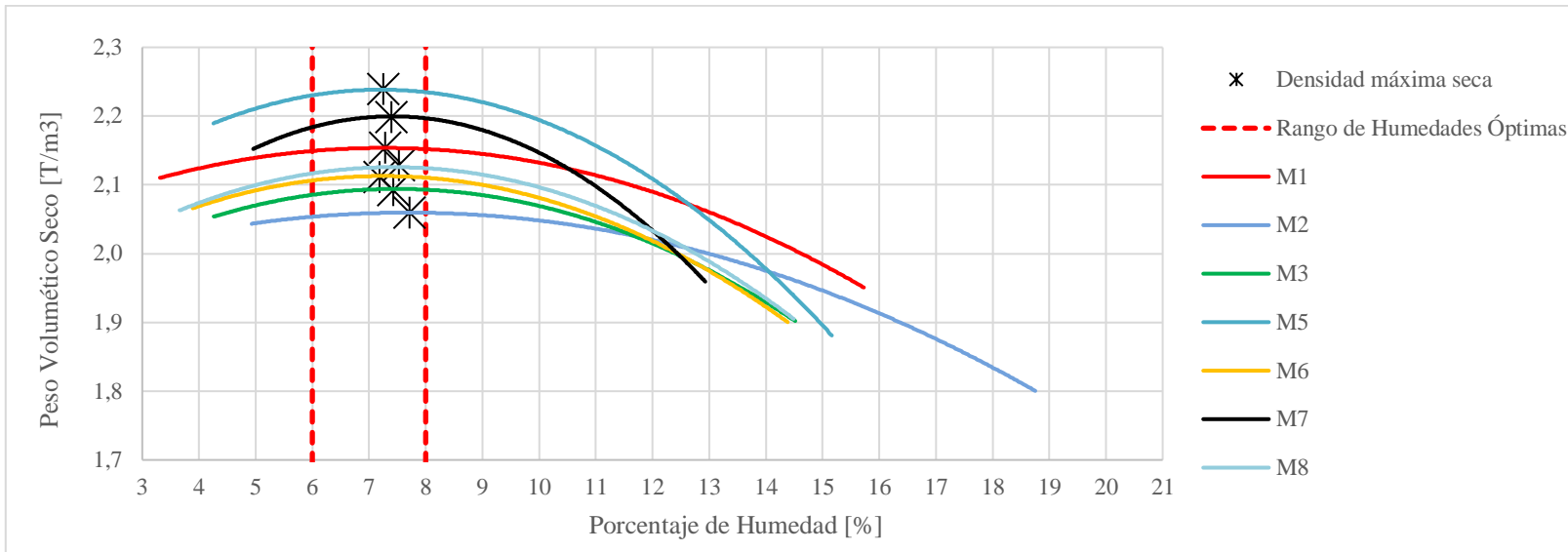


Ilustración 12: Curvas de compactación de la Base..

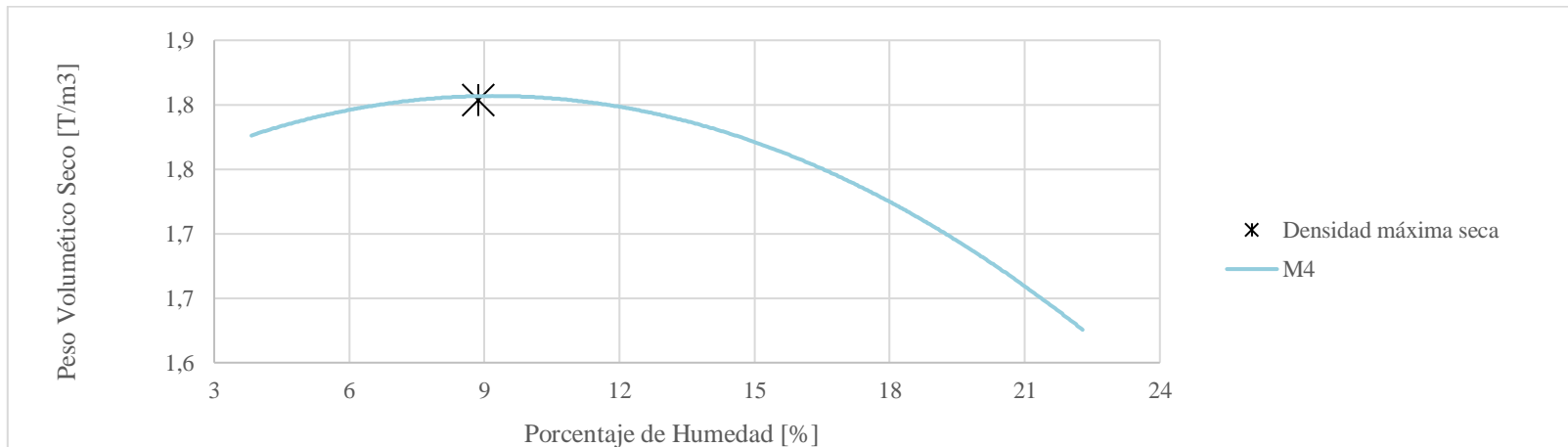


Ilustración 13: Curvas de compactación de la Subrasante.

En la **ilustración 12** se presentan las gráficas de compactación correspondientes a las muestras de la base. En ellas se observa una notable consistencia en los requerimientos de contenido de humedad óptimo para alcanzar la densidad máxima seca, con valores que oscilan entre el 6% y el 8%.

Por otro lado, en la **ilustración 13**, se muestra la gráfica de compactación correspondiente a la subrasante. En este caso, el contenido de humedad óptimo para alcanzar la densidad máxima seca es del 8,86%, un valor que se sitúa fuera del rango observado para las muestras de base. Esta diferencia se debe a la distinta naturaleza del material de la subrasante, el cual presenta características físicas y mecánicas distintas a las de la base, lo que afecta sus condiciones de compactación.

De acuerdo con (Varela, 2015), la densidad máxima seca para una base de carretera se encuentra en un rango de 2.33 gr/cm³, con una humedad óptima entre el 6.9% y 7.2%. Sin embargo, es importante destacar que estos valores pueden variar según las características específicas del material utilizado. En el presente estudio, los resultados obtenidos, tal como se muestra en la tabla 8, muestran una gran similitud con los valores propuestos por Varela para una base clase 3. En contraste, la tabla también presenta los datos correspondientes a la subrasante, que no está sujeta a este tipo de análisis, ya que es un material diferente y, por tanto, requiere un enfoque distinto en términos de compactación y humedad óptima.

3.1.4 Densidades

Las densidades del estrato de pavimento analizado fueron obtenidas mediante diversas metodologías descritas en el marco referencial. En primer lugar, a través del ensayo Proctor modificado, se determinó la densidad máxima de compactación alcanzable por el material granular, proporcionando un valor de referencia para evaluar la compactación óptima del suelo.

Adicionalmente, se llevaron a cabo mediciones in situ utilizando dos procedimientos diferentes: el método del cono de arena y el densímetro eléctrico (EDG). Estas técnicas permitieron obtener las densidades directamente en el terreno.

En la **ilustración 14**, se presenta de forma gráfica la distribución de las densidades obtenidas a través de ambos métodos in situ, lo que permite visualizar de manera clara las diferencias y la variación de resultados entre las dos técnicas implementadas.

Densidades In situ – Cono de Arena vs EDG

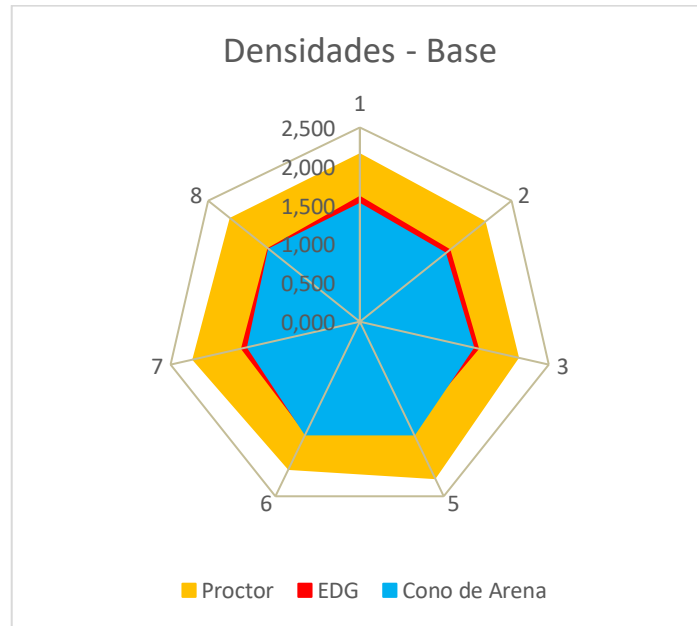


Ilustración 14: Densidades obtenidas de la base.

En la **tabla 10** se presenta una síntesis de los valores numéricos obtenidos para las densidades correspondientes a las distintas capas del pavimento articulado objeto de análisis.

Tabla 10: Resumen de densidades en las capas granulares del pavimento articulado.

Densidades [gr/cm ³]				
Muestra	Material	Proctor	Cono de Arena	EDG
1		2.154	1.515	1.605
2		2.060	1.409	1.477
3		2.093	1.501	1.565
5	Base	2.240	1.615	1.521
6		2.112	1.613	1.597
7		2.199	1.477	1.556
8		2.129	1.493	1.504

3.1.5 Humedades

Al igual que las densidades, los valores de humedad fueron determinados utilizando las metodologías previamente mencionadas. La **ilustración 15** proporcionan una comparativa gráfica de los porcentajes de humedad medidos en las capas granulares del pavimento. En esta comparativa, se observa que en algunos casos las humedades in situ superan los valores óptimos determinados en el ensayo proctor modificado.

Esta discrepancia se atribuye principalmente a las condiciones climáticas presentes durante la realización de los ensayos in situ, las cuales pueden influir en el contenido de humedad del material.

La comparación entre los valores obtenidos en laboratorio y los medidos en campo permite una mejor comprensión del comportamiento del material bajo condiciones reales.

Humedades In situ – Cono de Arena vs EDG

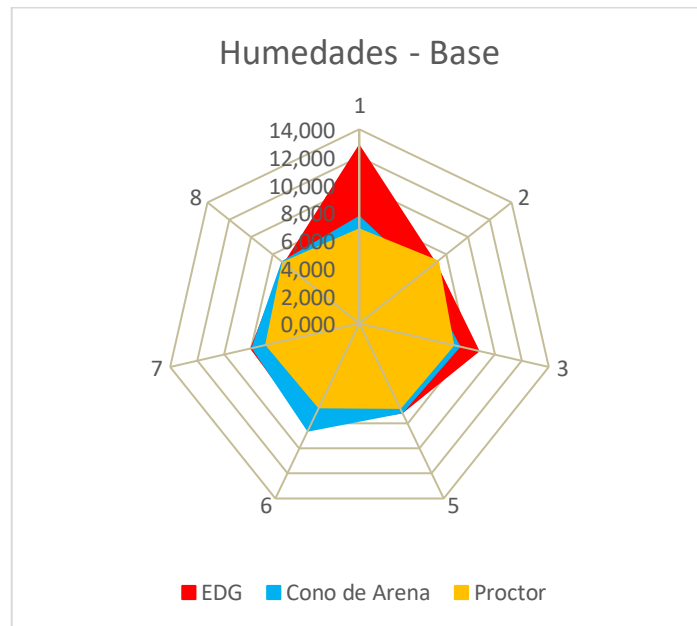


Ilustración 15: Humedades obtenidas de la base.

En la **tabla 11** se presenta una síntesis de los valores numéricos obtenidos para las humedades correspondientes a la base del pavimento articulado objeto de análisis.

Tabla 11: Resumen de humedades en las capas granulares del pavimento articulado.

Humedades [%]				
Muestra	Material	Proctor	Cono de Arena	EDG
1		6.786	7.689	12.800
2		7.214	5.643	7.000
3		6.936	7.389	8.800
5	Base	6.750	7.115	7.100
6		6.690	8.570	8.300
7		6.899	7.912	8.000
8		7.034	7.087	6.900

3.1.6 Densidades y absorción del material granular

Tabla 12: Porcentajes densidades y abrasión de la base clase 3.

Descripción	Variable	Material Fino	Material Grueso	Unidad
Gravedad específica seca al horno	SG _{SH}	3.156	2.440	[-]
Gravedad específica saturada superficialmente seca	SG _{SSS}	2.926	2.523	[-]
Gravedad específica aparente	SG _A	2.567	2.660	[-]
Densidad seca al horno	D _{SH}	3148.377	2433.788	[kg/m ³]
Densidad saturada superficialmente seca	D _{SSS}	2918.395	2516.421	[kg/m ³]
Densidad aparente	D _A	2556.303	2653.153	[kg/m ³]
Absorción del material	ABS	1.927	3.415	[%]

En la **tabla 12** se presentan los valores de densidad y absorción de agua correspondientes a la capa base, la cual se ha identificado como la más susceptible a la infiltración superficial en pavimentos articulados. Según (Casco & Salcán, 2024), señalan que el agua infiltrada atraviesa la capa de rodadura y queda retenida exclusivamente en la capa base durante el ensayo de infiltración.

El ensayo se llevó a cabo sobre toda la base granular, ya que, de acuerdo con el análisis granulométrico, la clasificación de la base fue consistente en todas las muestras categorizadas como base.

Los resultados de esta investigación muestran una notable similitud con los valores propuestos por (Urquiza, 2022), para una base, los cuales son, para un

agregado fino de 2.23 % y para un agregado grueso de 4.09 %. Esto sugiere que los hallazgos son consistentes.

3.1.7 Grado de compactación

El grado de compactación de la base se determina comparando las densidades máximas obtenidas en laboratorio con las densidades medidas in situ. La **ilustración 16** muestra una comparación de los grados de compactación resultantes de las dos metodologías empleadas para obtener las densidades in situ en esta investigación.

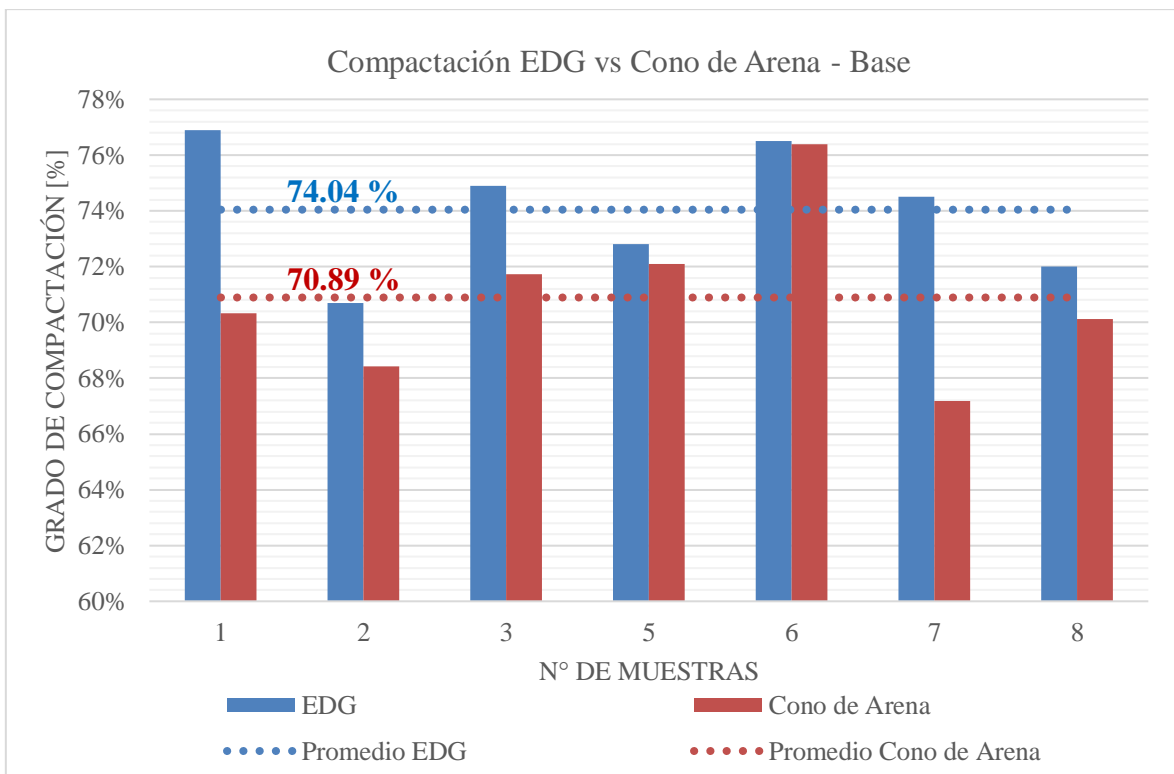


Ilustración 16: Compactación EDG vs Cono de Arena - Base.

La **tabla 13** presenta de forma numérica los grados de compactación de cada una de las muestras de la base del pavimento articulado.

Tabla 13: Grados de compactación en la base del pavimento articulado.

Grado de Compactación [%]			
Muestras	Material	Cono de Arena [%]	EDG [%]
1		70.33	76.90
2	Base	68.42	70.70
3		71.73	74.90

5	72.10	72.80
6	76.38	76.50
7	67.18	74.50
8	70.13	72.00
Promedio	70.89%	74.04%

La normativa de (MTO, 2002), exige que el grado de compactación de las capas granulares sea de al menos el 95% de las obtenidas en el laboratorio para garantizar su buen funcionamiento. En la **tabla 13**, se muestra los resultados obtenidos en este estudio los no cumplen con dicho estándar, lo que sugiere que la base granular no alcanzaría la resistencia necesaria para soportar las cargas de tráfico de manera eficiente.

3.2 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PAVIMENTO ARTICULADO

3.2.1 Resiliencia, Rigidez y CBR

La **tabla 14** muestra los datos obtenidos con el equipo GeoGauge, incluyendo el módulo resiliente y el módulo de rigidez. A partir de estos resultados, se calculó el porcentaje de CBR utilizando correlaciones propuestas por diversos autores, quienes desarrollaron ecuaciones para vincular el CBR con los módulos resilientes y de rigidez. Entre las cuatro ecuaciones utilizadas, la ecuación 3 propuesta por Abu-Farsakh et al. (2004) fue la que mejor se ajustó a las condiciones locales, arrojando los valores más altos de CBR.

Sin embargo, a pesar de tratarse del mismo material, se observó una variación en los valores de CBR, atribuida a diferencias en la compactación y la humedad en los distintos puntos analizados.

La normativa MTO (2002), sección 404, establece que las bases deben alcanzar un CBR igual o superior al 80% para garantizar la calidad de las obras. Sin embargo, los resultados de esta investigación revelan que no se alcanzó este porcentaje, lo que indica la necesidad de mejorar el proceso de compactación y control de humedad en el sitio para cumplir con los requisitos.

Tabla 14: Resumen de los datos obtenidos a través del GeoGauge.

N°	Estrato	Módulo de Rigidez [MN/m]	Módulo de Young [MPa]	Módulo de Young [PSI]	Módulo de elasticidad [Kg/cm ²]	CBR Ec. [1]	CBR Ec. [2]	CBR Ec. [3]	CBR AASHTO Ec. [4]
1		12.64	93.74	13562.70	1121.03	21.45	31.61	41.11	27.60
2		7.58	56.23	8135.59	672.27	10.65	6.44	11.10	12.42
3		10.00	74.16	10729.78	886.89	15.56	20.07	23.58	19.14
5	Base	8.07	59.80	8652.12	715.72	11.59	9.47	13.35	13.69
6		12.69	94.12	13617.68	1125.47	21.57	31.81	41.48	27.78
7		8.10	60.07	8691.18	718.38	11.66	9.69	13.49	13.77
8		8.57	63.58	9199.02	760.07	12.60	12.49	15.79	15.04
4	Subrasante	10.60	78.57	11367.84	940.11	16.84	22.92	27.20	20.97

3.2.2 Desgaste del agregado grueso de la base granular

Tabla 15: Resumen de los resultados de los ensayos de abrasión.

Ensayo	Porcentaje de desgaste [%]	Promedio [%]
1	27.85	28.89
2	29.93	

En la **tabla 15** se muestran los valores de desgaste del agregado grueso correspondiente a la capa base. El ensayo se realizó sobre toda la base granular, dado que, según el análisis granulométrico, la clasificación de la base fue uniforme en todas las muestras categorizadas como base. Según (MTOP, 2002), el desgaste aceptable para un agregado grueso es máximo del 50%. En esta investigación, se obtuvo un desgaste promedio del 28.89%, lo que se encuentra dentro de los límites establecidos.

3.3 PROPIEDADES HIDRÁULICAS DEL PAVIMENTO ARTICULADO

3.3.1 Datos de las pruebas de infiltración

La metodología utilizada para determinar las propiedades hidráulicas del pavimento se basa en las directrices de la normativa ASTM, modificada por la

Universidad Nacional de Chimborazo con el objetivo de recolectar los datos necesarios. Por ello, es fundamental entender las condiciones y características en las que se realizaron dichas pruebas. El **anexo 16, 17 y 18** proporciona toda la información requerida para llevar a cabo el ensayo de infiltración de manera efectiva.

3.3.2 Resultados de las pruebas de infiltración

Los resultados obtenidos de las pruebas de infiltración se presentan en la **tabla 16**, donde se detallan los valores numéricos correspondientes a la evolución temporal de la tasa de infiltración (K) para cada uno de los puntos evaluados.

Tabla 16: Resultados del ensayo de infiltración.

Velocidades de Infiltración vs Tiempo								
Tiempo Acumulado [Horas]	Velocidad de infiltración K [cm/hora]							
	Muestras							
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.4	1	0.4	0.3	1.1	0.3	1	0.9
2	0.3	0.9	0.4	0.6	0.8	0.3	0.7	0.9
3	0.4	0.9	0.5	0.5	0.8	0.4	0.8	0.8
4	0.3	0.8	0.3	0.4	0.9	0.3	0.9	0.9
5	0.3	0.7	0.4	0.5	0.7	0.4	0.8	0.7
6	0.3	0.8	0.3	0.4	0.7	0.2	0.8	0.6
7	0.3	0.9	0.2	0.3	0.7	0.3	0.6	0.6
8	0.2	0.8	0.2	0.3	0.4	0.2	0.5	0.5
9	0.1	0.4	0.1	0.2	0.4	0.1	0.3	0.3
10	-	0.2	-	-	0.2	-	0.2	0.2
Clima	Soleado	Soleado	Soleado	Soleado	Soleado	Nublado	Nublado	Nublado
Observaciones	El infiltró metro se colocó a 2 metros de la vereda, el pavimento tiene una junta de 1 centímetro.	El infiltró metro se colocó a 2.5 metros de la vereda, el pavimento tiene una junta de 1 centímetro.	El infiltró metro se colocó a 1.5 metros de la vereda, el pavimento tiene una junta de 0.5 centímetro.	El infiltró metro se colocó a 1.5 metros de la vereda, el pavimento tiene una junta de 0.5 centímetro.	El infiltró metro se colocó a 1.5 metros de la vereda, el pavimento tiene una junta de 0.5 centímetro.	El infiltró metro se colocó a 2.90 metros de la vereda, el pavimento tiene una junta de 1 centímetro.	El infiltró metro se colocó a 1.5 metros de la vereda, el pavimento tiene una junta de 1 centímetro.	El infiltró metro se colocó a 1.5 metros de la vereda, el pavimento tiene una junta de 0.5 centímetro.

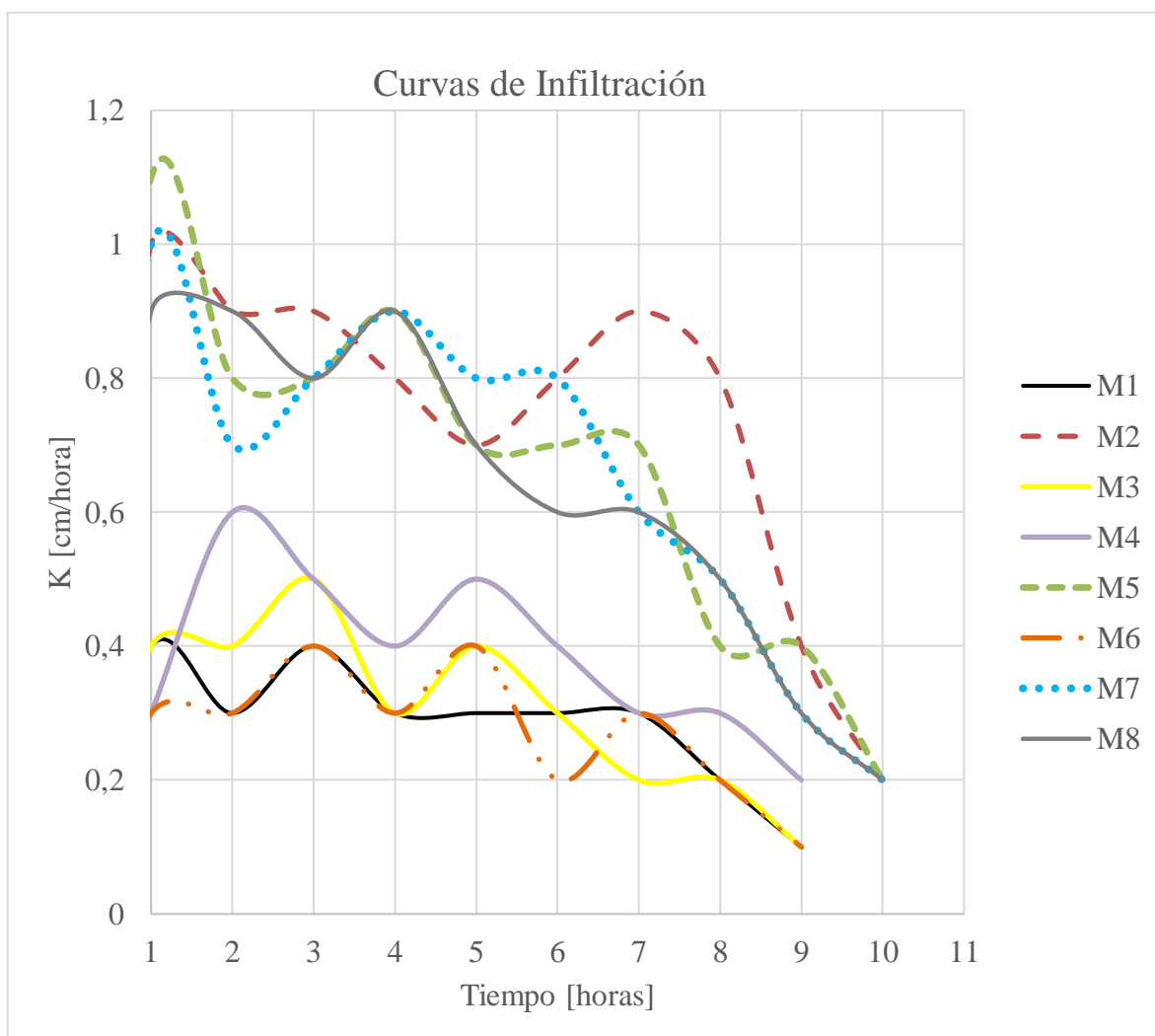


Ilustración 17: Curvas de infiltración de la zona de estudio.

3.3.3 Comportamiento de las curvas de infiltración

Las curvas de infiltración en función del tiempo, obtenidas de los puntos evaluados, se presentan en la **ilustración 17**. El comportamiento de estas curvas está influenciado tanto por las condiciones climáticas de la zona como por la calidad de la base del pavimento articulado. Es importante señalar que las velocidades de infiltración no llegan a cero, lo que confirma que se trata de un pavimento permeable. Las curvas M2, M5, M7 y M8 exhiben mayores velocidades de infiltración, lo cual se atribuye a un menor grado de compactación en la base de estas muestras.

Particularmente, la curva M2 presenta la mayor velocidad de infiltración debido a que el ensayo se realizó en un día soleado, sin precipitaciones en las 24 horas previas, lo que permitió que el pavimento se mantuviera seco, favoreciendo su capacidad de absorción de agua. En contraste, la curva M6 muestra una infiltración

significativamente menor, lo que puede explicarse por el hecho de que el ensayo se llevó a cabo en un día nublado, con una ligera lluvia registrada durante la madrugada anterior. Esta precipitación provocó una saturación parcial del pavimento, reduciendo su capacidad de absorber agua durante el ensayo.

3.3.4 Análisis de los coeficientes de escurrentía

Tabla 17: Resultados del ensayo de infiltración

Muestra	Fracción de Infiltración [%]	Coefficiente de Ecurrimiento [%]
1	4.7	95.3
2	13.6	86.4
3	5.1	94.9
4	6.4	93.6
5	12.2	87.8
6	4.6	95.4
7	12.1	87.9
8	11.7	88.3
Promedio	8.8	91.2
Mínimo	4.6	86.4
Máximo	13.6	95.4

La **tabla 17** presenta los resultados obtenidos a partir del ensayo de infiltración realizado en las muestras seleccionadas. La muestra M6, con un escurrimiento del 95.4%, es la que presenta el mayor valor, lo cual está directamente relacionado con su mayor grado de compactación en la base, que es del 76.4%. Por otro lado, la muestra M2 exhibe el menor escurrimiento, con un 86.4%, y presenta el grado más bajo de compactación, con un 69.6%.

En la **ilustración 18** se presentan un resumen de la norma EIOS la cual establece diferentes coeficientes de escurrimiento asociados a diversos tipos de materiales. Es importante destacar que la misma normativa no incluye un coeficiente de escurrimiento para pavimentos articulados construidos con adoquín artesanal. Esto sugiere que, debido a la falta de actualización o relevancia de la norma, no se han establecido parámetros específicos para este tipo de pavimento.

Los resultados de esta investigación muestran un promedio de escurrimiento del 91.2% en las ocho muestras evaluadas, son indicativos de un comportamiento semejante a un pavimento asfáltico en buenas condiciones.

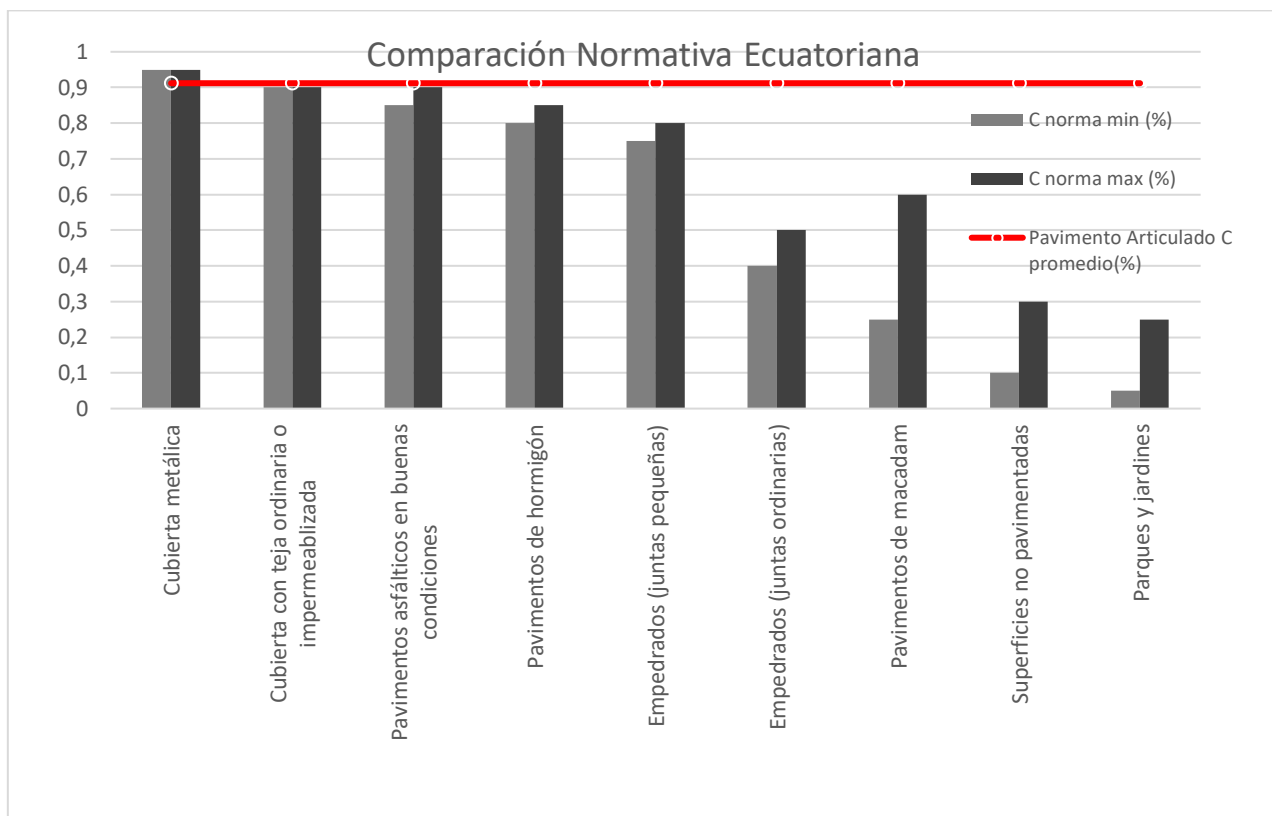


Ilustración 18: Comparación entre coeficientes de escurrimiento normativos vs obtenidos en la zona de estudio.

3.4 RELACIONES ENTRE PROPIEDADES FISICO – MECÁNICAS Y PROPIEDADES HIDRÁULICAS DEL PAVIMENTO ARTICULADO

3.4.1 CBR vs Infiltración

Se identificó una correlación, entre el porcentaje de CBR y las tasas de infiltración, presentada en la **ilustración 19**, tiene un coeficiente de determinación (R^2) de 0.8278, lo que respalda su solidez según el criterio de (Hernandez, 2006), quien establece una correlación fuerte para valores superiores a 0.70.

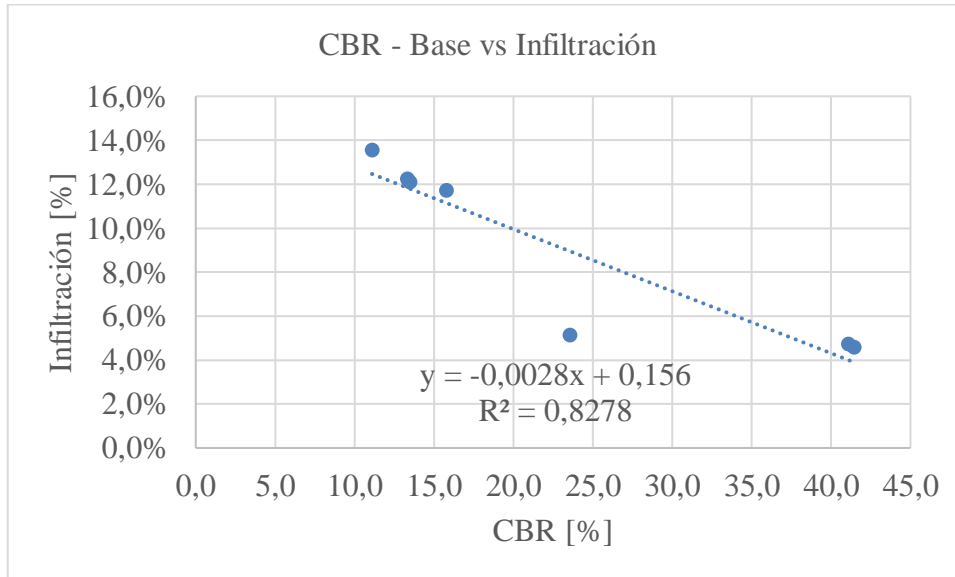


Ilustración 19: Comparación entre los valores porcentuales de CBR. vs los valores porcentuales de infiltración.

La **ilustración 20** muestra gráficamente una relación inversamente proporcional entre la fracción de infiltración y el porcentaje de CBR en las muestras analizadas. A medida que disminuyen los valores de CBR, los niveles de infiltración tienden a aumentar. Esto sugiere que una menor resistencia del suelo, indicada por un CBR más bajo, está asociada con una mayor capacidad de infiltración, lo que implica que el agua penetra con mayor facilidad a través del pavimento.

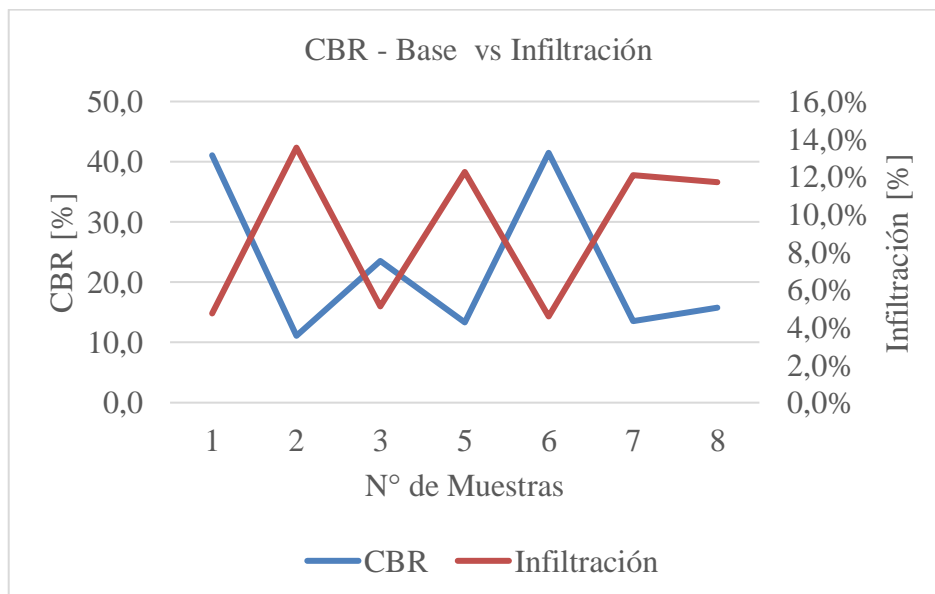


Ilustración 20: Diagrama de soporte de California (CBR) e infiltración de las muestras.

3.4.2 Relación de Grado de Compactación vs Infiltración

Se encontró una relación significativa entre el porcentaje de grado de compactación, calculado como promedio del ensayo del cono de arena y el método alternativo EDG, y la fracción de infiltración, con un R^2 de 0.7363 que respalda su fortaleza y es visible en la **ilustración 21**.

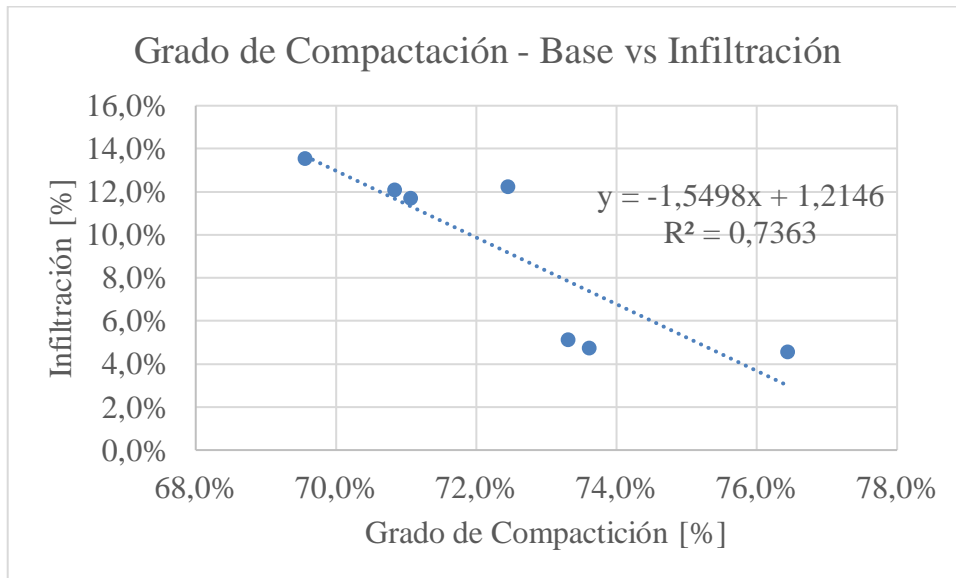


Ilustración 21: Comparación entre los valores de compactación. vs los valores porcentuales de infiltración.

La **ilustración 22** muestra el comportamiento de la fracción de agua infiltrada en la capa base de las siete muestras analizadas, destacando que estas variables son inversamente proporcionales a los resultados de los grados de compactación obtenidos mediante los ensayos in situ, como el cono de arena y el densímetro eléctrico (EDG). Se observa que la muestra con el grado de compactación más bajo (M2) presenta la mayor infiltración de agua, mientras que la muestra con el grado de compactación más alto (M6) muestra la menor infiltración. Esto confirma la relación inversamente proporcional entre el grado de compactación y la infiltración de agua en las muestras.

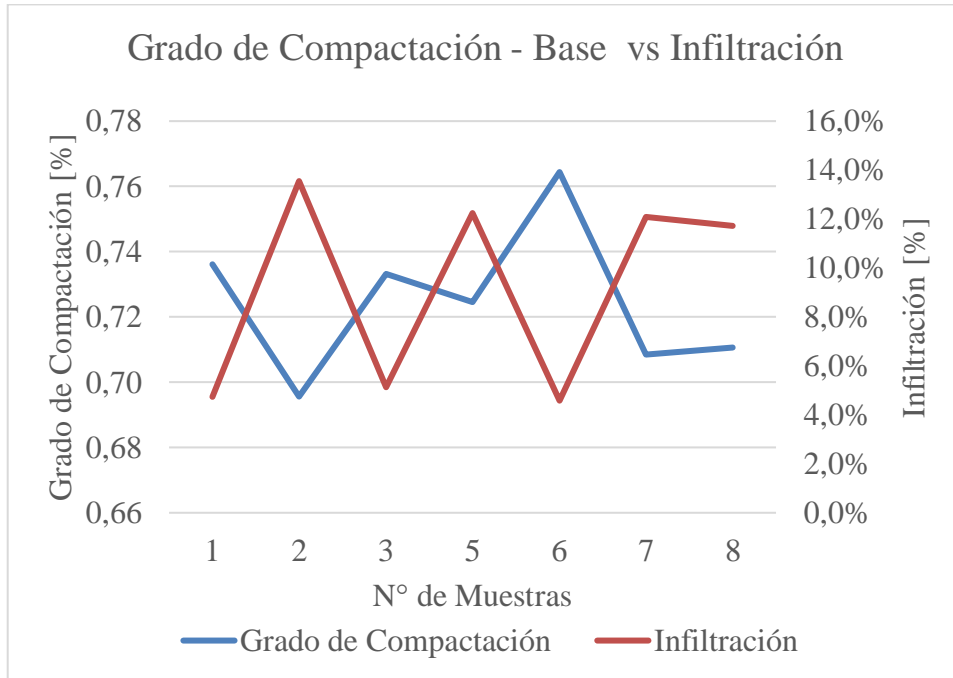


Ilustración 22: Diagrama de grados de compactación in situ vs infiltración – Base.

3.4.3 Relación de Densidad EDG vs Infiltración

Se halló una correlación notable entre las densidades naturales obtenidas mediante el densímetro eléctrico (EDG) y la fracción de infiltración, con un R^2 de 0.7372 que, como se muestra en la **ilustración 23**, respalda la validez de la relación entre estas variables y refuerza la fiabilidad de los métodos de análisis utilizados en esta investigación.

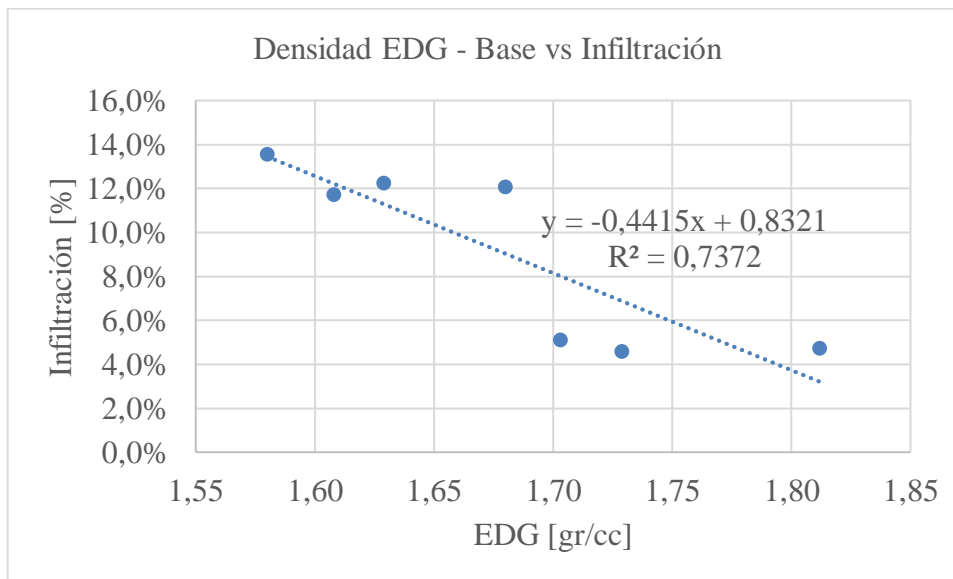


Ilustración 23: Comparación entre los valores de densidades EDG. vs los valores porcentuales de infiltración.

La **ilustración 24** presenta el comportamiento de la fracción de agua infiltrada en la capa base de las siete muestras analizadas, destacando que este desempeño es inversamente proporcional a los resultados de las densidades obtenidas a través del ensayo in situ con el densímetro eléctrico (EDG). Gráficamente, se puede observar que a medida que la densidad de una muestra aumenta, la infiltración disminuye. Esta tendencia evidencia de manera clara la existencia de una correlación inversamente proporcional entre las variables estudiadas, lo que subraya la importancia de la densidad en el comportamiento de la infiltración del agua en el suelo.

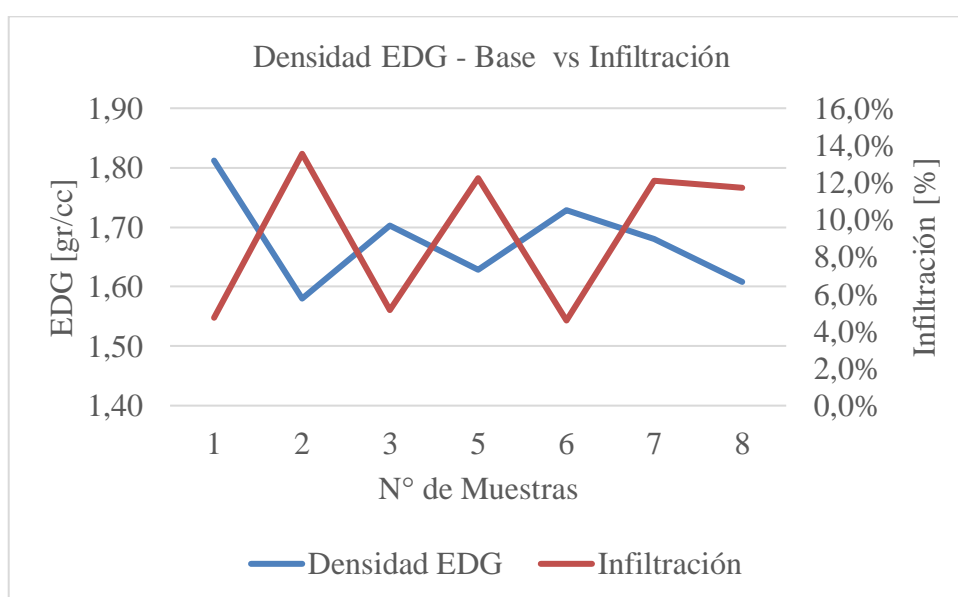


Ilustración 24: Diagrama de grados de densidades EDG vs infiltración – Base.

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Tras la caracterización de las propiedades físicas de las muestras a lo largo de la cabecera cantonal de Guano, se identificaron que siete de las zonas muestreadas corresponden a un pavimento articulado que contiene adoquín, cama de arena y capa de base granular construida sobre la subrasante y solo una de las zonas muestreadas correspondiente pavimento articulado que contiene adoquín y cama de arena colocada directamente sobre la subrasante. La base fue clasificada como una base clase 3 en todas las zonas según MTOP, de acuerdo con el sistema SUCS se identificaron suelos de tipo SP y SP-SM lo que describe una arena pobremente gradada con limo y grava, y de acuerdo a la AASTHO se clasifico como, A-1-a (0)

y A-1-b (0) lo que indica un fragmento de piedra, grava y arena. Particularmente, la muestra cuatro, proveniente de la subrasante, según la SUCS fue clasificada como arena pobremente gradada con limo (SP-SM), mientras que la AASTHO lo clasifica como una arena fina A3 (0), destacando por su naturaleza no plástica, a pesar de contener una cantidad significativa de material fino.

Los ensayos de absorción mostraron que el material fino y grueso tiene capacidades de absorción de 1.927% y 3.415%, respectivamente, con gravedades específicas de 3.156 y 2.440. Las densidades naturales medidas con el EDG variaron entre 1.477 y 1.605 T/m³, comparándose con los resultados del ensayo de cono de arena realizado in situ, donde se observó que los grados de compactación son inferiores al 95%.

- Los resultados obtenidos mediante métodos eléctricos in situ revelan que el CBR está por debajo del 80%, lo que no se ajusta a los estándares establecidos en la normativa MTOP. Este hecho es motivo de preocupación, ya que un CBR inferior a dicho umbral puede afectar negativamente tanto la capacidad de soporte como la durabilidad de la estructura vial, según lo dispuesto en la normativa.
- Aunque el método empleado para determinar el coeficiente de escurrimiento no está completamente estandarizado, los resultados obtenidos son considerados bastante confiables. Los puntos con menor grado de compactación mostraron los niveles más altos de infiltración, lo que es coherente con el hecho de que una compactación baja permite que el agua penetre más fácilmente en las capas inferiores del pavimento. El nivel de escurrimiento promedio registrado en este estudio fue del 91.2%, un valor relevante para la ingeniería, ya que actualmente la normativa no se especifica un coeficiente de escurrimiento para pavimento articulado.
- Se identificaron tres relaciones significativas de naturaleza inversamente proporcional entre variables independientes como el CBR, grado de compactación, y la densidad EDG, en relación con la variable dependiente infiltración. De estas, la correlación más fuerte fue la existente entre CBR y la infiltración, con un coeficiente de determinación superior a 0.8, lo que indica una alta fiabilidad en los datos obtenidos. Este coeficiente de determinación sugiere que la función establecida es confiable para la predicción de la infiltración en función del CBR.

4.2 RECOMENDACIONES

- Se sugiere mejorar el sellado de juntas durante los ensayos de infiltración, ya que el material empleado en esta investigación requería al menos 2 horas para secar completamente, lo cual retrasaba el proceso experimental. Con el objetivo de optimizar los tiempos y mejorar la eficiencia de los ensayos, se recomienda la utilización de nuevos materiales de sellado de juntas que presenten un secado rápido y permitan una mayor agilidad.
- Para garantizar la precisión en los resultados de los ensayos de infiltración, se recomienda realizarlos exclusivamente en días soleados, ya que las condiciones climáticas adversas pueden afectar significativamente los datos. Durante jornadas lluviosas, el agua no deseada puede infiltrarse en el equipo, alterando los resultados.
- Es fundamental continuar el monitoreo del estado de los pavimentos articulados, prestando especial atención a las interacciones entre las variables que influyen en su comportamiento hidráulico y aquellas que se refieren a sus características físicas y mecánicas. Este enfoque permitirá generar datos valiosos que pueden ser utilizados eficazmente en la gestión y mantenimiento de estos pavimentos.

BIBLIOGRAFIA

- AASHTO-93. (2006). Diseño de Pavimentos - AASHTO 93. *AASHTO Design Procedures For New Pavements*, 246. https://www.academia.edu/34103801/DISENO_DE_PAVIMENTO_METODO_AASHTO_93_ESPANOL_1_
- Abu-Farsakh, M. Y., Alshibli, K., Nazzal, M. & Seyman, E. (2004). *ASSESSMENT OF IN-SITU TEST TECHNOLOGY FOR CONSTRUCTION CONTROL OF BASE COURSES AND EMBANKMENTS* (p. 126). <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/22153>
- Asensio, I., Ramón, M., Blanquer, G. & Manuel, J. (2011). *Métodos para la determinación del coeficiente de escorrentía (c)*. c, 7. [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10781/Coeficiente de escorrentia.pdf](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10781/Coeficiente_de_escorrentia.pdf)
- ASTM D1556. (2000). *Método de prueba estándar para determinar la densidad y el peso unitario del suelo en su lugar mediante el método de cono de arena*. <https://studylib.es/doc/9228472/astm-d1556-d1556m-15>
- ASTMD-1557. (1978). Determinar La Relacion Humedad-Densidad De Suelos Y Mezclas De Suelo-Agregado Usando Un Martillo De 4.54 Kg (10 Lb) Y Una Caída De 457 Mm (18 Pulg). *Academia*, 1–10. https://www.academia.edu/9650084/ASTM_Designación_D1557_78_Métodos_de_Ensayos_Estándar_para_DETERMINAR_LA_RELACION_HUMEDAD_DENSIDAD_DE_SUELOS_Y_MEZCLAS_DE_SUELO_AGREGADO_USANDO_UN_MARTILLO_DE_4
- Casco, J. & Salcán, V. (2024). CARACTERÍSTICAS FÍSICAS , MECÁNICAS E HIDRÁULICAS EVALUADAS EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DEL CORREDOR VIAL FLORES - CEBADAS ” Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil Autor: Casco Guevara , José Migue. *Tesis, RIO BAMBACUADOR*, 88. http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/12872/1/Casco_J.%20Salcán_V.%202024%29%20Características_físicas%20mecánicas_e_hidráulicas_evaluadas_en_el_pavimento_flexible_del_corredor_vial_Flores_-_Cebadas.pdf
- Castro, C. P. A. (2023). “ELABORACIÓN DE UN PROCESO DE CONSERVACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO DE LA VÍA CAMINO REAL (NORTE) EN EL TRAMO KM 0+000 HASTA KM 3+800 DEL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA. *International Journal of Technology*, 47(1), 100950. https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/37073/1/Tesis_I.C.1664_-_Alqui_Castro_Christian_Paúl.pdf#page27
- COTECNO. (2022). *Geogauge, calibrador de rigidez del suelo -H-4140*. 1–4. <https://www.cotecno.cl/geogauge-calibrador-de-rigidez-del-suelo-h-4140/?print-products=pdf>
- Das, B. (2015). *Fundamentos de la Ingeniería*. https://www.academia.edu/37854899/Fundamentos_de_Ingenieria_Geotecnica_Braja_M_Das
- Díaz, S. (2018). *La revaloración de la performance funcional y estructural de los pavimentos articulados*. 1–137.

- [https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/2571/Tesis Informe 100%25.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/2571/Tesis_Informe_100%25.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Freire, M. (2005). *"Evaluación En Campo del Módulo De Young Equivalente Y El Grado De Compactación Para Geomateriales"*.
<https://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/45041>
- García, J. M. (2023). *Diseño estructural del pavimento articulado para la pavimentación de la avenida Progreso de la localidad de Chicama, provincia de Ascope, La Libertad - 2023*.
https://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12759/18231/REP_JEFERSON.GARCIA_DISEÑO.ESTRUCTURAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Garnica, P., Gómez, J. & Sesma, J. (2002). *Mecánica de Materiales para Pavimentos. Instituto Mexicano Del Transporte, 197(197), 234*.
<http://intranet.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt197.pdf>
- GUERRERO, L. A. V. (2015). DISEÑO DE LA ALTERNATIVA TÉCNICA MÁS FAVORABLE QUE PERMITA IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE – SUDS EN EL PARQUE METROPOLITANO SAN CRISTÓBAL. *Journal of Business Research, 11(1), 1–15*.
https://www.academia.edu/30937929/DISEÑO_DE_LA_ALTERNATIVA_TÉCNICA_MÁS_FAVORABLE_QUE_PERMITA_IMPLEMENTAR_UN_SISTEMA_DE_DRENAJE_URBANO_SOSTENIBLE_SUDS_EN_EL_PARQUE_METROPOLITANO_SAN_CRISTÓBAL
- Hernández, R. (2006). *Metodología de la Investigación*. https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2_Hernandez_Fernandez_y_Baptista-Metodología_Investigacion_Cientifica_6ta_ed.pdf
- Humboldt. (2011). *Astm d7698 • 2–3*. https://www.humboldtmgf.com/pdf/edg/H-4114C_EDG_DS.pdf
- IGM. (2022). *Estudios Geográficos – Geoportal Ecuador*.
<https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/estudios-geograficos/>
- INEC. (2010). *Datos cantonales del censo 2010* (Vol. 2, Issue 1, pp. 1–2).
https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Poblacion_y_Demografia/CPV_aplicativos/datos_generales_cpv/06guano.pdf
- INEN 3040. (2016). *Adoquines de Hormigón NTE INEN 3040. Instituto Ecuatoriano de Normalización, 45*. https://vipresa.com.ec/wp-content/uploads/2019/02/nte_inen_3040.pdf
- Jiménez, W. & Aucapiña, R. (2024). *Características físicas, mecánicas e hidráulicas evaluadas en el pavimento flexible del corredor vial Riobamba-Flores. 16(1), 1–23*.
[http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/12905/1/Jiménez G%2C Wilmer F.%3B Aucapiña R%2C Ricardo J.%282024%29_ Características físicas%2C mecánicas e hidráulicas evaluadas en el pavimento flexible.pdf](http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/12905/1/Jiménez_G%2C_Wilmer_F.%3B_Aucapiña_R%2C_Ricardo_J.%282024%29_Características_físicas%2C_mecánicas_e_hidráulicas_evaluadas_en_el_pavimento_flexible.pdf)
- Llerena, L. & Ticlla, J. (2020). *Estudio y Evaluación del concreto permeable en un pavimento rígido según la Norma ACI 522R-10*.
- Montejo, A. (1999). *Ingeniería de pavimentos para carreteras. In Ciencia e Ingeniería Neogranadina* (Vol. 7, Issue 1).

- <https://samustuto.files.wordpress.com/2014/09/ingenieria3ada-de-pavimentos-para-carreteras-tomo-i-ed-3ra-alfonso-montejo-fonseca.pdf>
- Mora, A. & Argüelles, C. (2015). Diseño de pavimento rígido para la urbanización Caballero y Gongora, municipio de Honda - Tolima. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 93. <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/2687>
- MTOP. (2002). Especificaciones Generales para la construcción de caminos y puentes. *Republica Del Ecuador Ministerio De Obras Publicas Y Comunicaciones Mop - 001-F 2002*, 3(9), 1689–1699. https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR_Chimborazo_Cumanda_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf
- NORMA URBANA EIOS. (1992). Normas Para Estudio De Sistemas De Abastecimiento De Agua Potable Y Disposición De Aguas Residuales Para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes. *Código Ecuatoriano de La Construcción*, 6, 420. http://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/norma_urbana_para_estudios_y_disenos.pdf
- NTE INEN 691. (1982). *MECANICA DE SUELOS DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO METODO DE CASA GRANDE*. <https://studylib.es/doc/6554057/nte-inen-0691--mecánica-de-suelos.-determinación-del>
- NTE INEN 692. (1982). *MECANICA DE SUELOS DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO*. <https://studylib.es/doc/9405366/inen-692-lp>
- NTE INEN 696. (2011). *ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS, FINO Y GRUESO*. <https://studylib.es/doc/8874206/nte-inen-696-1>
- NTE INEN 856. (2010). *DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO*. <https://studylib.es/doc/9363628/nte-856-humedad>
- NTE INEN 857. (2010). *DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO*. <https://studylib.es/doc/8969845/nte-inen-857>
- Pradeep, K. (2020). *Establishment of Correlations for Prediction of CBR Using Non-Destructive Testing Equipment*. 11(600), 600–604.
- Pranjčić, I., Deluka-Tibljaš, A., Cuculic, M. & Šurdonja, S. (2020). Influence of pavement surface macrotexture on pavement skid resistance. *Transportation Research Procedia*, 45(2019), 747–754. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.02.102>
- Rebolledo, J. (2010). Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos. *Universidad Austral De Chile*, 93.
- Rincón-Morantes, J. F., Alvarez, A. E. & Reyes-Ortiz, O. J. (2022). Estimación de la rigidez de materiales granulares marginales no ligados mediante ensayo CBR dinámico. *Ingeniería y Desarrollo*, 40(01), 92–113. <https://doi.org/10.14482/inde.40.01.621.992>
- Romero, R. M. & Sañac, C. (2016). Evaluación comparativa mediante la capacidad de soporte y densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentajes de 0.5%, 1%, 2% y 3% frente a un suelo natural para sub rasante de pavimento rígido de la urb. san judas chico -. *Universidad Andina Del Cusco*, 215. https://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12557/721/Rocio_Cinthia_

- Tesis_bachiller_2016.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Rondón-Quintana, H. A., Fernández-Gómez, W. D. & Hernández-Noguera, J. A. (2011). Influencia de la rigidez de la subrasante y las capas granulares sobre la vida a fatiga de mezclas asfálticas. *TecnoLógicas*, 31, 53. <https://doi.org/10.22430/22565337.101>
- Ruiz, D. (2014). *Investigación De Los Factores Que Inciden En Las Fallas Encontradas En Las Vías De Pavimento Rígido Construidas En La Provincia De Manabí*. [http://repositorio.uees.edu.ec/bitstream/123456789/482/1/TRABAJO DE TITULACION DANIELA RUIZ.pdf](http://repositorio.uees.edu.ec/bitstream/123456789/482/1/TRABAJO_DE_TITULACION_DANIELA_RUIZ.pdf)
- Sánchez, X. (2003). DISEÑO DE PAVIMENTOS ARTICULADOS PARA TRÁFICOS MEDIO Y ALTO. *Demographic Research*, 49(0), 1-33 : 29 pag texts + end notes, appendix, referen. <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/6f011213-8675-4efb-be13-9a294063ecb5/content>
- Universidad Centroamericana. (2001). Densidad Relativa (Gravedad Específica) Y Absorción Del Agregado Fino. *Departamento de Mecánica Estructural*, 01, 1–14. <http://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoAgregados/Densidad-gravedad-especifica-y-absorcion-de-agregados-finos.pdf>
- Urquiza, P. G. (2019). *Comparación Técnica Entre Los Ensayos De Laboratorio De Módulo De Young Y C.B.R Para Bases Y Subbases, Caso De Estudio: Cantera San Joaquín (Provincia De Cotopaxi, Sector Santa Rita)*. <https://repositorio.puce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/8321536b-6a14-4578-a373-53cb6854a562/content>
- Varela, F. (2015). *Influence of Moisture on Optimization of Investments for Road Assets Conservation*. https://oa.upm.es/54774/1/FERNANDO_VARELA_SOTO.pdf
- VINTIMILLA, A. (2014). *Análisis de factores climáticos en las diferentes regiones del Ecuador para el diseño de pavimentos*. 1–125. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/1356/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-80.pdf>
- Yang, J., Chen, B., Su, J., Xu, G., Zhang, D. & Zhou, J. (2022). Effects of fibers on the mechanical properties of UHPC: A review. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 9(3), 363–387. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2022.05.001>
- Zepeda, A. (1992). *Curso internacional de mecánica de suelos arcillosos - Librería Universitaria UAQ*. <https://libreria.uaq.mx/index.php/ediciones-uaq/ingenieria/545-curso-internacional-de-mecanica-de-suelos-arcillos>
- Zhu, Y., Xie, K., Ozbay, K., Zuo, F. & Yang, H. (2017). Data-Driven Spatial Modeling for Quantifying Networkwide Resilience in the Aftermath of Hurricanes Irene and Sandy. <https://doi.org/10.3141/2604-02>, 2604, 9–18. <https://doi.org/10.3141/2604-02>

ANEXOS



Anexo 1. Etiquetado de muestras.



Anexo 2. Extracción del material de cada muestra.



Anexo 3. Restauración de la perforación.



Anexo 4. Ensayo granulométrico.



Anexo 5. Ensayo límite líquido.



Anexo 6. Ensayo límite plástico.



Anexo 7. Ensayo proctor modificado.



Anexo 8. Ensayo de absorción del material fino.



Anexo 9. Ensayo de absorción del material grueso.



Anexo 10. Ensayo cono de arena.



Anexo 11. Instalación del Geo-Gauge.



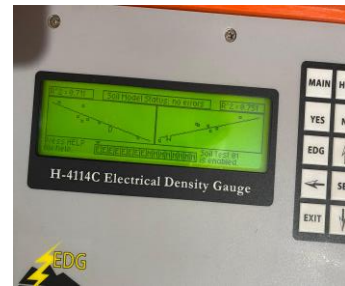
Anexo 12. Ensayo Geo-Gauge, toma de datos.



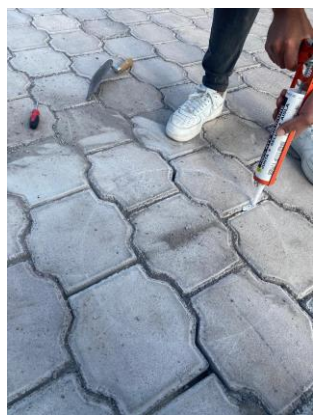
Anexo 13. Ensayo - Instalación del EDG.



Anexo 14. Ensayo - Toma de datos del EDG.



Anexo 15. Gráfica del modelo del suelo del ensayo EDG.



Anexo 16. Ensayo de infiltración - relleno de juntas.



Anexo 17. Ensayo de infiltración - instalación del equipo.



Anexo 18. Ensayo de infiltración - toma de datos.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO		FACULTAD DE INGENIERÍA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
TEMA DE INVESTIGACIÓN:	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS - MECÁNICAS E HIDRÁULICAS DEL PAVIMENTO ARTICULADO EN LA CABECERA CANTONAL DE GUANO PROVINCIA DE CHIMBORAZO.							
ENSAYO:	PROCTOR MODIFICADO							
UBICACIÓN:	GUANO	NORTE:	9822055.229	DESDARROLLADO POR:	Juan Tierra Mikon Yupanqui			
MATERIAL:	Base de pavimento Articulado	ESTE:	765408.274	Muestra N°	1			
				TUTOR DE INVESTIGACIÓN:	Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chihüsa			
RECOLECCIÓN DE DATOS								
CILINDRO PROCTOR			Punto	Peso Cilindro + Suelo Compactado [kg]	Denominación de Tara	Peso de Tara [gr]	Peso Suelo Húmedo + Tara [gr]	Peso Suelo Seco + Tara [gr]
Diámetro Interno del Cilindro	15,27	[cm]	1	11.195	9	42,40	93,40	92,00
					1	42,10	100,80	99,20
			2	11.397	P2	42,50	85,40	83,20
Altura Interna del Cilindro	11,68	[cm]			2	42,10	81,80	79,80
					10	42,10	87,00	83,80
			3	11.512	8	41,90	81,20	78,40
					4	41,50	76,10	72,70
Volumen del Cilindro	2139,00	[cm ³]	4	11.585	P1	18,40	61,50	57,40
					21	18,30	67,70	61,90
			5	11.411	15	18,20	59,00	54,10
Peso del Cilindro	6.557	[kg]			P4	18,40	73,80	66,70
			6	11.399	E2	18,30	75,60	67,80
PESO ESPECÍFICO HUMEDO								
Punto	Peso Cilindro Proctor	Volumen del Cilindro Proctor	Peso Cilindro + Suelo Compactado	Peso del Suelo Compactado	Peso Específico del Suelo Compactado Húmedo			
[-]	[kg]	[cm ³]	[kg]	[kg]	[T/m ³]			
1	6.557	2139,000	11.195	4.638	2.1683			
2	6.557	2139,000	11.397	4.840	2.2627			
3	6.557	2139,000	11.512	4.955	2.3165			
4	6.557	2139,000	11.585	5.028	2.3506			
5	6.557	2139,000	11.411	4.854	2.2693			
6	6.557	2139,000	11.399	4.842	2.2637			
HUMEDAD Y PESO ESPECÍFICO SECO								
Muestra	Denominación de Tara	Peso de Tara	Peso Suelo Húmedo + Tara	Peso Suelo Seco + Tara	Peso del Agua	Porcentaje de Agua	Porcentaje Promedio de Agua	Peso Específico del Suelo Compactado Seco
[-]	[-]	[gr]	[gr]	[gr]	[gr]	[%]	[%]	[T/m ³]
1	9	42,40	93,40	92,00	1,40	2,823	2,812	2,109
	1	42,10	100,80	99,20	1,60	2,802		
2	P2	42,50	85,40	83,20	40,70	2,20	5,405	2,148
	2	42,10	81,80	79,80	37,70	2,00	5,305	
3	10	42,10	87,00	83,80	41,70	3,20	7,673	2,151
	8	41,90	81,20	78,40	36,50	2,80	7,671	
4	4	41,50	76,10	72,70	31,20	3,40	10,897	2,123
	P1	18,40	61,50	57,40	39,00	4,10	10,513	
5	21	18,30	67,70	61,90	43,60	5,80	13,303	2,000
	15	18,20	59,00	54,10	35,90	4,90	13,649	
6	P4	18,40	73,80	66,70	48,30	7,10	14,700	1,965
	E2	18,30	75,60	67,80	49,50	7,80	15,758	
CURVA DE COMPACTACIÓN								
Porcentaje de Agua	Peso Específico del Suelo Compactado Seco							
[%]	[%]							
2,812	2,109							
5,355	2,148							
7,673	2,151							
10,705	2,123							
13,476	2,000							
15,229	1,965							

HUMEDAD Y DENSIDAD MÁXIMA		
Expresión de la Curva		
$A X^2 + B X + C$		
$-0,0028 X^2 + 0,0385 X + 2,0254$		
Punto Máximo de la Curva		
A	-0,0028	[-]
B	0,038	[-]
C	2,0254	[-]
Humedad Óptima	6,786	[%]
Densidad Máxima Seca	2,154	[T/m ³]

Anexo 19. Formato de procesamiento de datos del ensayo de proctor modificado de la muestra 1.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



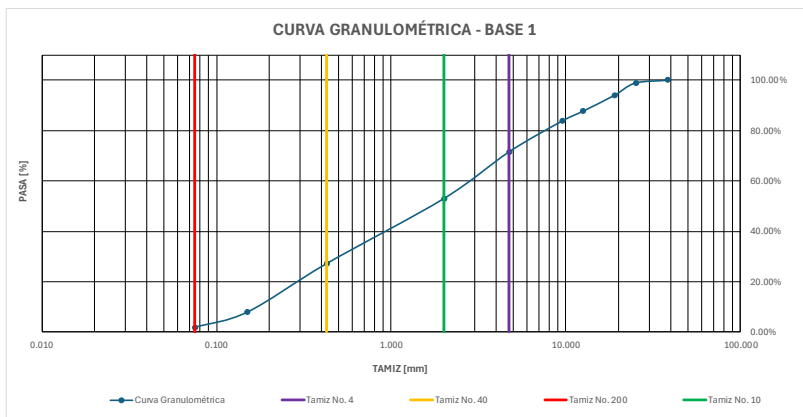
TEMA DE INVESTIGACIÓN:	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS - MECÁNICAS E HIDRÁULICAS DEL PAVIMENTO ARTICULADO EN LA CABECERA CANTONAL DE GUANO PROVINCIA DE CHIMBORAZO.				
ENSAYO:	GRANULOMETRÍA				
UBICACIÓN:	GUANO	NORTE:	9822055.229	DESDARROLLADO POR:	Jhon Tierra
		ESTE:	765408.274		Milton Yupangui
MATERIAL:	Base de pavimento Articulado	Muestra N°	1	TUTOR DE INVESTIGACIÓN:	Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chíkusa

MASA RECIPIENTE		[kg]	Abertura en [mm]	Tamiz ASTM	Peso Retenido [kg]	Abertura en [mm]	Tamiz ASTM	Peso Retenido [kg]
MASA INICIAL MUESTRA + RECIPIENTE	2.1690	[kg]	38.100	1" 1/2"	0.000	4.750	No. 4	0.411
MASA FINAL MUESTRA + RECIPIENTE	2.1660	[kg]	25.000	1"	0.192	2.000	No. 10	0.541
MASA INICIAL NETA DE LA MUESTRA	2.0000	[kg]	19.000	3/4"	0.266	0.425	No. 40	0.685
MASA FINAL NETA DE LA MUESTRA	1.9970	[kg]	12.500	1/2"	0.296	0.150	No. 100	0.552
% DE ERROR EN EL ENSAYO	0.1500	[%]	9.500	3/8"	0.247	0.075	No. 200	0.291
<i>EL ERROR ES ADMISIBLE EN EL ENSAYO</i>					Fondo			0.206

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	0.0000	0.0000	0.0000	0	100
1"	25.000	0.1920	0.0230	0.0230	1.1517	1.1517	98.8483
3/4"	19.000	0.2660	0.0970	0.0971	4.8573	6.0090	93.9910
1/2"	12.500	0.2960	0.1270	0.1272	6.3595	12.3686	87.6314
3/8"	9.500	0.2470	0.0780	0.0781	3.9059	16.2744	83.7256
No. 4	4.750	0.4110	0.2420	0.2424	12.1182	28.3926	71.6074
No. 10	2.000	0.5410	0.3720	0.3726	18.6279	47.0205	52.9795
No. 40	0.425	0.6850	0.5160	0.5168	25.8388	72.8593	27.1407
No. 100	0.150	0.5520	0.3830	0.3836	19.1788	92.0381	7.9619
No. 200	0.075	0.2910	0.1220	0.1222	6.1092	98.1472	1.8528
Fondo		0.2060	0.0370	0.0371	1.8528	100.0000	0.0000
Total			1.9970	2.0000	100.0000		

CURVA GRANULOMÉTRICA



Tamiz ASTM	Abertura en [mm]	Pasa [%]
1" 1/2"	38.100	1.000
1"	25.000	0.988
3/4"	19.000	0.940
1/2"	12.500	87.6314%
3/8"	9.500	83.7256%
No. 4	4.750	71.6074%
No. 10	2.000	52.9795%
No. 40	0.425	27.1407%
No. 100	0.150	7.9619%
No. 200	0.075	1.8528%

COEFICIENTES DE UNIFORMIDAD Y CURVATURA

	Pasa [%]	Abertura en [mm]
Abertura del tamiz que pasa el 10% del material (D10)	7.96%	0.1500
	27.14%	0.4250
	D10	0.1676
Abertura del tamiz que pasa el 30% del material (D30)	27.14%	0.4250
	52.98%	2.0000
	D30	0.5045
Abertura del tamiz que pasa el 60% del material (D60)	52.98%	2.0000
	71.61%	4.7500
	D60	2.7708

$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$		Gravas Gruesas
		Gravas Finas
Coefficiente de Uniformidad (CU)	16.5370	Arenas Gruesas
		Arenas Finas
		Material Fino
$C_C = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}}$		
Coefficiente de Curvatura (CC)	0.5481	

Anexo 20. Formato de procesamiento de datos del ensayo de granulometría de la muestra 1.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



TEMA DE INVESTIGACIÓN:	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS - MECÁNICAS E HIDRÁULICAS DEL PAVIMENTO ARTICULADO EN LA CABECERA CANTONAL DE GUANO PROVINCIA DE CHIMBORAZO.						
ENSAYO:	DENSIDAD IN SITU - CONO DE ARENA						
UBICACIÓN:	GUANO	NORTE:	9822055.229	DESDARROLLADO POR:	Jhon Tierra Milton Yupangui		
MATERIAL:	Base de pavimento Articulado	ESTE:	765408.274	TUTOR DE INVESTIGACIÓN:	Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluisa		
RECOLECCIÓN DE DATOS							
Peso del Material Extraído del Suelo	3.245	[kg]	Numero de Ensayo	Nombre Tara	Masa de Tara [gr]	Masa de Tara + suelo humedo [gr]	Masa de Tara Contenedor y Suelo Seco [gr]
Peso del Cono de Arena Antes del Ensayo	6.630	[kg]	1	G4	16.30	51.80	49.13
Peso del Cono de Arena Después del Ensayo	2.510	[kg]	2	E1	14.50	52.00	49.47
HUMEDAD NATURAL							
Numero de Ensayo	Masa del recipiente [gr]	Masa del recipiente + suelo humedo [gr]	Masa del Contenedor y Suelo Seco [gr]	Masa del Agua [gr]	Masa del Suelo Seco [gr]	Contenido de agua [%]	Humedad Natural [%]
1	16.30	51.80	49.13	2.67	32.83	8.13%	7.689%
2	14.50	52.00	49.47	2.53	34.97	7.25%	
DENSIDAD IN SITU							
Densidad de la Arena de Ensayo [gr/cm³]	Masa de Arena de Ensayo Depositada en Suelo [gr]	Volumen de Excavación Ensayo [cm³]	Masa del Material Extraído del Suelo [gr]	Densidad Humeda del Suelo (Natural) [gr/cm³]	Densidad de Suelo Seco [gr/cm³]		
1.3000	2585.6	1988.9231	3245	1.632	1.515		
GRADO DE COMPACTACIÓN							
Densidad Óptima en el Ensayo Proctor [gr/cm³]	Densidad de Suelo Seco [gr/cm³]	% de Compactación					
2.1543	1.515	70.33%					

Anexo 21. Formato de procesamiento de datos del ensayo del cono de arena de la muestra 1.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



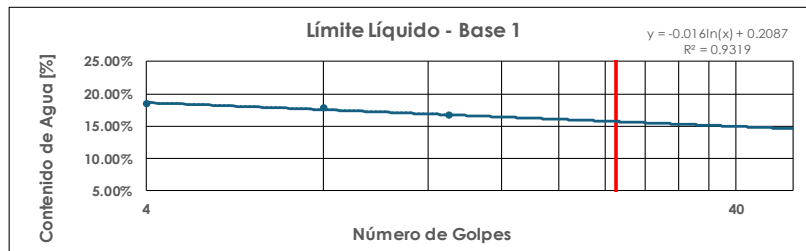
TEMA DE INVESTIGACIÓN:	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS - MECÁNICAS E HIDRÁULICAS DEL PAVIMENTO ARTICULADO EN LA CABECERA CANTONAL DE GUANO PROVINCIA DE CHIMBORAZO.				
ENSAYO:	LÍMITES DE ATTERBERG				
UBICACIÓN:	GUANO	NORTE:	9822055.229	DESSARROLLADO POR:	Jhon Tierra Milton Yupangui
		ESTE:	765408.274		
MATERIAL:	Base de pavimento Articulado	Muestra N°	1	TUTOR DE INVESTIGACIÓN:	Ing. Hernán Vladimír Pazmiño Chikuisa

RECOLECCIÓN DE DATOS

Datos Límite Líquido					Datos Límite Plástico				
Numero de Ensayo	Nombre Tara	Masa de Tara [gr]	Masa de Tara + suelo humedo [gr]	Masa de Tara Contenedor y Suelo Seco [gr]	Golpes	No. Tara	Masa Tara [gr]	Masa tara y suelo humedo [kg]	Masa tara y Suelo Seco [gr]
1	P3	18.70	51.90	46.70	4				
2	P6	18.20	43.90	40.00	8				
3	15	18.10	49.60	45.10	13				

LÍMITE LÍQUIDO

Numero de Ensayo	Masa del recipiente [gr]	Masa del recipiente + suelo humedo [gr]	Masa del Contenedor y Suelo Seco [gr]	Golpes	Masa del Agua [gr]	Masa del Suelo Seco [gr]	Contenido de agua [%]
1	18.70	51.90	46.70	4	5.20	28.00	18.57%
2	18.20	43.90	40.00	8	3.90	21.80	17.89%
3	18.10	49.60	45.10	13	4.50	27.00	16.67%



Expresión de la Gráfica
$-0.016 \ln(x) + 0.2087$

a	-0.016	[-]
b	0.2087	[-]
Límite Líquido	15.720	[%]

LÍMITE PLÁSTICO

No. Tara	Masa Tara [gr]	Masa tara y suelo humedo [gr]	Masa tara y Suelo Seco [gr]	Masa del Agua [gr]	Masa del Suelo Seco [gr]	Contenido de agua [%]
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	N/A
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	N/A
Límite Plástico						N/A

ÍNDICE DE PLASTICIDAD

Límite Líquido	15.720%	[%]
Límite Plástico	N/A	[%]
Índice de Plasticidad	NP	[%]

"Si el límite plástico es igual o mayor que el límite líquido, el informe del suelo deberá constar como no plástico, NP." (ASTM D4318-05, 2005)

EL MATERIAL CARECE DE CARACTERÍSTICAS DE PLASTICIDAD

Anexo 22. Formato de procesamiento de datos del ensayo del límite de atterberg de la muestra 1.

DATOS DE CAMPO			
Fecha:	Miercoles, 4 de septiembre de 2024		
Ciudad:	Riobamba-Chimborazo		
Lugar:	Guano		
Clima:	Soleado	Estado de la vía:	Regular
Coordenada del punto:	ESTE		765408.274
	NORTE		9822055.229
INTERVALO		TIEMPO (Hora)	h (cm)
-	10:00 a. m.	0 Horas	5.8
10:00 a. m.	11:00 a. m.	1 Hora	6.2
11:00 a. m.	12:00 p. m.	1 Hora	6.5
12:00 p. m.	13:00 PM	1 Hora	6.9
13:00 PM	14:00 PM	1 Hora	7.2
14:00 PM	15:00 PM	1 Hora	7.5
15:00 PM	16:00 PM	1 Hora	7.8
16:00 PM	17:00 PM	1 Hora	8.1
17:00 PM	18:00 PM	1 Hora	8.3
18:00 PM	19:00 PM	1 Hora	8.4
Observaciones: El infiltrometro se coloco a 2 metros de la vereda, tambien a 8 metros habia una rejilla.			

ipo de pavimento

Pavimento articulado

CÁLCULOS					
Diámetro interior del Infiltrómetro (cm) :					25
Área total interna (cm ²) :					490.87
Altura Total del infiltrómetro H (cm ³):					60.60
Altura del espejo de agua inicual (cm):					54.80
Volumen inicial de agua (cm ³):					26899.86
h	delta h	delta h acumulado	Tiempo	t acum	K
cm	cm	cm	hora	hora	cm/hora
5.8	0	0	0	0	0
6.2	0.4	0.4	1	1	0.4
6.5	0.3	0.7	1	2	0.3
6.9	0.4	1.1	1	3	0.4
7.2	0.3	1.4	1	4	0.3
7.5	0.3	1.7	1	5	0.3
7.8	0.3	2	1	6	0.3
8.1	0.3	2.3	1	7	0.3
8.3	0.2	2.5	1	8	0.2
8.4	0.1	2.6	1	9	0.1
Sumatoria delta h (cm):					2.6
Volumen de Infiltración (cm³):					1276.27
Fracción de infiltración (%):					4.74%
Coefficiente de escurrimiento C (%):					95.26%

Anexo 23. Formato de procesamiento de datos del ensayo del infiltrómetro de la muestra 1.

PAVIMENTO ARTICULADO											
VARIABLES		UNIDADES	CAPAS DEL PAVIMENTO	M1	M2	M3	M5	M6	M7	M8	PROMEDIO
1	C	[-]		CAPAS DEL PAVIMENTO	0.953	0.865	0.9487	0.878	0.954	0.8791	0.8828
2	Módulo de Young	[Mpa]	93.74		56.23	74.16	59.8	94.12	60.07	63.58	71.671
3	CBR	[%]	BASE	41.11	11.10	23.58	13.35	41.48	13.49	15.79	22.843
4	Densidad Natural EDG	[gr/cm ³]	BASE	1.812	1.580	1.703	1.629	1.729	1.680	1.608	1.677
5	Densidad Natural Cono de Arena	[gr/cm ³]	BASE	1.632	1.489	1.612	1.730	1.751	1.594	1.599	1.630
6	Densidad Óptima Proctor	[gr/cm ³]	BASE	2.154	2.060	2.093	2.240	2.112	2.199	2.129	2.141
7	Humedad Óptima	[%]	BASE	6.786	7.214	6.936	6.750	6.690	6.899	7.034	6.901
8	Grado de Compactación	[%]	BASE	74%	70%	73%	72%	76%	71%	71%	0.725
9	% Gravas Gruesas	[%]	BASE	6.009%	8.038%	5.195%	8.609%	2.349%	8.158%	4.256%	0.061
10	% Gravas Finas	[%]	BASE	10.265%	12.032%	7.393%	11.562%	7.246%	14.414%	8.663%	0.102
11	% Arenas Gruesas	[%]	BASE	30.746%	21.518%	21.778%	24.775%	28.186%	28.829%	24.687%	0.258
12	% Arenas Finas	[%]	BASE	45.018%	46.680%	52.448%	43.994%	49.975%	38.288%	47.171%	0.462
13	% de Material Fino	[%]	BASE	7.962%	11.732%	13.187%	11.061%	12.244%	10.310%	15.223%	0.117
14	Coefficiente escurrimiento	[%]	BASE	95.26%	86.45%	94.87%	87.75%	95.42%	87.91%	88.28%	90.85%
15	Infiltración	[%]	BASE	4.74%	13.55%	5.13%	12.25%	4.58%	12.09%	11.72%	9.15%

Anexo 24. Resumen de datos finales obtenidos.