



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

**Características físicas, mecánicas e hidráulicas evaluadas en el pavimento
articulado de la parroquia de Huachi Grande**

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil

Autor:

Manobanda Tonato Anthony Roberto

Poaquiza Sisa Jairo David

Tutor:

Ing. Alfonso Patricio Arellano Barriga, MSc

Riobamba, Ecuador. 2026

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Nosotros, **Anthony Roberto Manobanda Tonato**, con cédula de ciudadanía **1850024629** y **Jairo David Poaquiza Sisa** con cédula de ciudadanía **1851051456**, autores del trabajo de investigación titulado: **“CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, MECÁNICAS E HIDRÁULICAS EVALUADAS EN EL PAVIMENTO ARTICULADO DE LA PARROQUIA DE HUACHI GRANDE”**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

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

En Riobamba, 06 de enero del 2024



Anthony Roberto Manobanda Tonato

C.I: 1850024629



Jairo David Poaquiza Sisa

C.I: 1851051456

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Ing. Alfonso Patricio Arellano Barriga, Mgs, catedrático adscrito a la Facultad de ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación **“CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, MECÁNICAS E HIDRÁULICAS EVALUADAS EN EL PAVIMENTO ARTICULADO DE LA PARROQUIA DE HUACHI GRANDE”**, bajo la autoría de **Anthony Roberto Manobanda Tonato y Jairo David Poaquizá Sisa**; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 17 días del mes de noviembre de 2025



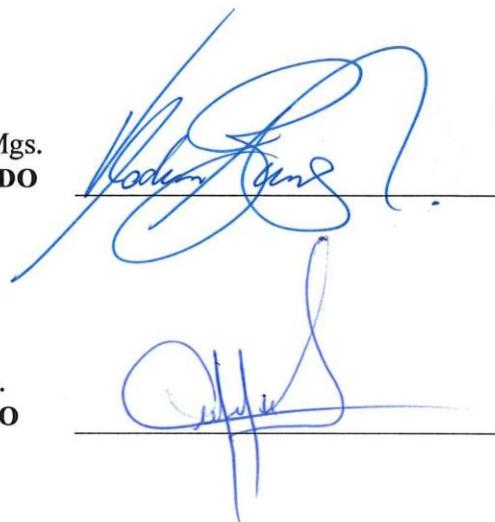
Ing. Alfonso Patricio Arellano Barriga, Mgs
TUTOR(A)

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 EVALUADAS EN EL PAVIMENTO ARTICulado DE LA PARROQUIA DE HUACHI GRANDE”**, presentado por **Anthony Roberto Manobanda Tonato**, con cédula de identidad número **1850024629** y **Jairo David Poaquiza Sisa**, con cédula de identidad número **1851051456** bajo la tutoría de Ing. Alfonso Patricio Arellano Barriga, 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 05 de enero del 2026.

Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza, Mgs.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Nelson Estuardo Patiño Vaca, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Julio Andres Fiallos Iglesias, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO





CERTIFICACIÓN

Que, MANOBANDA TONATO ANTHONY ROBERTO con CC: **1850024629** Y POAQUIZA SISA JARIO DAVID con CC: 1851051456 estudiantes de la Carrera **INGENIERIA CIVIL**, Facultad de **INGENIERIA**; han trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, MECÁNICAS E HIDRÁULICAS EVALUADAS EN EL PAVIMENTO ARTICULADO DE LA PARROQUIA DE HUACHI GRANDE**", cumple con el 8%, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **COMPILATIO**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 16 de diciembre de 2025

Ing. Alfonso Patricio Arellano Barriga, Mgs
TUTOR(A)

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de investigación, principalmente a mis padres, Wilson Roberto Manobanda Cunalata y Celia Herlinda Tonato Tonato, quienes con su amor incondicional, esfuerzo constante y valores inculcados han sido el pilar fundamental de mi formación personal y académica. Su apoyo, paciencia y confianza en mí me han brindado la fortaleza necesaria para perseverar y culminar este importante logro.

De manera muy especial, dedico este trabajo a mi querida abuelita María Teresa Cunalata, quien desde el cielo continúa cuidándome y guiando cada uno de mis pasos. Su recuerdo, enseñanzas y amor eterno viven en mi corazón y han sido una fuente permanente de inspiración a lo largo de este camino.

Anthony R. Manobanda T.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, en primer lugar, a mis padres, María Rosa Sisa Capuz y Segundo Tomás Poaquiza Masabanda, quienes han sido mi mayor fuente de inspiración y los pilares inquebrantables a lo largo de todo mi proceso universitario. Gracias por su amor incondicional, por cada sacrificio silencioso y por enseñarme, con su ejemplo, que el esfuerzo, la dedicación y el amor son el camino para alcanzar cualquier meta.

De igual manera, dedico este logro a mis hermanos, quienes, con su apoyo constante, colaboración y palabras de aliento han contribuido de manera invaluable al desarrollo de este proyecto, fortaleciendo cada paso de este camino y motivándome a no rendirme

Jairo D. Poaquiza S.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por brindarme la vida, la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para superar cada dificultad presentada a lo largo de este proceso académico.

Expreso mi sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de Chimborazo, institución que me brindó la formación académica y profesional. Además, agradezco a mi tutor, el Ing. Alfonso Arellano, por su orientación y valiosos aportes, los cuales fueron fundamentales para el correcto desarrollo y culminación de este trabajo.

Finalmente, agradezco a mis queridos hermanos, a mi familia y a mis amigos cercanos, quienes con su apoyo incondicional, palabras de aliento y comprensión estuvieron presentes en cada etapa de este camino, convirtiéndose en un pilar fundamental para alcanzar este logro académico.

A todos ellos, mi eterna gratitud por ser la motivación principal para seguir adelante y alcanzar mis metas.

Anthony R. Manobanda T.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por guiarme y darme la fortaleza necesaria para culminar esta etapa académica. A mis padres, expreso mi más profundo agradecimiento por su esfuerzo, sacrificio y apoyo incondicional, así como por brindarme la oportunidad de acceder a la educación superior.

A mis hermanos, agradezco sinceramente por su apoyo constante, comprensión y motivación a lo largo de este proceso universitario.

A la Universidad Nacional de Chimborazo, extiendo mi agradecimiento por la formación académica recibida. De manera especial, agradezco al Ingeniero Alfonso Arellano, tutor de esta tesis, por su orientación, compromiso y valiosos aportes durante el desarrollo de este trabajo.

Finalmente, agradezco a mis amigos, compañeros universitarios y a mi familia en general, por su apoyo moral, compañerismo y palabras de aliento, los cuales fueron fundamentales para alcanzar este logro.

Jairo D. Poaquiza S.

ÍNDICE GENERAL

PORADA

DECLARATORIA DE AUDITORIA

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTI PLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE ANEXOS

RESUMEN

ABSTRACT

| | |
|--|----|
| CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN | 18 |
| 1.1 Zona de Estudio..... | 18 |
| 1.2 Antecedentes de investigación | 19 |
| 1.3 Planteamiento del problema | 20 |
| 1.4 Justificación | 21 |
| 1.5 Objetivos | 21 |
| 1.5.1 Objetivo General | 21 |
| 1.5.2 Objetivos específicos..... | 21 |
| CAPITULO II MARCO TEÓRICO | 22 |
| 2.1 Pavimento Articulado | 22 |
| 2.2 Estructura del Pavimento Articulado | 22 |
| 2.2.1 Capa de rodadura (Adoquín de hormigón)..... | 22 |
| 2.2.2 Juntas de sellado..... | 22 |
| 2.2.3 Cama de arena..... | 22 |
| 2.2.4 Base | 22 |

| | | |
|-------|---|----|
| 2.2.5 | Subbase | 23 |
| 2.2.6 | Subrasante | 23 |
| 2.2.7 | Bordes de confinamiento..... | 23 |
| 2.3 | Propiedades Físicas del Pavimento Articulado | 23 |
| 2.3.1 | Granulometría | 23 |
| 2.3.2 | Límites de Atterberg | 24 |
| 2.3.3 | Humedad..... | 24 |
| 2.3.4 | Densidad | 24 |
| 2.3.5 | Absorción en Adoquines | 25 |
| 2.4 | Propiedades Mecánicas del Pavimentos Articulado | 25 |
| 2.4.1 | Módulo de Rigidez..... | 25 |
| 2.4.2 | Módulo de Young | 25 |
| 2.4.3 | Relación de Soporte de California..... | 25 |
| 2.4.4 | Resistencia en Adoquines..... | 26 |
| 2.4.5 | Degradación del árido grueso | 26 |
| 2.5 | Propiedades Hidráulicas del Pavimento Articulado | 26 |
| 2.5.1 | Infiltración | 26 |
| 2.5.2 | Permeabilidad..... | 26 |
| 2.5.3 | Coeficiente de escorrentía | 26 |
| | CAPITULO III METODOLOGIA | 27 |
| 3.1 | Diagrama Metodológico..... | 27 |
| 3.2 | Tipo de Investigación | 27 |
| 3.3 | Diseño de Investigación..... | 27 |
| 3.4 | Definición de la Muestra | 28 |
| 3.4.1 | Población..... | 28 |
| 3.4.2 | Muestra | 28 |
| 3.4.3 | Tipo de Muestreo | 28 |
| 3.4.4 | Criterio de Selección | 28 |
| 3.4.5 | Ubicación de Muestras..... | 29 |
| 3.5 | Procedimientos | 30 |
| 3.5.1 | Ensayos de laboratorio..... | 30 |
| 3.5.2 | Ensayos in situ | 32 |
| | CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 37 |

| | |
|--|-----------|
| 4.1 Propiedades Físicas del Pavimento Articulado | 37 |
| 4.1.1 Granulometría..... | 37 |
| 4.1.2 Límites de Atterberg | 42 |
| 4.1.3 Compactación Proctor Modificado | 44 |
| 4.1.4 Densidades | 48 |
| 4.1.5 Humedades | 51 |
| 4.1.6 Densidad y Absorción | 54 |
| 4.1.7 Grado de Compactación | 55 |
| 4.2 Propiedades mecánicas del pavimento articulado..... | 57 |
| 4.2.1 Módulo de Young, Modulo de Rigidez y CBR..... | 57 |
| 4.2.2 Desgaste del Agregado Grueso de la Base (granular) | 59 |
| 4.2.3 Absorción de Adoquines | 60 |
| 4.2.4 Resistencia a la Compresión de Adoquines | 61 |
| 4.3 Propiedades Hidráulicas del Pavimento Articulado | 62 |
| 4.3.1 Permeabilidad..... | 62 |
| 4.3.2 Infiltración | 63 |
| 4.3.3 Comportamiento de las Curvas de Infiltración..... | 66 |
| 4.3.4 Análisis del Coeficiente de Escorrentía..... | 66 |
| 4.4 Relación entre las propiedades físico-mecánicas y propiedades hidráulicas del pavimento articulado..... | 68 |
| 4.4.1 Relación entre el CBR vs Infiltración | 68 |
| 4.4.2 Relación entre el Grado de compactación y la Infiltración | 69 |
| 4.4.3 Relación entre CBR (%) y el Grado de Compactación | 70 |
| CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 72 |
| 5.1 Conclusiones | 72 |
| 5.2 Recomendaciones | 74 |
| BIBLIOGRAFÍA | 75 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Ubicación y Caracterización de Muestras | 29 |
| Tabla 2. Resumen del ensayo granulometría Base Arena | 37 |
| Tabla 3. Resumen de ensayo de granulometría Base Granular | 38 |
| Tabla 4. Resumen del ensayo granulométrico Sub rasante | 39 |
| Tabla 5 Límites de Atterberg Base Cama de Arena de Pavimento Articulado..... | 42 |
| Tabla 6 Límites de Atterberg Base Granular de Pavimento Articulado | 43 |
| Tabla 7 Límites de Atterberg Sub rasante de Pavimento Articulado..... | 43 |
| Tabla 8. Resumen del ensayo Proctor Modificado de la Base Arena | 44 |
| Tabla 9. Resumen del ensayo Proctor Modificado de la Base Granular..... | 45 |
| Tabla 10. Resumen del ensayo Proctor Modificado realizado en las Subrasantes..... | 45 |
| Tabla 11. Resumen de resultados de las densidades de la Base Arena..... | 48 |
| Tabla 12. Resumen de resultados de las densidades de la Base Granular | 49 |
| Tabla 13. Resumen de resultados de las densidades de la subrasante | 50 |
| Tabla 14. Resumen de las humedades de la basa-arena del pavimento articulado | 51 |
| Tabla 15. Resumen de las humedades de la basa-granular del pavimento articulado..... | 52 |
| Tabla 16. Resumen de las humedades de la subrasante del pavimento articulado | 53 |
| Tabla 17 Resumen Densidad y Absorción de Bases y Subrasante | 54 |
| Tabla 18. Resumen de grado de compactación de la base arena, base granular y subrasante | 55 |
| Tabla 19. Datos obtenidos mediante el GeoGauge y cálculo del CBR - Base Arena | 57 |
| Tabla 20. Datos obtenidos mediante el GeoGauge y cálculo del CBR – Base Granular | 58 |
| Tabla 21. Datos obtenidos mediante el GeoGauge y cálculo del CBR Sub rasante | 58 |
| Tabla 22 Porcentajes de Abrasión del Agregado Grueso | 60 |
| Tabla 23. Resultado de la absorción de adoquines..... | 61 |
| Tabla 24 Resistencia a la Compresión de Adoquines | 61 |
| Tabla 25 Resumen del ensayo de infiltración en el pavimento articulado..... | 63 |
| Tabla 26. Infiltración, escorrentía y compactación del Pavimento Articulado | 64 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio..... | 18 |
| Figura 2. Diagrama de Flujo Metodológico..... | 27 |
| Figura 3. Clasificación de Suelos (SUCS)..... | 30 |
| Figura 4. Partes de Equipo GeoGauge..... | 32 |
| Figura 5. Partes Equipo Cono de Arena..... | 33 |
| Figura 6. Colocación de Silicona en Anillos | 34 |
| Figura 7. Partes Equipo de Infiltrometro | 35 |
| Figura 8. Curvas granulométricas de la Base Granular..... | 40 |
| Figura 9. Curvas granulométricas de la Base Arena | 40 |
| Figura 10. Curvas granulométricas de la Subrasante | 40 |
| Figura 11 Comparación Límite Líquido de Capas | 44 |
| Figura 12. Curva compactación base granular | 47 |
| Figura 13. Curva de compactación base cama de arena..... | 47 |
| Figura 14. Curva Compactación Subrasante..... | 47 |
| Figura 15. Comparación Densidades Base Arena | 48 |
| Figura 16. Comparación Densidades Base Granular | 49 |
| Figura 17. Comparación Densidades Subrasante..... | 50 |
| Figura 18 Comparación Humedades Base de Arena..... | 51 |
| Figura 19 Comparación Humedades Base Granular | 52 |
| Figura 20 Comparación Humedades Subrasante | 53 |
| Figura 21 Absorción de Capas..... | 54 |
| Figura 22. Grado de compactación base-arena | 56 |
| Figura 23. Grado de compactación base granular | 56 |
| Figura 24. Grado de compactación sub rasante | 56 |
| Figura 25 Rangos Grados de Compactación de Capas..... | 57 |
| Figura 26 Modulo de Young obtenido mediante GeoGauge | 59 |
| Figura 27 Desgaste del Agregado Grueso de Base Granular | 60 |
| Figura 28 Comparación Resistencia a la Compresión en Adoquines..... | 62 |
| Figura 29. Curvas de Infiltración..... | 65 |
| Figura 30. Coeficiente de Escurrimiento en el Pavimiento Articulado | 67 |
| Figura 31. "C promedio" obtenido y el "C" propuesto por la normativa..... | 67 |
| Figura 32. Comparación entre el grado de CBR (%) y la Infiltración (%) | 68 |
| Figura 33. Diagrama de relación entre el CBR y la Infiltración | 69 |
| Figura 34. Comparación entre el grado de compactación (%) y la infiltración (%) | 69 |
| Figura 35. Diagrama de relación entre la compactación y la Infiltración..... | 70 |
| Figura 36. Comparación entre el CBR (%) y el grado de compactación (%)..... | 70 |
| Figura 37. Diagrama de relación entre la compactación y el CBR..... | 71 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|--|----|
| Anexo 1. Ensayos Realizados | 81 |
| Anexo 2. Formato de cálculos para el ensayo de Granulometría | 82 |
| Anexo 3. Formato de cálculo para el ensayo de Límites de Atterberg..... | 83 |
| Anexo 4. Formato de Cálculo para el ensayo de Proctor Modificado..... | 84 |
| Anexo 5. Formato de Cálculo para el ensayo Densidades y Peso específico..... | 85 |
| Anexo 6. Formato de Cálculo para el ensayo de Abrasión Maquina de los Ángeles | 86 |
| Anexo 7. Formato de Cálculo para el ensayo de Absorción de Adoquines y Resistencia de Adoquines | 87 |
| Anexo 8. Formato de Cálculo para el ensayo de Cono de Arena..... | 88 |
| Anexo 9. Resumen de los resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados | 91 |

RESUMEN

El presente estudio evalúa las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas del pavimento articulado ubicado en la parroquia Huachi Grande, con el propósito de determinar su desempeño actual ante el crecimiento urbano, el aumento del tránsito vehicular y las condiciones climáticas del sector. Para el análisis se seleccionaron varios puntos de muestreo distribuidos a lo largo de la red vial adoquinada, donde se recolectaron muestras de las diferentes capas del pavimento articulado: adoquines, cama de arena, base granular y subrasante. A estas muestras se les aplicaron ensayos de laboratorio y evaluaciones IN SITU que permitieron determinar su granulometría, humedad, compactación, resistencia, capacidad portante e infiltración, tomando como referencia las normativas vigentes correspondientes a cada procedimiento. Los resultados evidencian que las capas internas del pavimento presentan condiciones aceptables de compactación y soporte estructural, reflejando un desempeño mecánico adecuado, sin embargo, los ensayos IN SITU revelaron valores de CBR inferiores a los establecidos por la normativa. Además, se observó que los adoquines de algunas zonas presentan variaciones en su resistencia, relacionadas con diferencias en calidad y uniformidad de fabricación. En el aspecto hidráulico, se identificó que el pavimento articulado presenta baja capacidad de infiltración y lo que ocasiona que gran parte del agua de lluvia escurra superficialmente. Esta situación ciertamente ayuda que la mayoría de escorrentías sean controladas para un correcto funcionamiento del drenaje, sin embargo, también es causante de acumulación de agua y formación de encarcamientos. En conclusión, aunque el pavimento articulado de Huachi Grande muestra buenas condiciones estructurales, su comportamiento hidráulico es deficiente, por lo que se requiere fortalecer los procesos de diseño, control de calidad y mantenimiento para optimizar su vida útil y mejorar la gestión vial del sector.

Palabras claves: Pavimento Articulado, características, físicas, mecánicas, hidráulicas, compactación, escorrentía, CBR.

ABSTRACT

This study evaluates the physical, mechanical, and hydraulic properties of the articulated (interlocking) pavement located in the Huachi Grande parish to determine its current performance under urban growth, increased vehicular traffic, and local climatic conditions. For the analysis, several sampling points were selected along the paved road network, where samples were collected from the different layers of the articulated pavement: pavers, sand bedding, granular base, and subgrade. Laboratory tests and in situ evaluations were conducted on these samples to determine their gradation, moisture content, compaction, strength, bearing capacity, and infiltration, using the relevant current standards for each procedure as references. The results show that the pavement's internal layers have acceptable compaction and structural support, indicating adequate mechanical performance. However, in situ tests showed CBR values below the specified standards. Furthermore, it was observed that the pavers in some areas exhibit variations in strength, related to differences in manufacturing quality and uniformity. Regarding the hydraulic aspect, it was identified that the articulated pavement has a low infiltration capacity, leading to a large portion of the rainwater running off the surface. This situation certainly helps ensure that most runoff is controlled for proper drainage; however, it also contributes to water accumulation and the formation of puddles. In conclusion, although the articulated pavement in Huachi Grande shows good structural conditions, its hydraulic performance is deficient. Therefore, it is necessary to strengthen the design processes, quality control, and maintenance to optimize its service life and improve road management in the area.

Keywords: Articulated Pavement, characteristics, physical, mechanical, hydraulic, compaction, runoff, CBR.



Reviewed by:

**Mgs. Kerly Cabezas
ENGLISH PROFESSOR
I.D. 0604042382**

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Zona de Estudio

La parroquia de Huachi Grande perteneciente al Cantón Ambato se encuentra ubicada, en la provincia de Tungurahua, al sur de la ciudad con una extensión aproximada de 14,12 Km². Situada a una altitud de 2950 metros sobre el nivel del mar y posee una temperatura media anual de 12 °C. La parroquia de Huachi grande cuenta con una población estimada de 15,782 habitantes.[1]

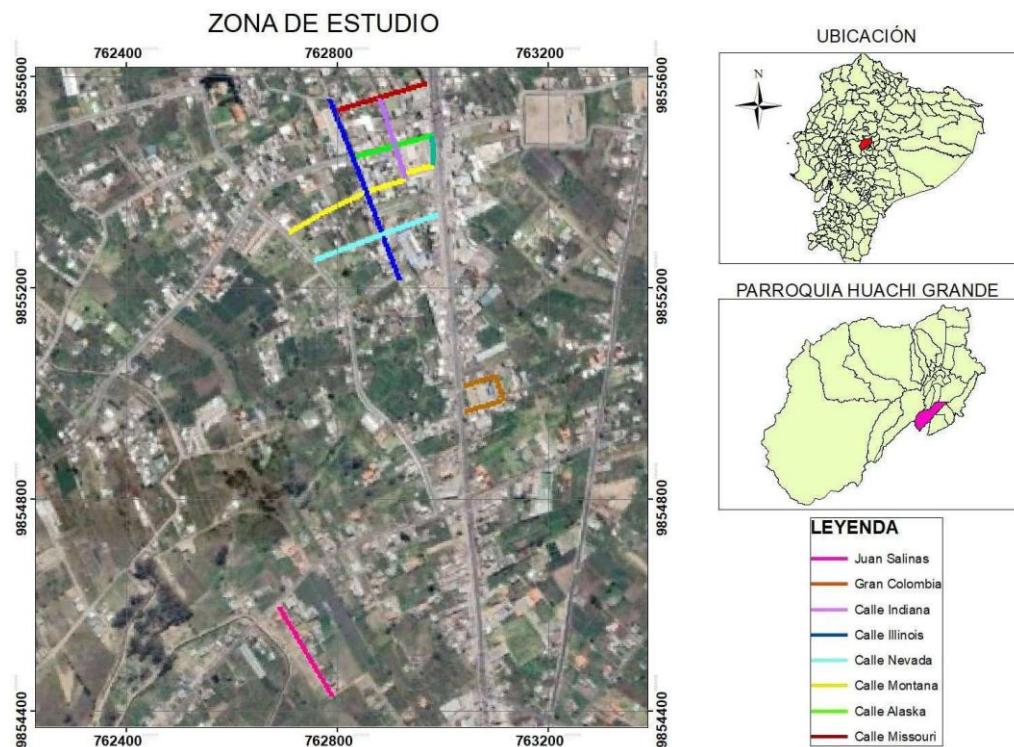


Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio

Fuente: Elaboración Propia

El análisis vial abarca una extensión total de 1.92 km de pavimento articulado, considerando tanto las condiciones geométricas como el estado funcional y estructural de la vía.

1.2 Antecedentes de investigación

Los pavimentos son esenciales para el desarrollo social y económico, este los convierte en una alternativa para proyectos de urbanización y movilidad, los mismos que son diseñados para soportar cargas generadas por el tránsito y por las condiciones ambientales. Se comportan como arterias que facilitan la movilidad y el acceso a recursos y servicios, permitiendo de tal manera una mejor conectividad entre regiones y la reducción de costos de transporte. [2]

La gran acogida que ha tenido este sistema de pavimentación durante los últimos años en el Ecuador se debe a su bajo costo frente a otros tipos de pavimentos que buscan alcanzar beneficios similares, lo que convierte al pavimento articulado en una opción económica y adecuada. Además, ayuda a mitigar los riesgos de aluviones y reducir el impacto de las lluvias intensas.[3].

La Parroquia de Huachi Grande ubicada a la salida del cantón Ambato provincia de Tungurahua es un punto importante propuesto a ser analizado, pues el sector influye de gran manera hacia diversos ámbitos, tales como el vial en el ingreso y salida de distintos tipos de vehículos, en lo agrícola con el movimiento de productos y además es considerado como una zona de crecimiento poblacional urbanístico para los años siguientes.

En la parroquia de Huachi Grande, donde las características topográficas y las condiciones climáticas imponen demandas específicas, resulta fundamental evaluar en profundidad las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas del pavimento articulado para garantizar su desempeño, durabilidad y eficiencia.

Este pavimento de tipo articulado es utilizado desde hace varios años por temas del entorno patrimonial de la parroquia, además se observa su efectividad y su funcionalidad entorno a operaciones. Sin embargo, al ser considerado un sector con crecimiento urbano implica una mayor área de asentamientos poblacionales, lo que trae consigo una demanda de carga vehicular mayor. Este aumento afecta directamente al comportamiento y funcionalidad del pavimento, el cual se ve afectado debido a fenómenos de desgaste y erosión superficial.

Por lo tanto, si las características principales del pavimento no son evaluadas con anterioridad, la planificación de operación y mantenimiento a corto plazo mostrará dificultad y los problemas estructurales implicarán costos mayores.

1.2 Planteamiento del problema

La parroquia de Huachi Grande se caracteriza por ser una zona en expansión demográfica. Además, se ha identificado que las variaciones climáticas constantes afectan la infraestructura vial del sector.[4].

Uno de los principales problemas en el sistema hidráulico de Huachi Grande es la acumulación de basura en las quebradas, lo que genera obstrucciones en el cauce natural del agua. [5]. Esta situación puede provocar el desbordamiento de las quebradas durante lluvias intensas, aumentando el riesgo de inundaciones y aluviones. En el caso de los pavimentos articulados, la fuerza del agua puede arrastrar sedimentos y residuos que ocasionen desestabilización a la base del adoquinado, causando erosión, levantamiento o desplazamiento de las piezas, disminuyendo la capacidad de carga del pavimento, lo que compromete la infraestructura vial y la seguridad de la zona.

Finalmente, se conoce que estos pavimentos articulados fueron diseñados con coeficientes de escorrimiento no actualizados, lo que ocasiona que la capacidad de drenaje no sea óptima en tiempos de altas precipitaciones, generando riegos a la seguridad de los conductores y peatones. Ya que 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.

Por tanto, se ha planteado la siguiente interrogante ¿Cómo se relacionan las características físico-mecánicas del pavimento articulado con las características hidráulicas analizadas tanto en campo como en laboratorio, y cómo influyen en la valoración del coeficiente de escorrimiento en pavimentos articulados existentes?

1.3 Justificación

La información que se pretende levantar será de gran ayuda para realizar la situación actual del pavimento articulado en la zona de estudio y proponer una gestión proactiva entorno a las condiciones resultantes.

En temas de gestión se enfoca directamente en abordar problemas inmediatos de operación y mantenimiento, teniendo una visión hacia objetivos de desarrollo sostenible que se dan directamente en la optimización de recursos hacia costos operacionales, una infraestructura vial en buenas condiciones, ofrecer un crecimiento económico, fomentar el turismo y propone futuras inversiones en el lugar.

Por otro lado, en torno a temas hidráulicos se pretende obtener datos como el porcentaje de infiltración y los coeficientes de escurrimientos actualizados. Esta información es importante para evitar tanto el subdimensionamiento como el sobredimensionamiento en los diseños hidráulicos de las obras de drenaje y que los daños a la infraestructura vial se reduzcan.

Los resultados que se obtengan de esta investigación contribuirán a que los actores involucrados en la gestión y desarrollo urbano de la ciudad de Ambato específicamente en la parroquia Huachi Grande, tomen decisiones informadas sobre el mantenimiento y optimización de recursos en los pavimentos articulados, mejorando la calidad de vida de los habitantes de la zona.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

- Determinar las principales características físicas, mecánicas e hidráulicas del pavimento articulado mediante equipos eléctricos y manuales en la zona de Huachi Grande.

1.5.2 Objetivos específicos

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

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

2.1 Pavimento Articulado

El pavimento articulado se caracteriza por su estructura superficial e interna, pues su composición en la zona superior está compuesta por piezas rígidas prefabricadas de hormigón, piedra natural o ladrillo que son llamadas adoquines, que se enlazan mediante un material de sellado que normalmente es arena. Estos adoquines con las juntas de sellado se asientan sobre capas de base, subbase y subrasante que forma una estructura interna, que ayudan a disipar energías producidas sobre la capa de rodadura. [6]

2.2 Estructura del Pavimento Articulado

La estructura del pavimento articulado está formada por una capa de rodadura (adoquín de hormigón), juntas de sellado, cama de arena, base y subbase, subrasante y bordes de confinamiento. Cada elemento es importante para que se cumpla la función estructural, servicial y de seguridad que se rigen de acuerdo con la normativa vigente.

2.2.1 Capa de rodadura (Adoquín de hormigón)

La forma y dimensiones deben variar según el tipo de proyecto a realizarse, sin embargo, según nuestra normativa nos especifica consideraciones a tomar en cuenta como que los adoquines se fabrican con hormigón, empleando áridos cuyo tamaño máximo no exceda 12 mm y que en cualquier caso su espesor mínimo del adoquín será de 80 mm para áreas que soporta tráfico vehicular.[7]

2.2.2 Juntas de sellado

El material que se usa principalmente es arena fina, con el objetivo de llenar las juntas entre los adoquines, su propósito contribuye a impermeabilizar la estructura obteniendo un comportamiento más flexible y controlado en la estructura superficial e interna del pavimento. [8]

2.2.3 Cama de arena

La cama de arena es una capa delgada de 20 mm a 30 mm nivelada la cual se coloca sobre una base granular compactada, sin embargo, esto en ciertas situaciones no se cumple y es colocada simplemente sobre la subrasante. Esta capa cumple funciones como filtrador para el agua, soporte, nivelación y fijación para los adoquines. [9]

2.2.4 Base

La base se caracteriza por ser la primera capa estructural del pavimento articulado ya que en esta se presenta mayor capacidad de resistencia proporcionando un apoyo uniforme, estable y permanente. [8]

2.2.5 Subbase

La subbase consta de un material granular no tratado o estabilizado, es decir que sus materiales empleados son de menor calidad a diferencia de la base, esta capa puede ser remplazada por un mejoramiento en la subrasante, esto depende de las características del proyecto a realizarse. [8]

2.2.6 Subrasante

La subrasante es una capa la cual debe resistir los esfuerzos que le son transmitidos por la capa de rodadura, el material de suelo en esta debe ser compactado por lo menos en un 95 % para que la estructura del pavimento conserve su integridad en todo momento, aun con la presencia de humedades altas, ofreciendo condiciones de apoyo uniforme y permanente. [10]

2.2.7 Bordes de confinamiento

La estructura del pavimento debe ser delimitada para comprender el funcionamiento correcto del pavimento, por ello los bordes de confinamiento cumplen la función de evitar movimientos laterales de los adoquines, aberturas no deseadas de las juntas de sellado y el desprendimiento de uniones entre adoquines. [11]

2.3 Propiedades Físicas del Pavimento Articulado

Las propiedades físicas del pavimento son el conjunto de características medibles que describen su composición y comportamiento frente a cargas y condiciones ambientales, se puede identificar dichas propiedades mediante ensayos que incluyen aspectos como dimensiones, forma, densidad, peso específico, humedades, desgaste, absorción de agua y textura superficial.

2.3.1 Granulometría

La granulometría determina características de partículas, específicamente en temas de pavimentos es el estudio de la distribución del tamaño de las partículas de los materiales granulares, que están distribuidas en las distintas capas estructurales del pavimento articulado como la cama de arena, base, subbase y subrasante. Los datos obtenidos por la granulometría nos aseguran que los agregados tengan una graduación adecuada, permitiendo una correcta compactación, estabilidad estructural y drenaje eficiente, lo que garantiza que los adoquines se mantengan en una posición adecuada sin que ocurran hundimientos ni desplazamientos dentro de la estructura del pavimento articulado. Una granulometría óptima mejora la capacidad portante y durabilidad.[12]

2.3.2 Límites de Atterberg

2.3.2.1 Límite Liquido

El límite líquido según MTOP se debe usar la norma ASTM D 4318, el cual explica sobre el contenido de agua que mantiene un suelo generalmente arcilloso, y su cambio de un estado plástico a uno líquido, definiendo como el punto límite una muestra de suelo que se cierra después de 25 golpes con el equipo de Casagrande. [13]

2.3.2.2 Límite Plástico

El límite plástico según la norma ASTM D 4318, es un parámetro que determina el contenido mínimo de agua en un suelo de grano fino para que éste adquiera un estado plástico, siendo capaz de deformarse sin que exista rotura.[13]

2.3.2.3 Índice de Plasticidad

El índice de plasticidad según la norma ASTM D 4318, es la medida de la plasticidad de un suelo, calculada como la diferencia entre el límite líquido (LL) y el límite plástico (PL). [13]

2.3.3 Humedad

2.3.3.1 Humedad Natural

La humedad natural de un suelo se define como la relación entre el peso del agua contenida en una muestra de suelo y el peso de sus partículas sólidas, expresada en porcentaje. [14]

2.3.3.2 Humedad Óptima

La humedad óptima es un valor que se obtiene mediante pruebas de ensayos que dependen del tipo de suelo y de la energía de compactación, por medio de estas se puede verificar cual es la condición más eficiente para lograr una mayor densidad seca posible. Según el MTOP se puede obtener mediante ensayos de Proctor estándar o Proctor modificado. [15]

2.3.4 Densidad

2.3.4.1 Densidad Real

Se determina como la relación entre el peso de la muestra de suelo seco y el volumen de sus partículas sólidas, sin incluir el espacio poroso. [16]

2.3.4.2 Densidad Seca Máxima

La densidad seca máxima es la masa de suelo seco por unidad de volumen que un suelo puede alcanzar, por medio de una compactación máxima posible, estos análisis están ligados con los ensayos Proctor, directamente ligado con la humedad optima del suelo. [17]

2.3.4.3 Densidad Natural

La densidad natural se define como la masa total del suelo dividida por el volumen total del suelo, esta influye significativamente en las propiedades de retención de agua de los suelos granulares, así como en la capacidad de carga del suelo, los suelos más densos pueden soportar mayores cargas. [18]

2.3.4.4 Densidad Relativa

Se utiliza principalmente para suelos granulares y no cohesivos. Se calcula como la relación entre el peso unitario seco natural de un suelo y el peso unitario seco máximo, obteniendo en porcentaje el grado de compactación de un suelo en campo. [19]

2.3.5 Absorción en Adoquines

La absorción de adoquines de adoquines se relaciona con las especificaciones técnicas de construcción, la normativa INEN 3040 especifica que el porcentaje de absorción de agua tiene que ser igual o menor al 6%. [20]

2.4 Propiedades Mecánicas del Pavimentos Articulado

Las propiedades físicas del pavimento están relacionadas con la aplicación de fuerzas externas que actúan hacia una elemento, material o estructura, por medio de estas se puede obtener información sobre la capacidad de resistencia, deformación, rotura y desgaste.

2.4.1 Módulo de Rigidez

El módulo de rigidez de un suelo es la deformación que se presenta cuando este se le aplican esfuerzos cortantes. Sin embargo, esta propiedad mecánica del suelo está influenciado por la compactación y la microestructura generada en el suelo.[21]

2.4.2 Módulo de Young

El módulo de Young es utilizado para expresar el comportamiento elástico lineal de un suelo isotrópico, en el cual cada incremento de tensión aplicada causa una deformación proporcional, ofreciéndonos también un coeficiente de Poisson. [22]

2.4.3 Relación de Soporte de California

Esta relación se las puede obtener por medio de un ensayo en laboratorio o un ensayo en campo, para obtener de la resistencia al esfuerzo cortante de una muestra de suelo se debe considerar condiciones de humedad y densidad anteriormente analizadas. Para determinar el porcentaje del CBR de una muestra de suelo, se relaciona la carga unitaria necesaria para producir una penetración en la muestra de suelo dividida para una carga unitaria denominada patrón.[22]

2.4.4 Resistencia en Adoquines

La resistencia en adoquines se relaciona con las especificaciones técnicas de construcción, la normativa [23], especifica que el valor individual de resistencia de un adoquín no debe ser menor a 2.9 MPa y además debe ser igual o superior a los 3.6 Mpa. [20]

2.4.5 Degradación del árido grueso

La degradación del árido grueso es realizada por medio de ensayos en la que se determina la pérdida de masa de los agregados minerales con gradación normalizada, resultante de una combinación de acciones que incluyen abrasión o desgaste, este proceso se lo realiza mediante la máquina de los ángeles.[24]

2.5 Propiedades Hidráulicas del Pavimento Articulado

2.5.1 Infiltración

Se le conoce a la infiltración como el proceso por el cual el agua que está en la superficie de la tierra se introduce hacia el suelo, la tasa de infiltración nos da a conocer la capacidad de absorción ante una precipitación o irrigación. La infiltración se mide en pulgadas por hora o milímetros por hora, si la capacidad es baja es posible que el suelo se sature ocasionando escorrentías. La tasa de infiltración puede medirse usando un infiltrómetro. [25]

2.5.2 Permeabilidad

La permeabilidad según estudios de Darcy es considerando un valor de velocidad, esta velocidad de descarga se define como la cantidad de agua que circula en la unidad de tiempo a través de una superficie unitaria perpendicular a las líneas de filtración. [26]

2.5.3 Coeficiente de escorrentía

La escorrentía es un proceso que se basa en la circulación del agua hacia un punto determinado con la ayuda de la gravedad. En el cálculo de la escorrentía, se aplican coeficientes de escorrentía, que se define como la diferencia entre la cascada y el agua filtrada, teniendo en cuenta el tipo de superficie por el que transcurre el agua. La manera en que se consigue el coeficiente es con la relación del flujo real con el flujo teórico, este valor es adimensional que esta entre 0 y 1.[27].

CAPITULO III METODOLOGÍA

3.1 Diagrama Metodológico

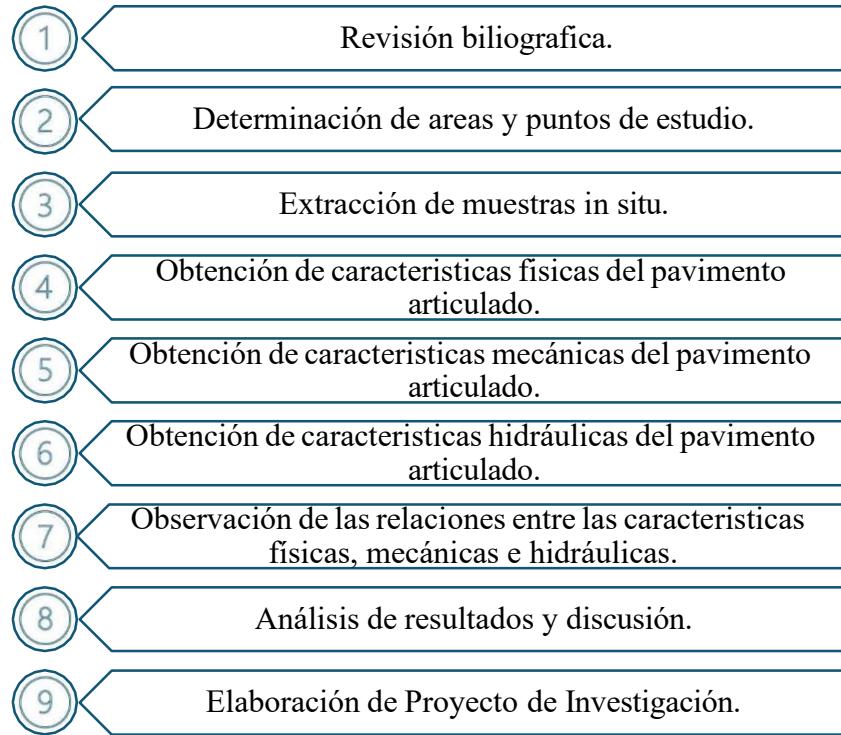


Figura 2. Diagrama de Flujo Metodológico

Fuente: Elaboración Propia

3.2 Tipo de Investigación

El proyecto de investigación tiene un enfoque cuantitativo, ya que tomara de base datos numéricos extraídos mediante ensayos de laboratorios y ensayos in situ, estos se caracterizan por ser resultados obtenidos en condiciones específicas por lo que la objetividad hacia los datos es fundamental para el proyecto.

3.3 Diseño de Investigación

El diseño de investigación es de tipo descriptivo, ya que el proyecto está enfocado al análisis e interpretación de las relaciones entre las características físicas, mecánicas e hidráulicas del pavimento articulado. De esta se comprende el comportamiento de las muestras analizadas, con el objetivo de describirlas y medirlas en situaciones específicas.

3.4 Definición de la Muestra

3.4.1 Población

La población de análisis es determinada mediante un mallado, que cubre calles actuales del año 2025 construidas mediante pavimento articulado, que se encuentran en la parroquia Huachi Grande del cantón Ambato, en la provincia Tungurahua, siendo una extensión aproximada de 1.92 km.

3.4.2 Muestra

Dentro del mallado se determina 7 puntos, las muestras a recolectar son extraídas de la estructura superficial e interna del pavimento articulado, obteniendo la capa de rodadura (adoquín), cama de arena, base granular y subrasante. Sin embargo, se debe tener en cuenta que ciertos puntos no se tendrán todas las muestras por su ausencia.

3.4.3 Tipo de Muestreo

El tipo de muestreo aplicado es sistemático estratificado, este método toma en cuenta dividir la población en estratos con ciertas similitudes, de manera que se pueda ponderar puntos con criterios preestablecidos.

3.4.4 Criterio de Selección

Los criterios de selección se realizan mediante inspección visual, en los cuales se toman en cuenta el estado del pavimento articulado en un punto específico, el estado del entorno que rodea la posible muestra, la accesibilidad y seguridad de extracción de muestras en función de la circulación cotidiana del transporte vehicular.

3.4.5 Ubicación de Muestras

En la siguiente tabla se observan las muestras y sus estados actuales en campo antes de ser extraídos para sus ensayos.

Tabla 1. Ubicación y Caracterización de Muestras

| Imagen Satelital | N | Imagen | Coordenadas | |
|--|---|---|-----------------------|------------|
| | | | WGS_1984_UTM_Zone_17S | |
| | X | Y | | |
|  | 1 |  | 762717.00 | 9854494.00 |
| | 2 |  | 762769.00 | 9855517.00 |
| | 3 |  | 762758.75 | 9855529.35 |
| | 4 |  | 762769.00 | 9855331.00 |
| | 5 |  | 762802.00 | 9855253.00 |
| | 6 |  | 762858.00 | 9855517.00 |
| | 7 |  | 763082.00 | 9854973.00 |

3.5 Procedimientos

3.5.1 Ensayos de laboratorio

3.5.1.1 Granulometría de materiales

La granulometría constituye un procedimiento fundamental para el análisis del tamaño y la distribución de las partículas presentes en los áridos finos y gruesos, a partir de muestras previamente secas. El resultado obtenido permite conocer la proporción relativa de cada fracción que compone el material, lo cual resulta indispensable para su adecuada clasificación y para la evaluación de sus propiedades físicas y mecánicas.[28].

La clasificación de las capas del pavimento articulado se realizó mediante la metodología del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). [29]. Esta clasificación es fundamental para determinar la idoneidad de las capas de base, cama de arena y subrasante, ya que proporciona criterios técnicos para evaluar su estabilidad, capacidad portante y desempeño frente a cargas y condiciones hidráulicas propias del pavimento articulado.

| Criterios para Asignar Símbolos de Grupo y Nombres Mediante Ensayos de Laboratorio | | | | Clasificación | |
|---|---|--|--|---------------|------------------------------|
| | | | | Símbolo | Nombre |
| SUELOS DE GRANO GRUESO Más del 50% retenidos en tamiz del No 200 | Gravas (Más de 50% de fracción gruesa retención en tamiz No. 4) | Gravas Limpias (Menos de 5% finos) | Cu \geq 4 y 1 \leq Cc \leq 3 [Cu < 4 y/o Cc < 1 o Cc > 3] | GW | Grava bien graduada |
| | | Gravas con finos (Mas del 12% finos) | Finos clasificados como ML o MH | GP | Grava mal graduada |
| | | | Finos clasificados como CL o CH | GM | Grava limosa |
| | | Arenas limpias (Menos del 5% finos) | Cu \geq 6 y 1 \leq Cc \leq 3 [Cu < 6 y/o Cc < 1 o Cc > 3] | GC | Grava arcillosa |
| | Arenas (50% o más de fracción gruesa que para tamiz No. 4) | Arenas con finos (Más del 12% finos) | Finos clasificados como ML o MH | SW | Arena bien graduada |
| | | | Finos clasificados como CL o CH | SP | Arena mal graduada |
| | | | | SM | Arena Limosa |
| | | | | SC | Arena arcillosa |
| SUELOS DE GRAN FINO 50% o más que pasa tamiz No. 200 | Limos y arcillas Limite líquido menor a 50 | inorgánicas | PI > 7 y gráficas en o sobre linea "A" | CL | Arcilla baja plasticidad |
| | | | PI < 4 o gráficas debajo de linea "A" | ML | Limo |
| | | orgánicas Limos y arcillas Limite líquido det 50 o más | Limite Líquido - seca al horno < 0.75 Limite líquido - no al horno < 0.75 | OL | Arcilla orgánica/Limos Org. |
| | | | Gráficas PI en o sobre "A" | CH | Arcilla con alta plasticidad |
| | | | Gráficas PI debajo la linea "A" | MH | Limo elástico |
| | | | Limite Líquido - seca al horno < 0.75 Limite líquido - no al horno < 0.75 | OH | Arcilla orgánica/Limos Org. |
| | | | | PT | Turba |
| | | | | | |
| SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS Principalmente materia orgánica, de color obscure, olor orgánico | | | | | |

Figura 3. Clasificación de Suelos (SUCS)

Fuente: [29]

3.5.1.2 Límites de Atterberg

3.5.1.2.1 Limite Liquido

Este ensayo permite determinar el contenido de agua de un suelo en el estado de transición entre el límite líquido y el límite plástico, empleando para ello el dispositivo mecánico denominado Copa de Casagrande. Mediante este procedimiento se establece la fluidez del suelo bajo condiciones normalizadas, registrando el número de golpes necesarios para el cierre de la ranura practicada en la muestra. De esta manera, se obtiene un parámetro fundamental para la clasificación y caracterización de los suelos, ya que refleja su consistencia y comportamiento frente a variaciones de humedad.[30]

3.5.1.2.2 Limite Plástico

Este ensayo permite determinar el contenido de agua de un suelo en el límite entre su comportamiento plástico y sólido, para lo cual se utiliza el proceso de rolado, mediante el cual se evapora gradualmente el agua hasta que el material comienza a fisurarse o disgregarse.[31]

3.5.1.3 Compactación Proctor modificado

Este ensayo implica la compactación en laboratorio para determinar la densidad máxima seca y la humedad optima de los suelos compactados en un molde de 4 o 6 pulgadas, con un martillo que se deja caer a una altura de 18 pulgadas, produciendo una energía de compactación de 2700 kNm/m³.[32]

3.5.1.4 Densidad y absorción del agregado fino

Este ensayo permite determinar la densidad promedio en una muestra de árido fino (sin incluir el volumen de vacíos entre partículas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del árido.[33]

3.5.1.5 Densidad y absorción del agregado grueso

Este ensayo permite determinar la densidad promedio de una muestra de árido grueso (sin incluir el volumen de vacíos entre partículas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del árido.[34]

3.5.1.6 Degradación de los agregados gruesos mediante el uso de la máquina de los Ángeles.

En este ensayo práctico se determina la pérdida de masa de los agregados gruesos con gradación normalizada, resultante de la combinación de acciones que incluyen la abrasión o desgaste, el impacto y la molienda en un tambor giratorio de acero que contiene un número específico de esferas de acero. A medida que gira el tambor crea un efecto de impacto y trituración y como resultado se obtiene el valor de la degradación de la masa por desgaste e impacto.[24]

3.5.1.7 Ensayo de Resistencia a la Compresión de Adoquines

Este ensayo se fundamenta en la normativa [23] y consiste en la toma de 10 muestras que atraviesan cuatro fases de evaluación.

- Preparación de muestra: curado, secado, toma de dimensiones.
- Configuración en la prensa: se coloca soportes en la cara superior e inferior, de esta manera se puede aplicar una precarga hasta obtener un contacto para un correcto posicionamiento.
- Aplicación de carga: se aplica una carga de manera incrementada y controlada con una velocidad constante hasta que el adoquín falle.
- Registro de datos: se toma la carga máxima de al menos 10 muestras para obtener un promedio general de un área en específico.

3.5.2 Ensayos in situ

3.5.2.1 Elasticidad y rigidez in situ- Método “Geo Gauge”

Este método en general permite medir directamente las propiedades mecánicas de los suelos, como el módulo de Young y el módulo de rigidez. Aplicando una fuerza oscilante a la superficie del suelo, la misma que mide la respuesta vibratoria, obteniendo la densidad del suelo y la reacción de la subrasante.[35]

A continuación, se puede apreciar los elementos que conforma el equipo de GeoGauge:

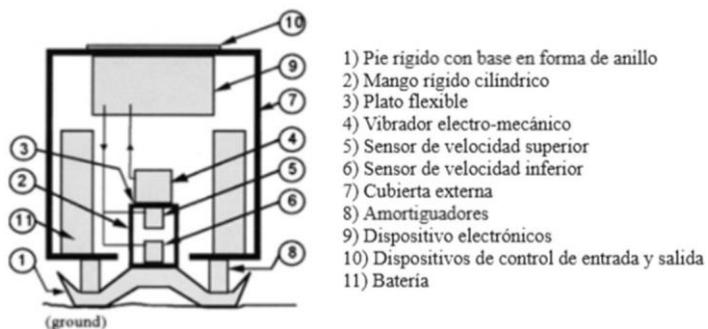


Figura 4. Partes de Equipo GeoGauge

Fuente: Adaptado [35]

La metodología utilizada para obtener las propiedades mecánicas del suelo mediante el equipo GeoGauge incluye los siguientes pasos:

- Revisión del equipo con el fin de verificar que se encuentre en condiciones óptimas de funcionamiento y apto para su respectiva utilización.
- Limpieza y nivelación de la superficie a ensayar

- Asentamiento del equipo en la superficie nivelada, asegurando que no esté en contacto con ningún objeto extraño y encendido del equipo “ON”
- Registro de datos mediante la activación del botón “Measure”, el proceso tarda alrededor de 60 segundos.
- Visualización de los valores del ruido ambiental (Snr), la desviación estándar (Sd) y el módulo de rigidez y módulo de Young.
- Almacenamiento de datos mediante la activación del botón “Save” y limpieza del equipo.

3.5.2.2 Densidad in situ-Método del cono de arena

El ensayo permite determinar la densidad en campo y peso unitario de los suelos intactos o in situ, mediante un aparato denominado cono de arena, siempre que el vacío natural o las aberturas de los poros en el suelo sean lo suficientemente pequeños para evitar que la arena utilizada penetre en esos vacíos.[36]

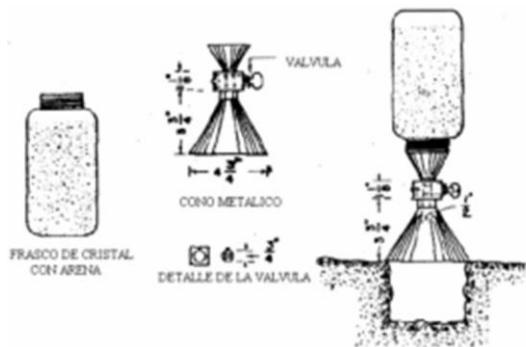


Figura 5. Partes Equipo Cono de Arena

Fuente: [37]

El proceso para realización del ensayo cono de arena es el siguiente:

- Revisión del equipo con el fin de verificar que esté en buenas condiciones para la utilización.
- Proceder con el llenado del contenedor del cono de arena previamente acondicionada, para la cual se ha determinado su densidad aparente.
- Preparación de la superficie a ensayar, de manera que sea plana y nivelada.
- Colocación de la placa base en la superficie nivelada, asegurándose que haya contacto con la superficie del suelo alrededor del borde del orificio.
- Excavación del orificio de prueba, asegurándose que el orificio sea de forma regular y paredes limpias.
- Depositar en un recipiente el suelo extraído, teniendo en cuenta que no se pierda la humedad natural, para determinar la masa seca del suelo.

- Colocar cuidadosamente el contenedor sobre la placa base alineando el orificio del cono con el de la arena y abrir la válvula para permitir que fluya la arena y llene el orificio excavado.
- Pesar la cantidad de la arena restante para calcular la cantidad de arena en el orificio.
- Determinar el volumen del hueco a partir de la masa de arena vertida y la densidad aparente previamente establecida.

3.5.2.3 Infiltración y escurrimiento – Método del infiltrometro de doble anillo

Esta metodología se basa en la normativa [38], sin embargo, fue necesario adaptarla a las condiciones propias del estudio en campo sobre pavimentos articulados. Dicho procedimiento permite medir en campo la tasa de infiltración de líquidos en suelos utilizando el infiltrometro de doble anillo.

A continuación, se describen las características del equipo utilizado en la ejecución del ensayo:



Figura 6. Colocación de Silicona en Anillos

Fuente: Elaboración Propia

- El cilindro de doble anillo está diseñado en acero galvanizado, con un espesor nominal de 1.5 mm.
- El cilindro presenta un diámetro interior de 25 cm y un diámetro exterior de 45 cm, contando con una altura total de 20 cm hasta el borde superior.
- Sellos de caucho impermeabilizante con refuerzo metálicos (burletes), debido a su facilidad de adaptación y ajuste al contorno circular de la base del equipo.
- Crucetas en acero galvanizados ubicadas en la parte superior del cilindro.

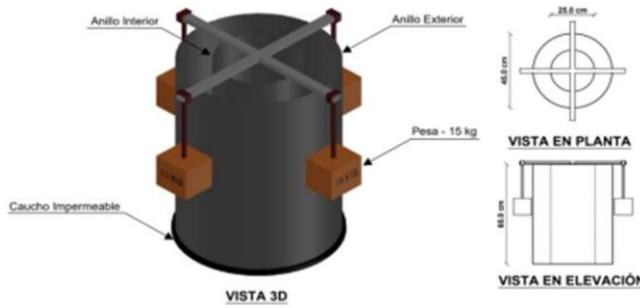


Figura 7. Partes Equipo de Infiltrometro

Fuente: [39]

La metodología para realizar el ensayo es el siguiente:

- Limpieza de la zona en donde se va a ensayar.
- Se coloca el caucho en la parte inferior del borde del anillo con su respectiva silicona y dejar secar un tiempo adecuado
- Colocar el infiltrometro en la zona de estudio y sellar los bordes inferiores con silicona blanca, tomar en cuenta el tiempo de secado de la silicona para evitar fugas de agua.
- En los extremos de la cruceta ubicada en la parte superior del infiltrometro se colocaron contrapesos de 15 kg, con el propósito de ejercer presión sobre el pavimento y de esta manera evitar posibles fugas de agua laterales.
- Llenar parcialmente con agua en los anillos y se registra el descenso del agua en intervalos de tiempo hasta que descenso del agua sea casi nula.
- Finalmente obteniendo la proporción de infiltración mediante la comparación del agua infiltrada con el volumen inicial y el volumen residual determina el índice de escorrentía.

3.5.2.4 Estimación del CBR

Para la estimación del CBR a partir de los datos obtenidos con el equipo GeoGauge, en los puntos evaluados del pavimento articulado se emplearon las siguientes ecuaciones:

[40], en colaboración con el Departamento de Transporte y Desarrollo de Carreteras de Luisiana, desarrollaron una ecuación para estimar el CBR a partir de la utilización del equipo GeoGauge, en donde el CBR se expresa en porcentaje (%) y la rigidez (KG) en MN/m, valores obtenidos directamente del equipo.

$$CBR = 0.0039 * (8.672 * Kg)^2 - 5.75 \quad [1]$$

[41], tras realizar el estudio en la cantera San Joaquín en la provincia de Cotopaxi, estableció una correlación entre los valores de CBR y Modulo resiliente obtenidos mediante el instrumento. Dicha correlación se expresa a través de la siguiente ecuación, en la que el módulo resiliente debe indicarse en (psi)

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

[42], presentan una ecuación para la caracterización de suelos con contenidos de arena, arcilla y limo, en donde el CBR obtenido en campo sirve como referencia para el mejoramiento de suelos, y el valor obtenido del módulo resiliente debe expresarse en Mpa.

$$E_G = 10 * CBR^{0.73} \quad [3]$$

Según [43], es posible estimar el CBR a partir de los ensayos de las cargas dinámicas aplicadas en la ecuación [4], donde el CBR se expresa en (%) y el módulo de elasticidad en (Kg/cm²).

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

CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Propiedades Físicas del Pavimento Articulado

4.1.1 Granulometría

En las tablas 2, 3 y 4 presentan un resumen de los valores obtenidos en el ensayo de las muestras (M) de la granulometría, junto a la clasificación según el sistema SUCS, aplicado a los extractos Base Arena, Base Granular y Sub rasante.

Tabla 2. Resumen del ensayo granulometría Base Arena.

| Tamiz ASTM | Abertura del Tamiz [mm] | M1_Pasa [%] | M2_Pasa [%] | M3_Pasa [%] | M4_Pasa [%] | M5_Pasa [%] | M6_Pasa [%] | M7_Pasa [%] | Material |
|------------------------------------|-------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------|
| 1 1/2" | 38.1 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | Grava |
| 1" | 25.4 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | gruesa |
| 3/4" | 19 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | |
| 1/2" | 12.5 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 99.45 | 99.56 | 99.46 | | Grava fina |
| 3/8" | 9.5 | 100.00 | 99.48 | 99.60 | 97.35 | 97.84 | 97.84 | 97.96 | |
| No. 4 | 4.75 | 99.43 | 97.23 | 97.60 | 89.50 | 88.20 | 88.25 | 90.61 | Arena |
| No. 10 | 2 | 80.28 | 77.67 | 79.45 | 72.70 | 74.08 | 74.81 | 80.09 | gruesa |
| No. 40 | 0.425 | 31.45 | 34.64 | 36.63 | 33.66 | 38.58 | 41.24 | | Arena fina |
| No. 100 | 0.15 | 7.85 | 7.01 | 7.36 | 5.44 | 7.75 | 9.73 | 13.29 | |
| No. 200 | 0.075 | 3.30 | 1.41 | 1.15 | 1.03 | 1.22 | 3.47 | 2.07 | Finos |
| Coeficiente de Uniformidad (Cu) | | 6.37 | 6.31 | 6.01 | 6.81 | 6.69 | 6.67 | 5.64 | |
| Coeficiente de Curvatura (Cc) | | 0.92 | 0.72 | 0.69 | 0.64 | 0.58 | 0.56 | 0.67 | |
| Clasificación SUCS | | SP | SP | SW | SP | SP | SP | SP | |

Tabla 3. Resumen de ensayo de granulometría Base Granular.

| Tamiz ASTM | Abertura del Tamiz [mm] | M1_Pasa [%] | M2_Pasa [%] | M3_Pasa [%] | M4_Pasa [%] | M5_Pasa [%] | M6_Pasa [%] | M7_Pasa [%] | Material |
|---------------------------------|-------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| 1 1/2" | 38.1 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | - | 100.00 | - | 89.80 | Grava gruesa |
| 1" | 25.4 | 97.70 | 96.96 | 98.35 | - | 99.17 | - | 81.28 | |
| 3/4" | 19 | 92.59 | 93.15 | 93.53 | - | 90.94 | - | 68.51 | |
| 1/2" | 12.5 | 78.46 | 78.68 | 87.10 | - | 85.13 | - | | Grava fina |
| 3/8" | 9.5 | 67.91 | 70.64 | 83.12 | - | 76.10 | - | 57.01 | |
| No. 4 | 4.75 | 50.01 | 48.94 | 70.28 | - | 65.40 | - | 47.77 | Arena |
| No. 10 | 2 | 39.66 | 35.38 | 51.88 | - | 44.05 | - | 38.77 | gruesa |
| No. 40 | 0.425 | 16.77 | 12.49 | 27.84 | - | 18.99 | - | | Arena fina |
| No. 100 | 0.15 | 3.81 | 5.58 | 8.71 | - | 4.24 | - | 5.28 | |
| No. 200 | 0.075 | 1.28 | 4.24 | 1.91 | - | 1.28 | - | 1.62 | Finos |
| Coeficiente de Uniformidad (Cu) | | | | | | | | | |
| | | 28.35 | 23.15 | 18.21 | - | 16.94 | - | 58.01 | |
| Coeficiente de Curvatura (Cc) | | | | | | | | | |
| | | 0.63 | 0.98 | 0.51 | - | 0.82 | - | 0.36 | |
| Clasificación SUCS | | SP | GP | SP | - | SP | - | GP | |
| Clase 1, tipo | | | Clase 1, tipo | | | Clase 2, tipo | | Clase 1, tipo | |
| Base Tipo | | B | B | B | - | B | - | A | |

Tabla 4. Resumen del ensayo granulométrico Sub rasante.

| Tamiz ASTM | Abertura del Tamiz [mm] | M1_Pasa [%] | M2_Pasa [%] | M3_Pasa [%] | M4_Pasa [%] | M5_Pasa [%] | M6_Pasa [%] | M7_Pasa [%] | Material |
|------------------------------------|-------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| 1 1/2" | 38.1 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | Grava gruesa |
| 1" | 25.4 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | |
| 3/4" | 19 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | |
| 1/2" | 12.5 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | Grava fina |
| 3/8" | 9.5 | 100.00 | 99.19 | 99.68 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 99.23 | |
| No. 4 | 4.75 | 90.26 | 92.14 | 91.02 | 97.55 | 98.64 | 98.79 | 92.03 | Arena |
| No. 10 | 2 | 54.25 | 69.70 | 75.22 | 91.31 | 96.74 | 93.53 | 67.28 | gruesa |
| No. 40 | 0.425 | 12.48 | 30.25 | 32.65 | 44.00 | 82.42 | 67.66 | | Arena fina |
| No. 100 | 0.15 | 5.11 | 8.92 | 10.22 | 15.85 | 22.50 | 29.23 | 4.88 | |
| No. 200 | 0.075 | 1.42 | 2.44 | 1.72 | 4.37 | 5.45 | 9.60 | 1.94 | Finos |
| Coeficiente de Uniformidad (Cu) | | 7.67 | 8.64 | 7.81 | 6.81 | 3.19 | 4.54 | 7.93 | |
| Coeficiente de Curvatura (Cc) | | 0.96 | 0.82 | 0.83 | 0.85 | 1.12 | 0.89 | 0.77 | |
| Clasificación SUCS | | SW | SP | SP | SP | SP-SM | SP-SM | SP | |

A continuación, se presenta las gráficas de las curvas granulométricas de las 7 muestras analizadas de Base (Arena, Granular) y Sub rasante.

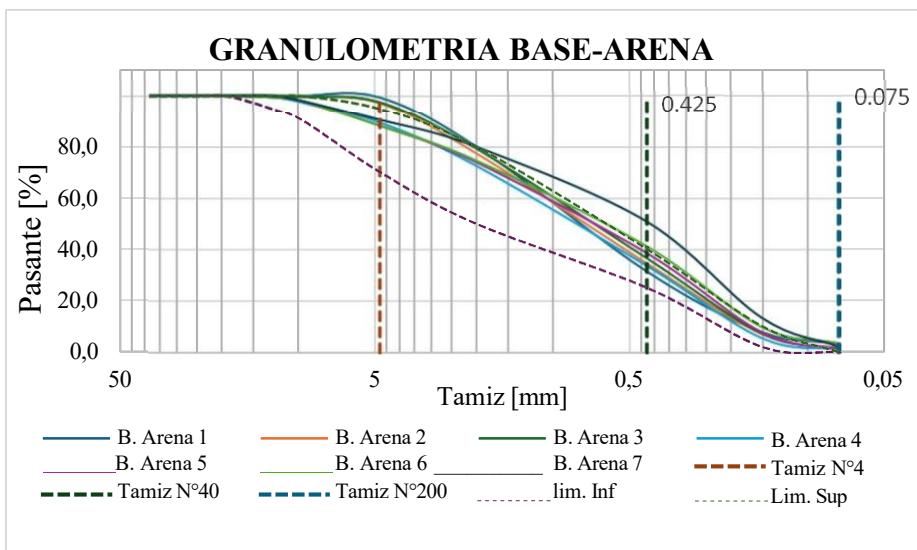


Figura 9. Curvas granulométricas de la Base Arena.

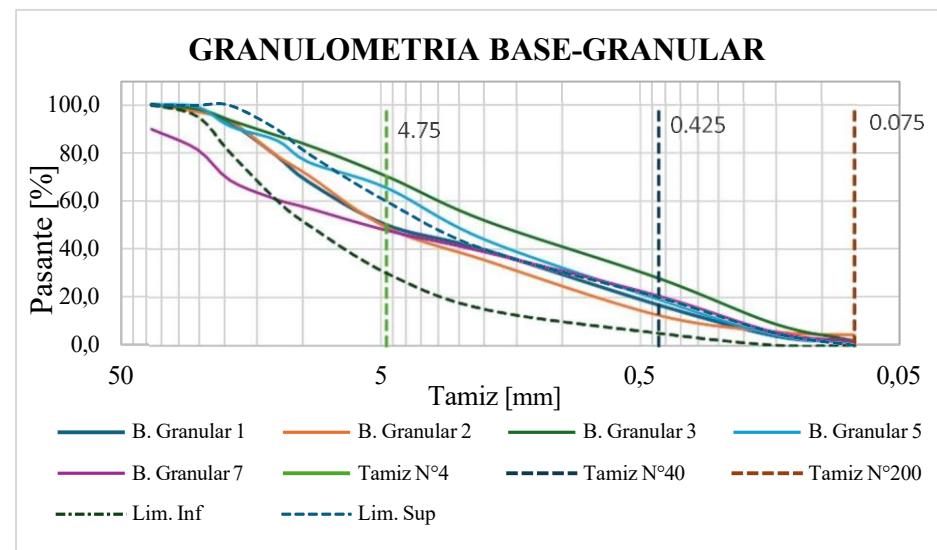


Figura 8. Curvas granulométricas de la Base Granular.

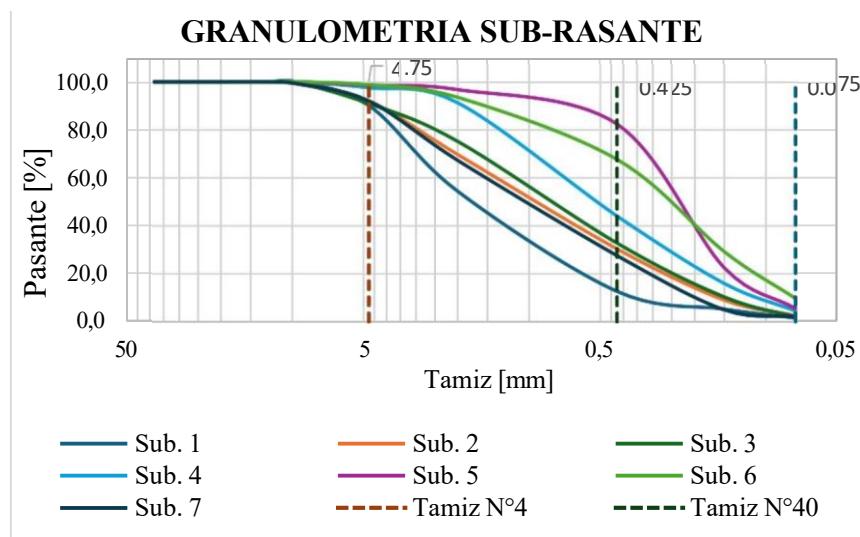


Figura 10. Curvas granulométricas de la Subrasante.

En la **Figura 9.** Curvas granulométricas de la Base Arena, se puede observar las muestras desde M1 a M7, a pesar de que la muestra M7 supera ligeramente el límite superior, la mayoría de las muestras se encuentran dentro del rango permitido por la normativa [44], lo que indica una adecuada graduación del material. La mayor parte del material se encuentra entre los tamices N°4 y N°200, lo que evidencia que es una arena pobremente gradada con bajo contenido de finos.

En cuanto al análisis granulométrico que se presenta en la **Tabla 2.** Resumen del ensayo granulometría Base Arena, se puede evidenciar que todas las muestras analizadas (M1 a M7) corresponden al grupo SP (Arenas pobremente gradadas), con excepción de la muestra M3 que corresponde SW (Arena bien gradada). Estos resultados demuestran la presencia de un 5% de finos, lo que clasifica a los suelos como limpios, sin influencia significativa de limos o arcillas.

En la **Figura 8.** Curvas granulométricas de la Base Granular, se puede observar las muestras M1 a M7, en donde, la mayoría de las muestras se ubican dentro de los límites establecidos en la normativa [44]. El comportamiento general de las curvas sugiere que el material posee una granulometría bien graduada, con una transición continua entre gravas, arenas y finos, característica deseable para lograr una base estable y resistente.

Del al análisis de la **Tabla 3.** Resumen de ensayo de granulometría Base Granular, se observa que los materiales se clasifican mayoritariamente como Clase 1, Tipo A o B, lo que los identifica como materiales granulares de buena calidad, aptos para conformar capas estructurales de base o subbase en pavimentos. En particular, las muestras M1, M2, M3 y M7, clasificadas como Clase 1, cumplen con los requisitos granulométricos y de resistencia establecidos para materiales de alta calidad estructural, recomendándose su uso en bases granulares. En cambio, la muestra M5, catalogada como Clase 2, Tipo B, presenta una gradación más deficiente, siendo más adecuada para subbases o rellenos estructurales donde las exigencias mecánicas son menores.

Cabe destacar que en los puntos correspondientes a las muestras 4 y 6, no se identificó la presencia del estrato granular. En dichas muestras, el perfil estratigráfico evidenció únicamente la existencia de la capa de base arena y la subrasante, lo que indica la ausencia de la capa granular dentro de la estructura del pavimento en esos puntos.

En cuanto a la gráfica de las curvas de las subrasantes que se presenta en la **Figura 10**. Curvas granulométricas de la Subrasante, se puede evidenciar que las muestras presentan una gran proporción de finos, con más del 50 % pasando el tamiz N°10 (2 mm) en casi todas ellas. Lo que significa que el material contiene principalmente arenas limpias y de granulometría variada, clasificadas dentro de los grupos SW, SP y SP-SM. En términos generales, se trata de suelos granulares con predominio de fracciones arenosas y un bajo contenido de finos (menor al 10%), lo que les confiere un comportamiento típicamente no cohesivo, drenante y de alta permeabilidad.

4.1.2 Límites de Atterberg

En las siguientes tablas se muestra un resumen de los resultados obtenido mediante el ensayo de Límites de Atterberg, los cuales nos da resultados de límite líquido y presencia de plasticidad.

Tabla 5 Límites de Atterberg Base Cama de Arena de Pavimento Articulado.

| BASE CAMA DE ARENA DE PAVIMENTO ARTICULADO | | | | |
|---|-----------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| | Limite Líquido (%) | Límite Plástico (%) | Índice de Plasticidad (%) | Presencia de Plasticidad |
| M1 | 19.10% | - | - | NO |
| M2 | 17.77% | - | - | NO |
| M3 | 17.89% | - | - | NO |
| M4 | 17.11% | - | - | NO |
| M5 | 17.62% | - | - | NO |
| M6 | 17.38% | - | - | NO |
| M7 | 18.03% | - | - | NO |

Tabla 6 Límites de Atterberg Base Granular de Pavimento Articulado.

| BASE GRANULAR DE PAVIMENTO ARTICULADO | | | | |
|--|-----------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| | Limite Líquido (%) | Límite Plástico (%) | Índice de Plasticidad (%) | Presencia de Plasticidad |
| M1 | 17.01% | - | - | NO |
| M2 | 16.81% | - | - | NO |
| M3 | 16.83% | - | - | NO |
| M4 | 0.00% | - | - | NO |
| M5 | 16.92% | - | - | NO |
| M6 | 0.00% | - | - | NO |
| M7 | 16.87% | - | - | NO |

Tabla 7 Límites de Atterberg Sub rasante de Pavimento Articulado.

| SUB-RASANTE DE PAVIMENTO ARTICULADO | | | | |
|--|-----------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| | Limite Líquido (%) | Límite Plástico (%) | Índice de Plasticidad (%) | Presencia de Plasticidad |
| M1 | 22.35% | - | - | NO |
| M2 | 22.19% | - | - | NO |
| M3 | 21.80% | - | - | NO |
| M4 | 20.87% | - | - | NO |
| M5 | 23.21% | - | - | NO |
| M6 | 21.78% | - | - | NO |
| M7 | 22.13% | - | - | NO |

En la **Tabla 5** Límites de Atterberg Base Cama de Arena de Pavimento Articulado y **Tabla 6** Límites de Atterberg Base Granular de Pavimento Articulado, identificamos valores similares, donde esta solamente la presencia del límite líquido ya que al ser la base cama de arena y base granular nos encontramos con material mayormente arenoso, los suelos con este tipo de material se caracterizan por granulares y no cohesivos, lo que significa las partículas pueden deslizarse una sobre otra experimentando una fricción entre ellas, obteniendo un comportamiento de organización entre partículas sin llegar al estado plástico, con ello obteniendo una falta de presencia de plasticidad.

En la **Tabla 7** Límites de Atterberg Sub rasante de Pavimento Articulado, se puede observar ya valores un tanto más alto en referencia a las anteriores capas, sin embargo, no tienen un alza significativa, por lo tanto, tampoco llegan a estar en un comportamiento de estado plástico.

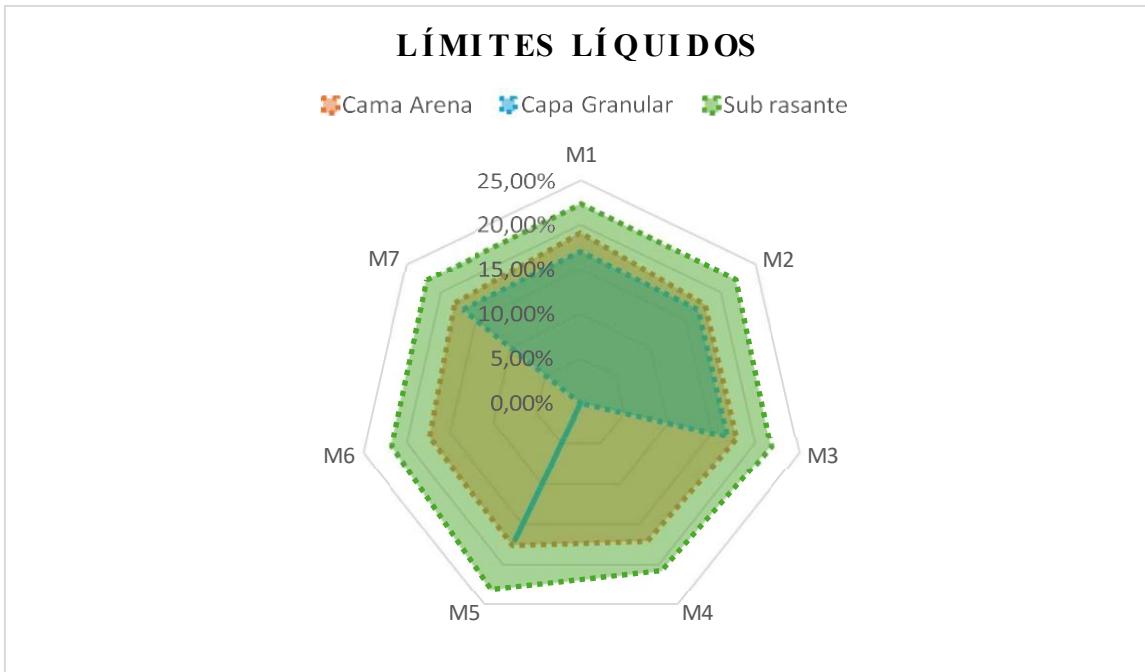


Figura 11 Comparación Límite Líquido de Capas.

En la **Figura 11** Comparación Límite Líquido de Capas, se puede observar la cercanía de los datos de las capas analizadas, encontrándose entre valores del 15% al 20% para las capas cama de arena y granular y valores de 20% al 25% en la capa sub rasante.

4.1.3 Compactación Proctor Modificado

En las tablas 8, 9 y 10 se presentan el resumen de los resultados obtenidos del ensayo de la compactación Proctor para las capas Base-Arena, Base-Granular y la Subrasante respectivamente. En dichas tablas se reportan la humedad óptima (%) y la densidad máxima seca (T/m^3) para las 7 muestras analizadas.

Tabla 8. Resumen del ensayo Proctor Modificado de la Base Arena

| BASE CAMA DE ARENA DE PAVIMENTO ARTICULADO | | |
|--|--------------------|--|
| Muestra | Humedad Óptima [%] | Densidad Óptima Seca [T/m ³] |
| M1 | 10.56% | 1.937 |
| M2 | 10.64% | 1.883 |
| M3 | 10.66% | 1.869 |
| M4 | 10.87% | 1.863 |
| M5 | 10.70% | 1.844 |
| M6 | 10.81% | 1.894 |
| M7 | 10.73% | 1.948 |

Los resultados de los ensayos de compactación de la base de cama de arena muestran humedades óptimas entre 10.56 % y 10.87 %, y densidades secas máximas entre 1.844 y 1.948 T/m³. Estos valores indican un material granular con bajo contenido de finos, que requiere poca agua para alcanzar su máxima densificación.

Las densidades secas elevadas reflejan una buena compactabilidad y estabilidad estructural, adecuadas para soportar las cargas del pavimento articulado. En particular, las muestras M1, M6 y M7 presentan los valores más altos, evidenciando mejor comportamiento mecánico. En conjunto, los resultados confirman que el material cumple con las condiciones necesarias para garantizar una cama de arena densa, estable y duradera.

Tabla 9. Resumen del ensayo Proctor Modificado de la Base Granular.

| BASE GRANULAR DE PAVIMENTO ARTICULADO | | |
|--|---------------------------|---|
| Muestra | Humedad Óptima [%] | Densidad Óptima Seca [T/m³] |
| M1 | 10.05% | 1.944 |
| M2 | 10.05% | 1.939 |
| M3 | 10.09% | 1.904 |
| M4 | - | - |
| M5 | 10.11% | 1.889 |
| M6 | - | - |
| M7 | 10.02% | 1.967 |

Los resultados obtenidos en la base granular del pavimento articulado muestran humedades óptimas entre 10.02 % y 10.11 % y densidades secas máximas entre 1.889 y 1.967 T/m³, valores característicos de materiales granulares bien graduados con buena capacidad de compactación. Las densidades más altas, especialmente en las muestras M1 y M7, evidencian una mayor estabilidad y soporte estructural, adecuados para garantizar el correcto desempeño del pavimento articulado.

Tabla 10. Resumen del ensayo Proctor Modificado realizado en las Subrasantes.

| SUB-RASANTE DE PAVIMENTO ARTICULADO | | |
|--|---------------------------|---|
| Muestra | Humedad Óptima [%] | Densidad Óptima Seca [T/m³] |
| M1 | 16.21% | 1.583 |
| M2 | 16.23% | 1.575 |
| M3 | 15.82% | 1.610 |
| M4 | 15.91% | 1.580 |
| M5 | 15.88% | 1.589 |
| M6 | 16.16% | 1.604 |
| M7 | 15.86% | 1.597 |

Los resultados obtenidos para la subrasante del pavimento articulado presentan humedades óptimas entre 15.82 % y 16.23 % y densidades secas máximas entre 1.575 y 1.610 T/m³, valores que corresponden a suelos finos con moderada plasticidad, típicos de materiales de subrasante natural o mejorada. Estos resultados indican una capacidad de soporte media, adecuada para estructuras de pavimento liviano como los adoquinados, siempre que se garantice una buena compactación y drenaje para evitar pérdidas de capacidad portante por saturación.

En las siguientes figuras se muestran las curvas de compactación de las capas base cama de arena, base granulares y subrasante respectivamente.

CURVA DE COMPACTACION BASE CAMA DE ARENA

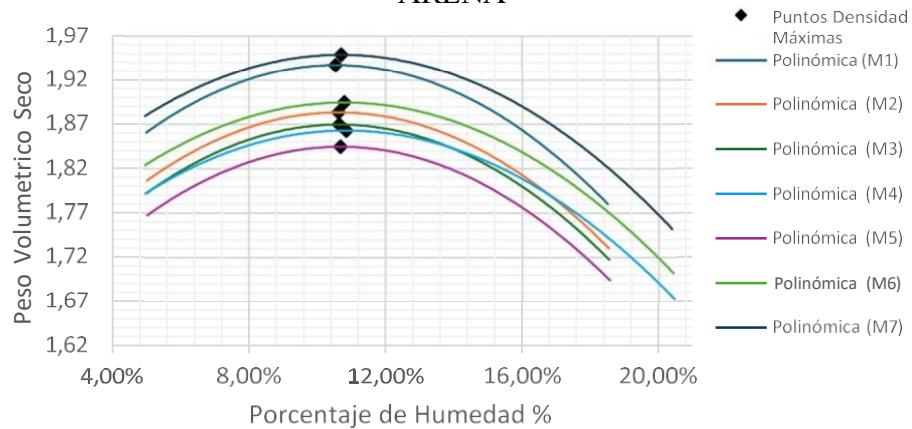


Figura 13. Curva de compactación base cama de arena.

CURVA DE COMPACTACION BASE GRANULAR

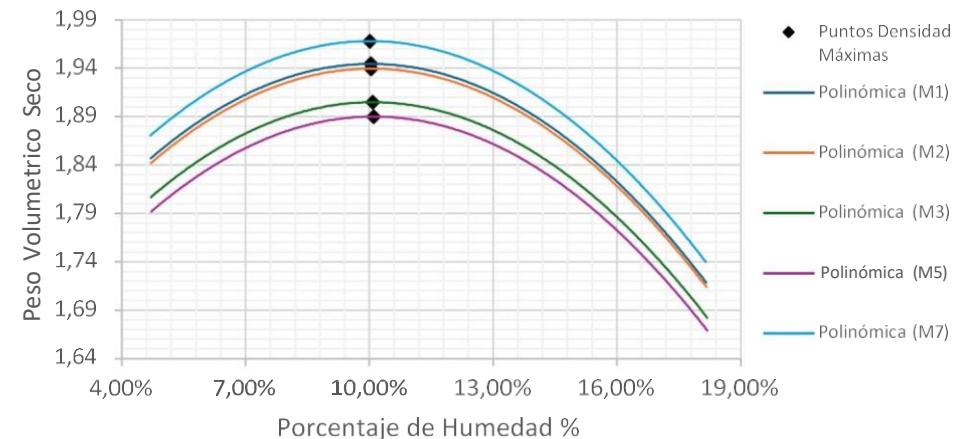


Figura 12. Curva compactación base granular.

CURVA DE COMPACTACION SUBRASANTE

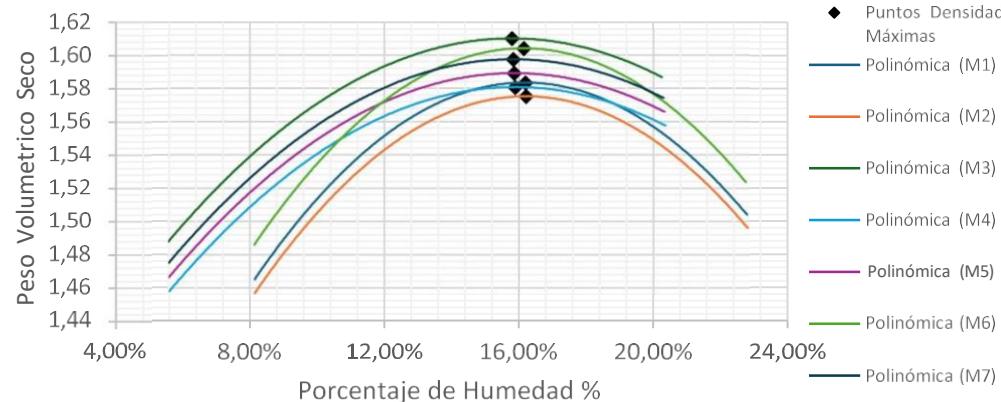


Figura 14. Curva Compactación Subrasante.

4.1.4 Densidades

En las tablas 11, 12 y 13 se presentan los resultados de densidad obtenidos mediante la aplicación de distintos ensayos. Para ello, se utilizó el ensayo de Proctor modificado, el cual permitió determinar la densidad seca máxima de compactación bajo condiciones controladas de laboratorio, considerando el contenido óptimo de humedad. Así mismo, se aplicó el ensayo de cono y arena para obtener la densidad seca de compactación in situ, lo que permite evaluar el grado de compactación alcanzado en campo y su conformidad con los criterios de diseño y especificaciones normativas.

Tabla 11. Resumen de resultados de las densidades de la Base Arena.

| BASE ARENA PAVIMENTO ARTICULADO | | |
|--|---------------|---------|
| Densidades [gr/cm³] | | |
| Muestra | Cono de Arena | Proctor |
| M1 | 1.442 | 1.937 |
| M2 | 1.496 | 1.883 |
| M3 | 1.489 | 1.869 |
| M4 | 1.439 | 1.863 |
| M5 | 1.389 | 1.844 |
| M6 | 1.480 | 1.894 |
| M7 | 1.486 | 1.948 |

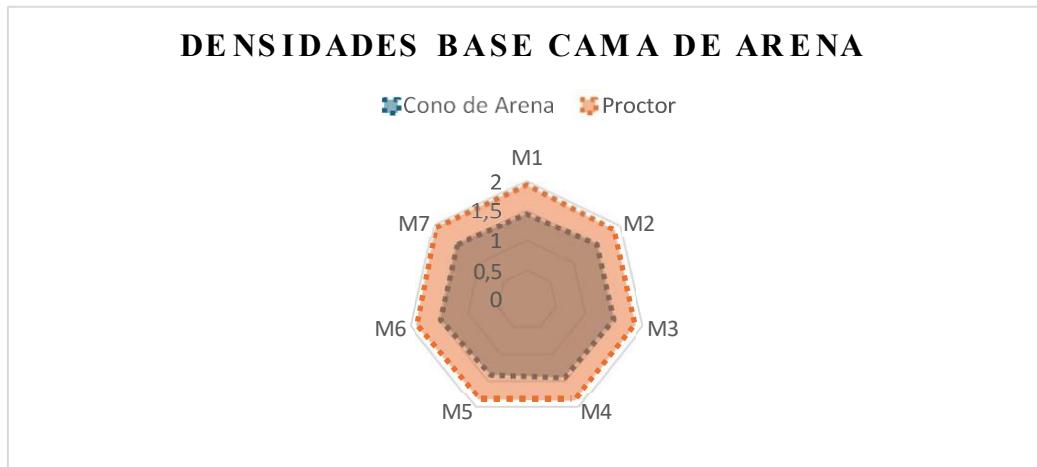


Figura 15. Comparación Densidades Base Arena.

En la **Tabla 11.** Resumen de resultados de las densidades de la Base Arena, se muestran valores de la densidad in situ (Cono de Arena) entre 1.389 y 1.496 g/cm³, mientras que las densidades máximas del Proctor varían de 1.844 a 1.948 g/cm³. Al comparar ambos en la **Figura 15.** Comparación Densidades Base Arena, se observa que las densidades de campo representan entre el 75 % y 81 % de la densidad máxima, lo que indica una compactación moderada, aún por debajo del rango óptimo recomendado ($\geq 95\%$) para capas estructurales. Esto sugiere la necesidad de mejorar los procedimientos de compactación o controlar la humedad durante la ejecución, con el fin de garantizar la estabilidad y capacidad de soporte de la cama de arena del pavimento articulado.

Tabla 12. Resumen de resultados de las densidades de la Base Granular.

| BASE GRANULAR PAVIMENTO ARTICULADO | | |
|------------------------------------|----------------------------------|---------|
| Muestra | Densidades [gr/cm ³] | |
| | Cono de Arena | Proctor |
| M1 | 1.588 | 1.944 |
| M2 | 1.719 | 1.939 |
| M3 | 1.654 | 1.904 |
| M4 | - | - |
| M5 | 1.546 | 1.889 |
| M6 | - | - |
| M7 | 1.588 | 1.967 |

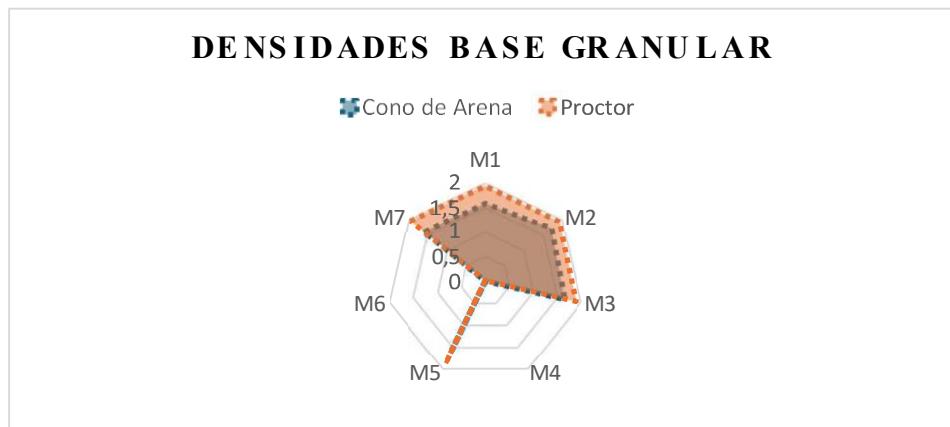


Figura 16. Comparación Densidades Base Granular.

Los resultados de densidad de la **Tabla 12.** Resumen de resultados de las densidades de la Base Granular, muestran valores de campo (Cono de Arena) entre 1.546 y 1.719 g/cm³, frente a densidades máximas Proctor de 1.889 a 1.967 g/cm³, mediante la **Figura 16.** Comparación Densidades Base Granular, se puede visualizar un acercamiento entre los valores de densidades, alcanzando aproximadamente entre el 80 % y 88 % de compactación. Esto evidencia una buena

compactación, aunque aún se recomienda optimizar el control de humedad y energía aplicada para asegurar una densificación uniforme.

Tabla 13. Resumen de resultados de las densidades de la subrasante.

| SUB-RASANTE PAVIMENTO ARTICULADO | | |
|----------------------------------|----------------------------------|---------|
| Muestra | Densidades [gr/cm ³] | |
| | Cono de Arena | Proctor |
| M1 | 1.427 | 1.583 |
| M2 | 1.463 | 1.575 |
| M3 | 1.48 | 1.61 |
| M4 | 1.431 | 1.58 |
| M5 | 1.441 | 1.589 |
| M6 | 1.501 | 1.604 |
| M7 | 1.445 | 1.597 |

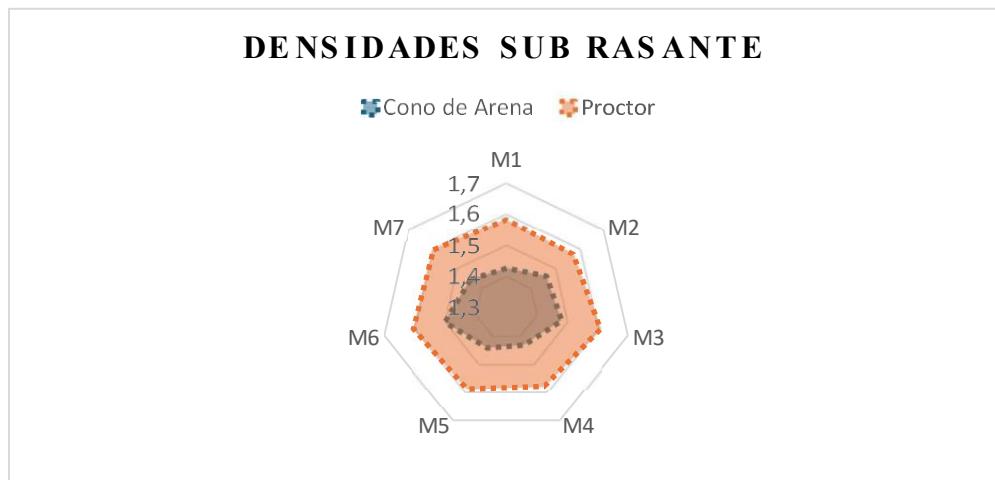


Figura 17. Comparación Densidades Subrasante.

En la **Tabla 13.** Resumen de resultados de las densidades de la subrasante, las densidades in situ varían entre 1.427 y 1.501 g/cm³, comparadas con las densidades Proctor de 1.575 a 1.610 g/cm³, logrando niveles de compactación entre 89 % y 94 %, mediante la **Figura 17. Comparación Densidades Subrasante**, podemos visualizar la cercanía de valores lo que refleja un buen comportamiento del suelo de fundación. Estos valores indican que la subrasante presenta adecuada capacidad portante y contribuye a la estabilidad general del pavimento articulado, siempre que se mantengan condiciones de humedad controladas.

4.1.5 Humedades

Al igual que las densidades, los valores de contenido de humedad se determinaron tanto en laboratorio como en campo. En laboratorio se empleó el ensayo de Proctor modificado, que permitió establecer el contenido óptimo de humedad correspondiente a la densidad seca máxima de compactación bajo condiciones controladas. Para la evaluación in situ, se utilizó el ensayo de cono y arena, el cual proporcionó el contenido de humedad real del suelo en campo, permitiendo verificar la adecuación de la compactación alcanzada frente a los criterios de diseño y las especificaciones normativas.

Tabla 14. Resumen de las humedades de la basa-arena del pavimento articulado.

| BASE ARENA PAVIMENTO ARTICULADO | | |
|---------------------------------|---------------|---------|
| Muestra | Humedad [%] | |
| | Cono de Arena | Proctor |
| M1 | 9.61% | 10.56% |
| M2 | 8.72% | 10.64% |
| M3 | 8.26% | 10.66% |
| M4 | 7.86% | 10.87% |
| M5 | 7.95% | 10.70% |
| M6 | 7.82% | 10.81% |
| M7 | 8.42% | 10.73% |

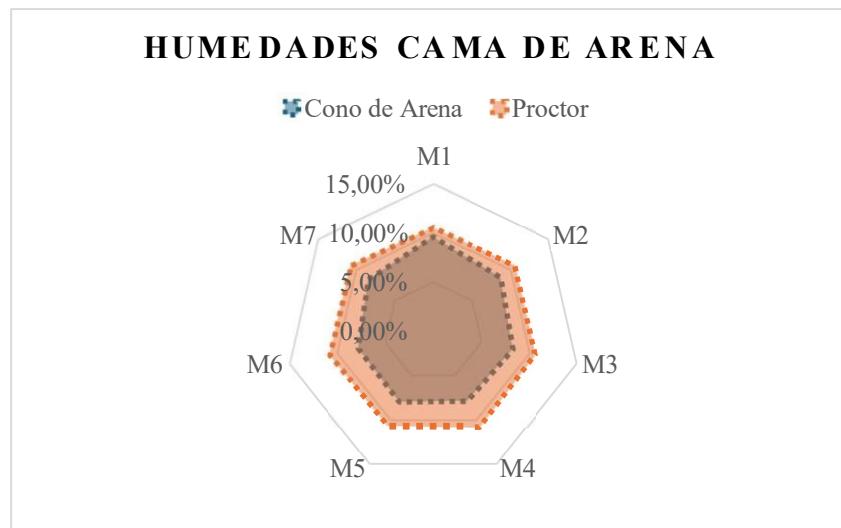


Figura 18 Comparación Humedades Base de Arena.

En la base de arena, las densidades in situ (Cono de Arena) varían entre 1.389 y 1.496 g/cm³, frente a densidades máximas Proctor de 1.844 a 1.948 g/cm³, alcanzando un nivel de

compactación moderado, mientras que las humedades de campo se encuentran ligeramente por debajo de la humedad óptima (7.82 %–9.61 % frente a 10.56 %–10.87 %), lo que indica la necesidad de un control de humedad durante la ejecución para lograr densificación completa.

Tabla 15. Resumen de las humedades de la basa-granular del pavimento articulado.

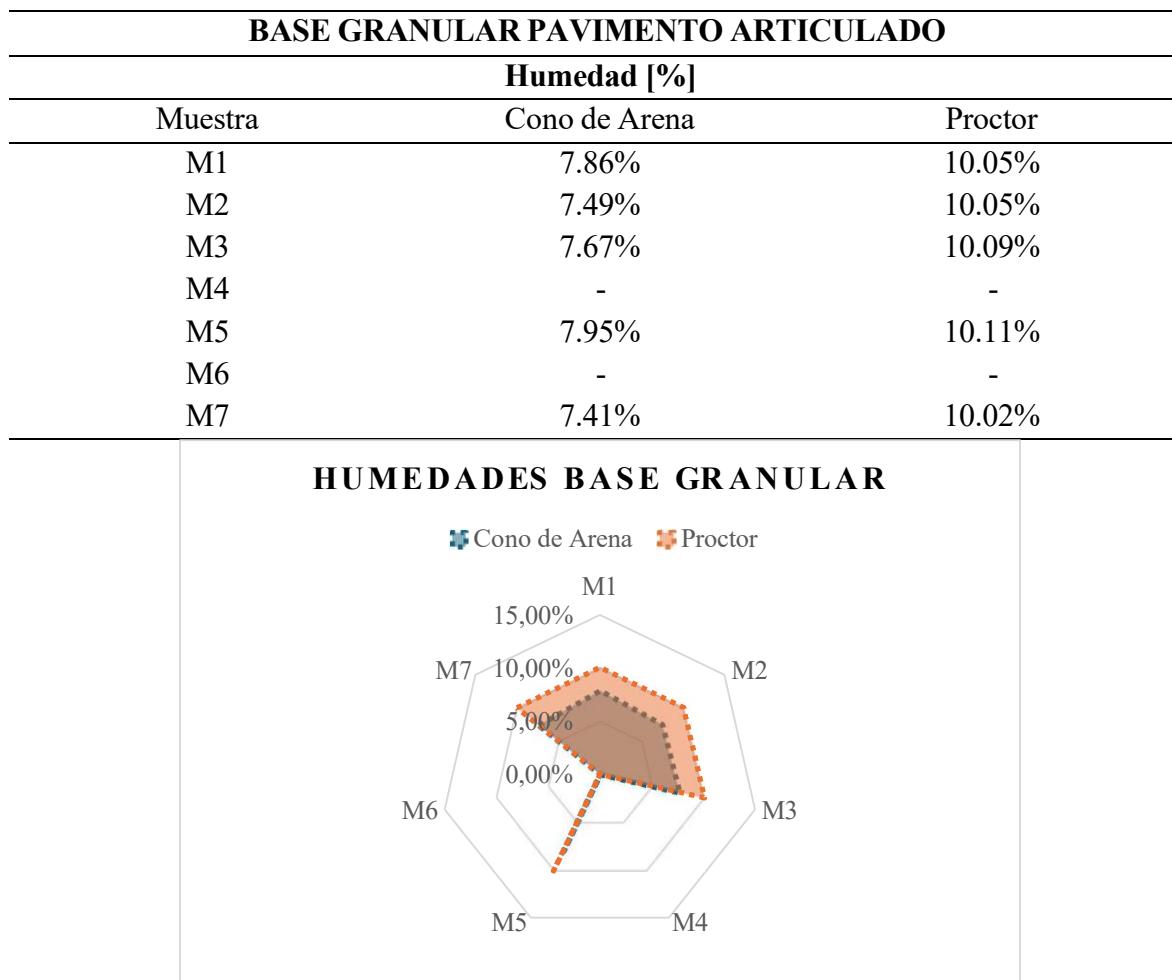


Figura 19 Comparación Humedades Base Granular.

Para la base granular, las densidades in situ oscilan entre 1.546 y 1.719 g/cm³, en comparación con las densidades Proctor de 1.889 a 1.967 g/cm³, alcanzando un buen nivel de compactación, mientras que las humedades de campo (7.41 %–7.95 %) están ligeramente por debajo del valor óptimo (10.02 %–10.11 %), mostrando que el material requiere un ajuste de humedad para optimizar la densificación.

Tabla 16. Resumen de las humedades de la subrasante del pavimento articulado

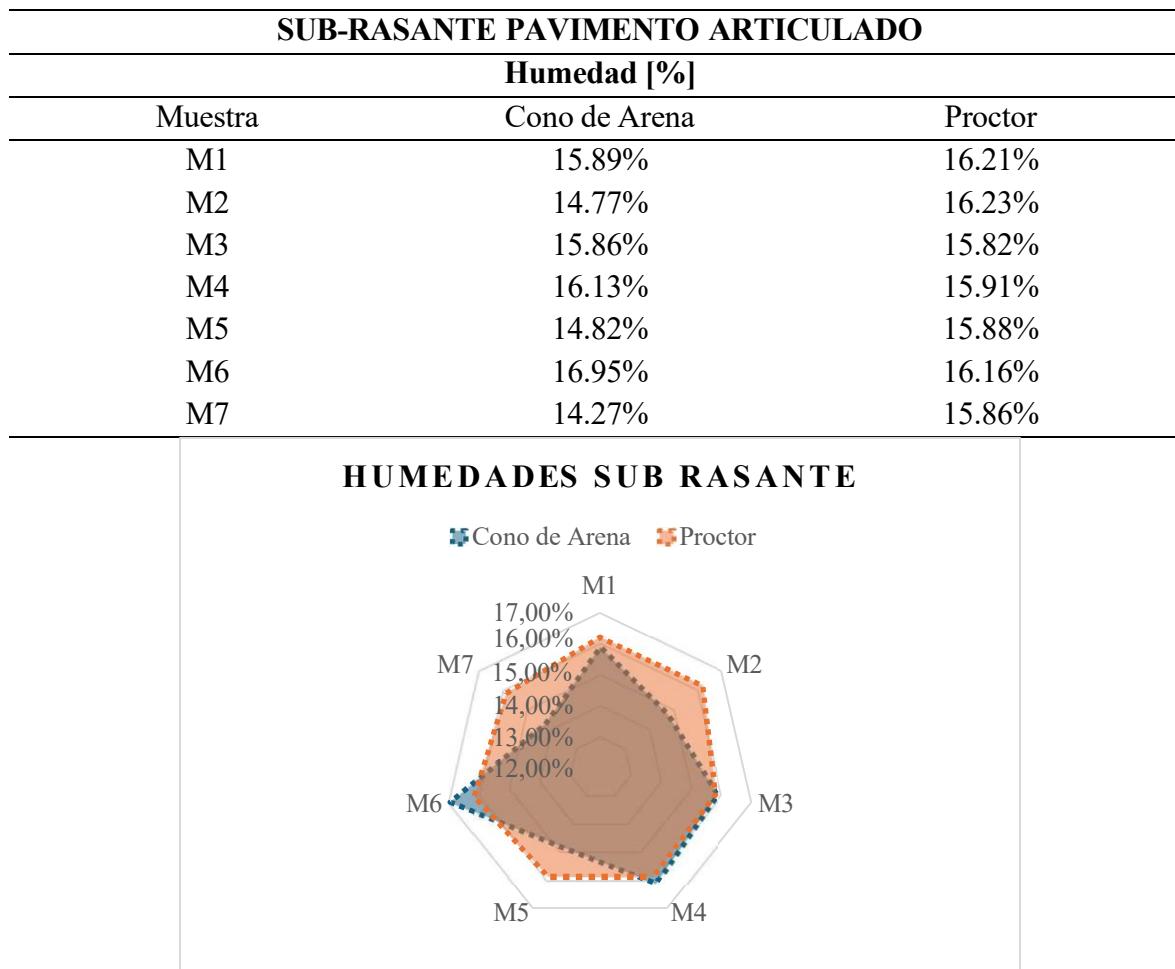


Figura 20 Comparación Humedades Subrasante.

En la subrasante, las densidades in situ ($1.427\text{--}1.501\text{ g/cm}^3$) frente a Proctor ($1.575\text{--}1.610\text{ g/cm}^3$) y las humedades de campo (14.27 %–16.95 %) cercanas a las óptimas (15.82 %–16.23 %) indican que el suelo presenta condiciones favorables para la compactación, logrando una buena capacidad portante y estabilidad estructural.

Los resultados analizados para la base de arena, base granular y subrasante del pavimento articulado muestran un comportamiento consistente de los materiales frente a sus propiedades de densidad y humedad.

En conjunto, los materiales evaluados presentan propiedades adecuadas para su uso en pavimento articulado, con densidades y humedades cercanas a los valores óptimos, garantizando estabilidad, soporte estructural y buen desempeño de la capa granular y subrasante, siempre que se mantenga un control adecuado de compactación y contenido de humedad durante la ejecución.

4.1.6 Densidad y Absorción

En la **Tabla 17** Resumen Densidad y Absorción de Bases y Subrasante, en la cual cabe recalcar que la capa cama de arena y subrasante solo se realizó en ensayo en finos debido a la ausencia de áridos gruesos.

Tabla 17 Resumen Densidad y Absorción de Bases y Subrasante

| Capa | Densidad y Absorción | | | | | |
|--|----------------------|--------|-----------------|---------|-------------|--------|
| | Base (Cama Arena) | | Base (Granular) | | Sub-rasante | |
| Tamaño de Muestra | fino | grueso | fino | grueso | fino | grueso |
| Densidad relativa (Gravedad específica) | | | | | | |
| Densidad relativa (Gs) [SH] | 2.27 | - | 2.37 | 2.42 | 1.92 | - |
| Densidad relativa (Gs) [SSS] | 2.40 | - | 2.48 | 2.49 | 2.00 | - |
| Densidad relativa aparente (Gs aparente) | 2.61 | - | 2.66 | 2.59 | 2.09 | - |
| Densidad | | | | | | |
| Densidad [SH] (kg/m ³) | 2264.29 | - | 2367.08 | 2418.94 | 1912.93 | - |
| Densidad [SSS] (kg/m ³) | 2395.47 | - | 2473.55 | 2483.39 | 1995.24 | - |
| Densidad aparente [SSS] (kg/m ³) | 2608.06 | - | 2650.70 | 2586.49 | 2088.12 | - |
| Absorción | | | | | | |
| Porcentaje de absorción (%) | 5.80% | - | 4.50% | 2.66% | 4.30% | - |

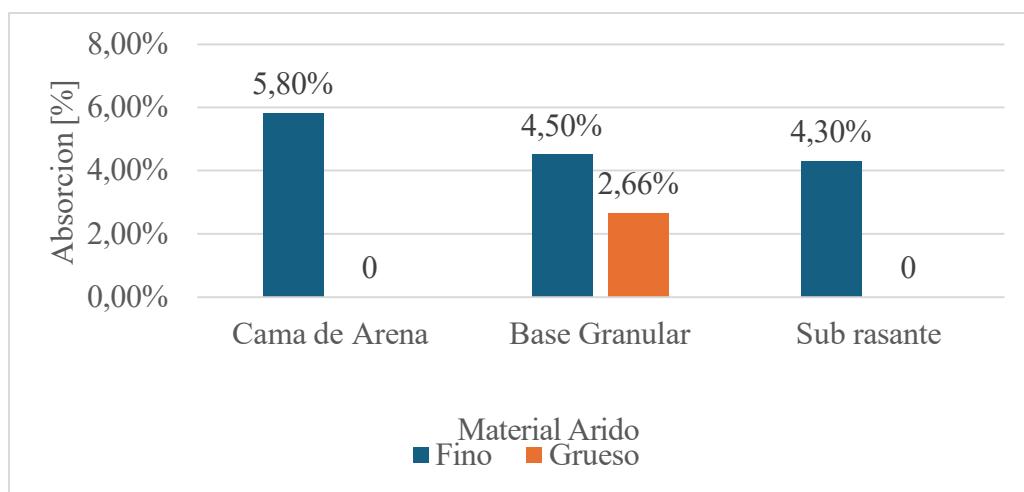


Figura 21 Absorción de Capas.

Por medio este ensayo se puede identificar que el extracto de la base granular fina tiene un porcentaje igual de absorción que el extracto de subrasante fina. Además, que se visualiza que la cama de arena tiene un mayor porcentaje de absorción. Por otro lado, se observa que la muestra de base granular gruesa tiene un porcentaje menor de absorción entorno a los demás por cuestiones de menor porosidad.

4.1.7 Grado de Compactación

En la **Tabla 18**. Resumen de grado de compactación de la base arena, base granular y subrasante, se muestran los resultados obtenidos mediante ensayo del Cono de Arena. Estos muestran que la subrasante presenta valores entre 90.14 % y 93.58 %, cumpliendo con los requisitos mínimos establecidos por la [44], lo que evidencia una adecuada compactación y buena capacidad de soporte. En cambio, la base granular (80.71 %–88.66 %) y la base de arena (74.45 %–79.69 %) registran valores inferiores a los exigidos ($\geq 95\%$ y $\geq 90\%$ respectivamente), indicando deficiencias en el proceso de compactación, posiblemente por una humedad inadecuada o falta de energía de compactación. Por tanto, es necesario optimizar el control de humedad y el ajuste del número de pasadas del equipo de compactación para garantizar la uniformidad y estabilidad de las capas inferiores.

Tabla 18. Resumen de grado de compactación de la base arena, base granular y subrasante

| GRADO DE COMPACTACIÓN [%] | | | |
|---------------------------|------------|---------------|-------------|
| Método: Cono de Arena | | | |
| Muestra | Base Arena | Base Granular | Sub-Rasante |
| M1 | 74.45% | 81.68% | 90.14% |
| M2 | 79.42% | 88.66% | 92.88% |
| M3 | 79.69% | 86.86% | 91.95% |
| M4 | 77.23% | - | 90.58% |
| M5 | 75.35% | 81.83% | 90.67% |
| M6 | 78.14% | - | 93.58% |
| M7 | 75.53% | 80.71% | 90.49% |

En las siguientes figuras se puede observar el grado de compactación de la Base Arena, Base Granular y la Subrasante obtenidas mediante la relación entre la densidad máxima seca y la densidad seca in situ.

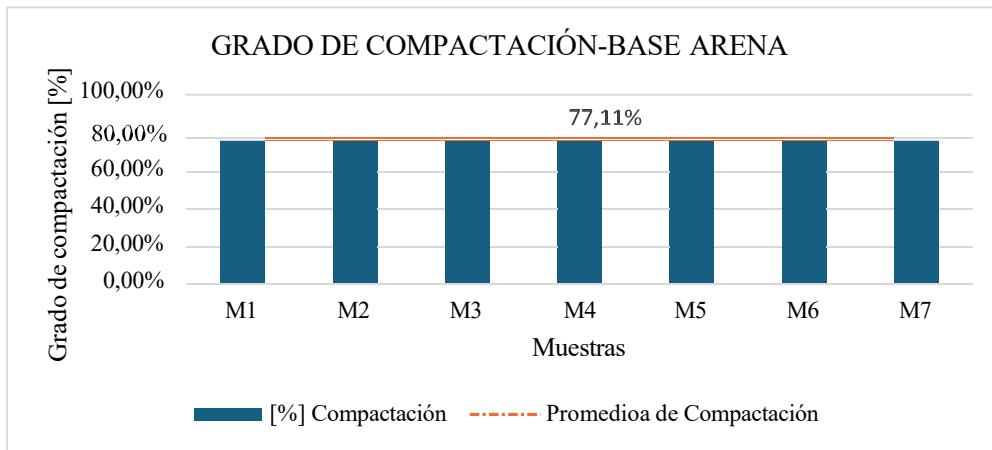


Figura 22. Grado de compactación base-arena

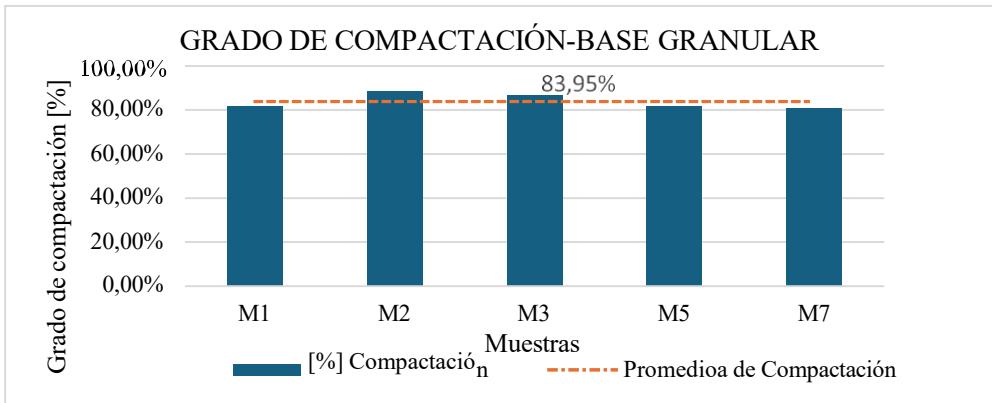


Figura 23. Grado de compactación base granular

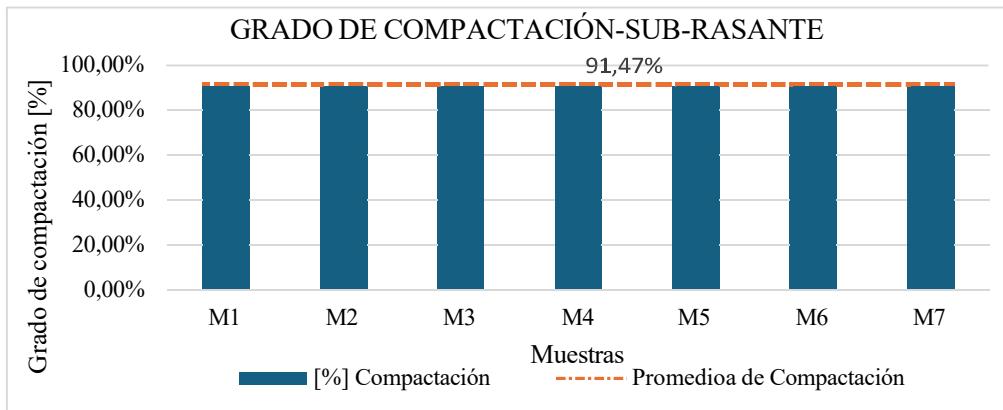


Figura 24. Grado de compactación sub rasante

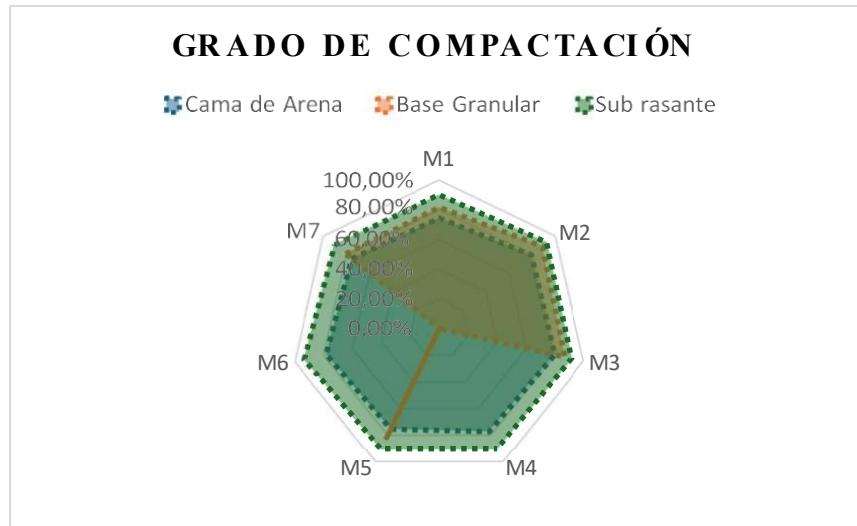


Figura 25 Rangos Grados de Compactación de Capas.

4.2 Propiedades mecánicas del pavimento articulado

4.2.1 Módulo de Young, Modulo de Rigidez y CBR

En las tablas 19, 20 y 21, se puede observar los resultados obtenidos mediante el equipo GeoGauge, en donde se incluyen los valores de módulo resiliente y del módulo de rigidez del suelo evaluado. A partir de estos resultados se estimaron los porcentajes de CBR aplicando diversas correlaciones empíricas propuestas por distintos autores, quienes establecieron relaciones entre el CBR con los módulos resilientes y la rigidez. Entre las cuatro ecuaciones aplicadas, la Ecuación 3, propuesta por [42], evidenció el mejor ajuste a las condiciones locales, al generar los valores más representativos y consistentes de CBR, reflejando así un comportamiento más realista del material frente a las condiciones de compactación y rigidez determinadas en campo.

Tabla 19. Datos obtenidos mediante el GeoGauge y cálculo del CBR - Base Arena.

| Muestra No. | Módulo de Rigidez [MN/m] | Módulo de Young [MPa] | Módulo de Young [PSI] | CBR Ec. [1] [%] | CBR Ec. [2] [%] | CBR Ec. [3] [%] | CBR Ec. [4] [%] |
|----------------|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 6.010 | 44.515 | 6456.367 | 4.844 | -4.950 | 7.733 | 4.257 |
| 2 | 5.025 | 37.255 | 5403.391 | 1.656 | -13.720 | 6.060 | 3.223 |
| 3 | 4.970 | 36.865 | 5346.826 | 1.495 | -14.239 | 5.973 | 3.170 |
| 4 | 5.575 | 41.335 | 5995.146 | 3.366 | -8.601 | 6.987 | 3.791 |
| 5 | 6.890 | 51.080 | 7408.541 | 8.173 | 1.827 | 9.337 | 5.277 |
| 6 | 4.900 | 36.330 | 5269.231 | 1.292 | -14.959 | 5.854 | 3.099 |
| 7 | 4.510 | 33.445 | 4850.796 | 0.216 | -19.035 | 5.227 | 2.723 |

Tabla 20. Datos obtenidos mediante el GeoGauge y cálculo del CBR – Base Granular.

| Muestra No. | Módulo de Rigidez [MN/m] | Módulo de Young [MPa] | Módulo de Young [PSI] | CBR Ec. [1] [%] | CBR Ec. [2] [%] | CBR Ec. [3] [%] | CBR Ec. [4] [%] |
|----------------|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 6.675 | 49.490 | 7177.931 | 7.318 | 0.269 | 8.941 | 5.023 |
| 2 | 7.600 | 56.370 | 8175.792 | 11.191 | 6.681 | 10.686 | 6.156 |
| 3 | 6.845 | 50.770 | 7363.579 | 7.992 | 1.527 | 9.259 | 5.227 |
| 4 | - | 0.000 | 0.000 | - | - | 0.000 | 0.000 |
| 5 | 6.480 | 48.030 | 6966.175 | 6.566 | -1.206 | 8.582 | 4.793 |
| 6 | - | 0.000 | 0.000 | - | - | 0.000 | 0.000 |
| 7 | 5.980 | 44.360 | 6433.886 | 4.738 | -5.121 | 7.696 | 4.233 |

Tabla 21. Datos obtenidos mediante el GeoGauge y cálculo del CBR Sub rasante.

| Muestra No. | Módulo de Rigidez [MN/m] | Módulo de Young [MPa] | Módulo de Young [PSI] | CBR Ec. [1] [%] | CBR Ec. [2] [%] | CBR Ec. [3] [%] | CBR Ec. [4] [%] |
|----------------|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 7.515 | 55.755 | 8086.594 | 10.814 | 6.141 | 10.527 | 6.051 |
| 2 | 5.780 | 42.855 | 6215.603 | 4.048 | -6.822 | 7.341 | 4.011 |
| 3 | 7.775 | 57.645 | 8360.716 | 11.980 | 7.783 | 11.019 | 6.375 |
| 4 | 6.900 | 51.155 | 7419.419 | 8.214 | 1.899 | 9.356 | 5.289 |
| 5 | 6.205 | 45.990 | 6670.298 | 5.542 | -3.344 | 8.086 | 4.479 |
| 6 | 6.205 | 45.990 | 6670.298 | 5.542 | -3.344 | 8.086 | 4.479 |
| 7 | 5.530 | 41.025 | 5950.184 | 3.219 | -8.972 | 6.915 | 3.747 |

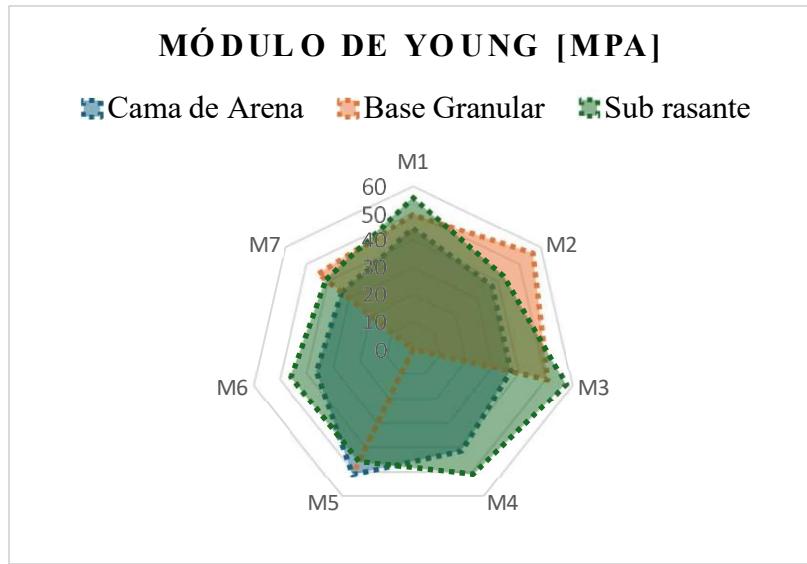


Figura 26 Modulo de Young obtenido mediante GeoGauge.

Los resultados obtenidos en la evaluación de las capas del pavimento muestran valores de CBR inferiores al porcentaje mínimo establecido por la normativa [7], la cual dispone que las capas de base, subbase deben alcanzar un CBR igual o superior al 80 % con el propósito de garantizar la adecuada capacidad estructural y durabilidad de las obras viales. Esta discrepancia evidencia que el material evaluado no cumple con las especificaciones técnicas exigidas, lo que sugiere deficiencias en los procesos de compactación, control de humedad y homogeneidad del material durante su ejecución.

4.2.2 Desgaste del Agregado Grueso de la Base (granular)

En la **Tabla 22** Porcentajes de Abrasión del Agregado Grueso, se visualiza que en la Muestra 3 se tienen un mayor porcentaje de abrasión con un valor de 33.01% y la Muestras 2 se tienen un menor porcentaje de abrasión con un valor de 28.99%. sin embargo, en la aplicación de un porcentaje general de las muestras obtenemos un valor de 31.30 % de abrasión. Cabe recalcar que en los puntos de muestras M4 y M6, no se encontraron material de capas granulares, por lo que no se pudo contar con esta información para el ensayo de Abrasión del agregado grueso.

Tabla 22 Porcentajes de Abrasión del Agregado Grueso.

| Abrasión del Agregado Grueso de la Base (granular) | | |
|---|------------|---------------------|
| Muestra | [%] | Promedio [%] |
| M1 | 30.11% | |
| M2 | 28.99% | |
| M3 | 33.01% | |
| M4 | 0.00% | 31.30% |
| M5 | 31.41% | |
| M6 | 0.00% | |
| M7 | 32.97% | |

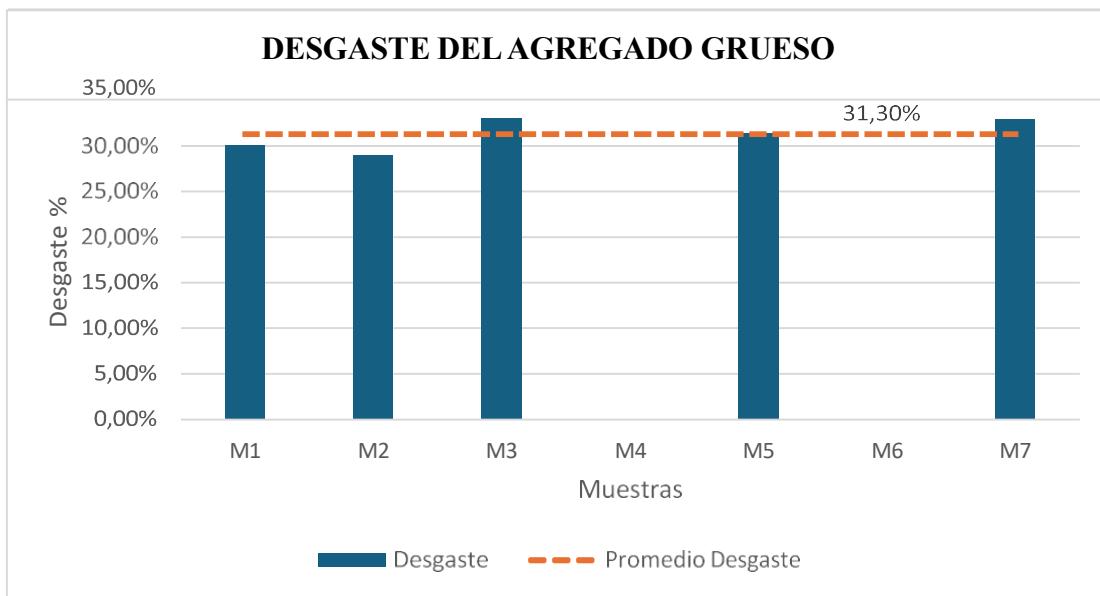


Figura 27 Desgaste del Agregado Grueso de Base Granular.

En normativa[7], se nos menciona sobre los rangos de aceptación para los desgastes de agregados según la función y el estrato en la que van a actuar estos materiales, siendo específicos para bases y subbases se tiene aceptan valores de abrasión máximos hasta el 50%, por lo tanto, los valores obtenidos están dentro del rango establecido.

4.2.3 Absorción de Adoquines

En la **Tabla 23**. Resultado de la absorción de adoquines, muestran un promedio de 6.81 % de los 10 adoquines evaluados. Este valor supera el límite máximo permitido por la normativa (INEN 2016), que establece un máximo de absorción del 6 %. Esta variabilidad en la absorción puede atribuirse a diferencias en la dosificación del hormigón, compactación o proceso de curado, lo que afecta directamente la durabilidad y el desempeño estructural del pavimento.

Tabla 23. Resultado de la absorción de adoquines.

| Identificación | Zona | Longitud [cm] | Ancho [cm] | Espesor [cm] | Masa Saturada de agua [Kg] | Masa Seca [Kg] | Absorción [%] |
|----------------|------|------------------|---------------|-----------------|-------------------------------------|----------------------|------------------|
| 1 | M1 | 25 | 23 | 9 | 9.915 | 9.128 | 8.622 |
| 2 | M1 | 25 | 23 | 9 | 9.552 | 9.021 | 5.886 |
| 3 | M2 | 24 | 22 | 8 | 8.606 | 8.093 | 6.339 |
| 4 | M2 | 24.5 | 22.5 | 8.5 | 8.461 | 8.019 | 5.512 |
| 5 | M3 | 24 | 22 | 8.5 | 8.511 | 7.993 | 6.481 |
| 6 | M4 | 24 | 22 | 8.5 | 8.991 | 8.475 | 6.088 |
| 7 | M5 | 23 | 21.5 | 8 | 7.143 | 6.610 | 8.064 |
| 8 | M6 | 24 | 22 | 8.5 | 8.542 | 7.916 | 7.908 |
| 9 | M7 | 24.5 | 22 | 8 | 8.417 | 7.851 | 7.209 |
| 10 | M7 | 24.5 | 22 | 8 | 7.890 | 7.440 | 6.048 |

4.2.4 Resistencia a la Compresión de Adoquines

En la **Tabla 24** Resistencia a la Compresión de Adoquines, nos muestran resultados interesantes ya que los adoquines con menos resistencia son de 1.149 Mpa y 0.548 Mpa, y los adoquines con mayor resistencia obtienen valores de 51.616 Mpa y 53.819 Mpa. La normativa que aplica para la colocación de Adoquines para una vía[7], nos da a conocer que la resistencia mínima del adoquín es de 36 Mpa, por tanto, podemos observar que la mitad de los adoquines no pasan este requerimiento y en general se tiene un promedio de resistencia a la compresión de 32.90 Mpa.

Tabla 24 Resistencia a la Compresión de Adoquines.

| Identificación | Zona | Área Total [mm ²] | Espesor [cm] | Bisel | Carga máxima [N] | Resistencia a la compresión [MPa] |
|----------------|------|----------------------------------|-----------------|-------|---------------------|---|
| 1 | M1 | 50873.5 | 9 | 1.11 | 66039 | 1.149 |
| 2 | M1 | 50873.5 | 9 | 1.11 | 31499 | 0.548 |
| 3 | M2 | 50873.5 | 8 | 1.11 | 2020152 | 35.133 |
| 4 | M2 | 50873.5 | 8.5 | 1.11 | 2143251 | 38.88 |
| 5 | M3 | 50873.5 | 8.5 | 1.11 | 1593965 | 30.189 |
| 6 | M4 | 48307.8 | 8.5 | 1.11 | 2725346 | 51.616 |
| 7 | M5 | 42918.7 | 8 | 1.11 | 2661371 | 53.819 |
| 8 | M6 | 52191.9 | 8.5 | 1.11 | 953818 | 18.065 |
| 9 | M7 | 48589.3 | 8 | 1.11 | 2681690 | 49.753 |
| 10 | M7 | 48589.3 | 8 | 1.11 | 2685032 | 49.815 |

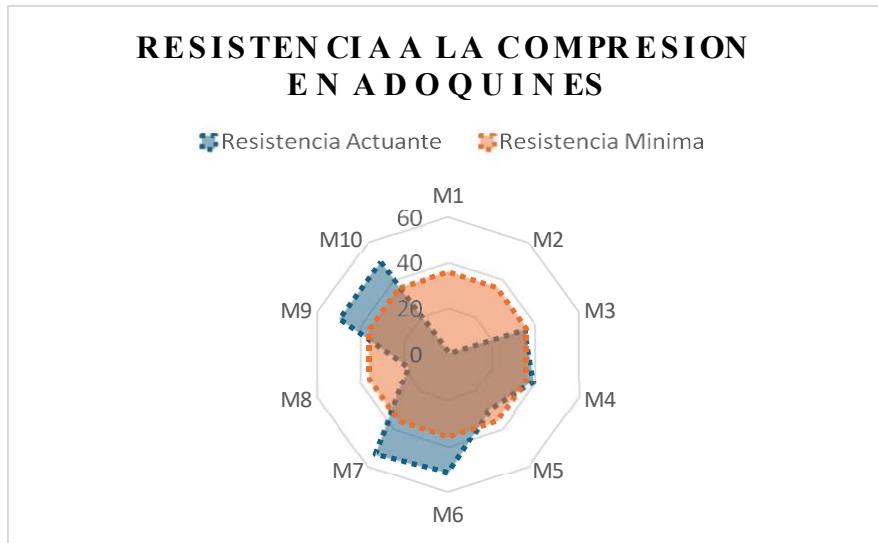


Figura 28 Comparación Resistencia a la Compresión en Adoquines.

La **Figura 28** Comparación Resistencia a la Compresión en Adoquines, nos muestra más a detalle que las muestras M1, M2 y M8 tienen fallas muy críticas de resistencia a la compresión, mediante observaciones en el ensayo realizado para la recolección de esta información, se visualizó que estas muestras fueron tomadas de vías construidas en el 2022 y que los espesores de un mismo adoquín tenían variaciones entre 5 y 10 mm, por lo que su baja resistencia a la compresión podría ser dado por la cantidad y manera de emplear los materiales primos en la elaboración de los adoquines. Por otro lado, también observamos que las muestras M3, M4 y M5 se acercan a los valores de resistencia mínimas a la compresión, estos adoquines son pertenecientes a zonas donde es recurrente el comercio local y paradas de transporte público. Por último, se tiene las muestras M6, M7, M9 y M10 con valores altos a la resistencia a la compresión, ya que estos están alrededor de parques y unidades educativas, donde la presencia de transporte pesado no es muy usual.

4.3 Propiedades Hidráulicas del Pavimento Articulado

Los siguientes resultados son obtenidos mediante el ensayo del infiltrometro de doble anillo, el mismo que fue modificado y adaptado por parte de la Universidad Nacional de Chimborazo con el objetivo de recolectar información en otras áreas de la investigación en ingeniería civil.

4.3.1 Permeabilidad

En la **Tabla 25** Resumen del ensayo de infiltración en el pavimento articulado, podemos visualizar la velocidad de infiltración con su respectivo coeficiente de permeabilidad, las cuales varían según el estado y clima en las que se realizaron el estudio, teniendo resultados con comportamientos similares, ya que se tuvieron condiciones similares mayormente entorno al clima.

Tabla 25 Resumen del ensayo de infiltración en el pavimento articulado.

| Tiempo acumulado (h) | Velocidad de infiltración vs Tiempo | | | | | | |
|----------------------------|--------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Velocidades de infiltración K (cm/h) | | | | | | |
| | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 | Muestra 4 | Muestra 5 | Muestra 6 | Muestra 7 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.5 | 0.8 | 0.6 | 0.8 | 1.4 | 1.6 | 0.6 | 0.8 |
| 1 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 1.4 | 1.2 | 0.4 | 0.8 |
| 1.5 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1 | 1 | 0.4 | 0.8 |
| 2 | 2 | 0.5 | 0.8 | 0.8 | 1 | 0.4 | 0.6 |
| 2.5 | 1 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 0.8 | 0.2 | 0.6 |
| 3 | 0.8 | 0.4 | 0.6 | 0.6 | 1 | 0.2 | 0.6 |
| 3.5 | 1 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.8 | 0.2 | 0.6 |
| 4 | 0.6 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.6 | 0.2 | 0.6 |
| 4.5 | 0.6 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.6 | 0.2 | 0.5 |
| 5 | 0.8 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.2 | 0.5 |
| 5.5 | 0.4 | 0.2 | | | 0.4 | 0.2 | 0.5 |
| 6 | 0.4 | 0.2 | | | 0.2 | 0.1 | 0.4 |
| 6.5 | 0.2 | 0.1 | | | | | 0.3 |
| 7 | 0.2 | 0.1 | | | | | 0.3 |
| 7.5 | | | | | | | 0.2 |
| 8 | | | | | | | 0.2 |
| C (%) | 91.52% | 95.63% | 95.46% | 93.66% | 91.58% | 97.10% | 92.69% |
| Clima | Nublado | Nublado | Nublado | Lluvioso | Lluvioso | Soleado | Nublado |
| Estado | Bueno | Bueno | Bueno | Regular | Regular | Bueno | Bueno |

4.3.2 Infiltración

En la **Tabla 26**. Infiltración, escorrentía y compactación del Pavimento Articulado, se puede apreciar datos de la infiltración que se pueden asociar con los datos de la compactación in situ de las capas bases, en la cual podemos distinguir a las muestras M2, M3 y M6 donde su infiltración es baja debido al buena compactación que tiene en su estructura. Por otro lado, las muestras M1, M5, M7 mantiene una infiltración alta esto debido a la mala compactación en su estructura.

Tabla 26. Infiltración, escorrentía y compactación del Pavimento Articulado.

| Resumen de las características del pavimento Articulado | | | | |
|---|------------------|-----------------|------------------|---|
| Muestra | Característica | | | Observación |
| | Infiltración (%) | Escorrentía (%) | Compactación (%) | |
| Muestra 1 | 8.48% | 91.52% | 74.45% | Estado: Bueno Clima Actual: nublado Clima Anterior: lluvioso |
| Muestra 2 | 4.37% | 95.63% | 79.42% | Estado: Bueno Clima Actual: nublado Clima Anterior: lluvioso |
| Muestra 3 | 4.54% | 95.46% | 79.69% | Estado: Bueno Clima Actual: nublado Clima Anterior: lluvioso |
| Muestra 4 | 6.34% | 93.66% | 77.23% | Estado: Bueno Clima Actual: lluvioso Clima Anterior: lluvioso |
| Muestra 5 | 8.42% | 91.58% | 75.35% | Estado: Regular Clima Actual: lluvioso Clima Anterior: lluvioso |
| Muestra 6 | 2.90% | 97.10% | 78.14% | Estado: Regular Clima Actual: soleado Clima Anterior: lluvioso |
| Muestra 7 | 7.31% | 92.69% | 75.53% | Estado: Bueno Clima Actual: nublado Clima Anterior: lluvioso |

Observaciones:

Estado bueno: el pavimento no presenta gritas o roturas y el asentamiento del infiltrómetro está en una superficial o relieve no deformado.

Estado regular: el pavimento presenta gritas o roturas y el asentamiento del infiltrómetro está en una superficial o relieve deformado.

CURVA DE INFILTRACIÓN

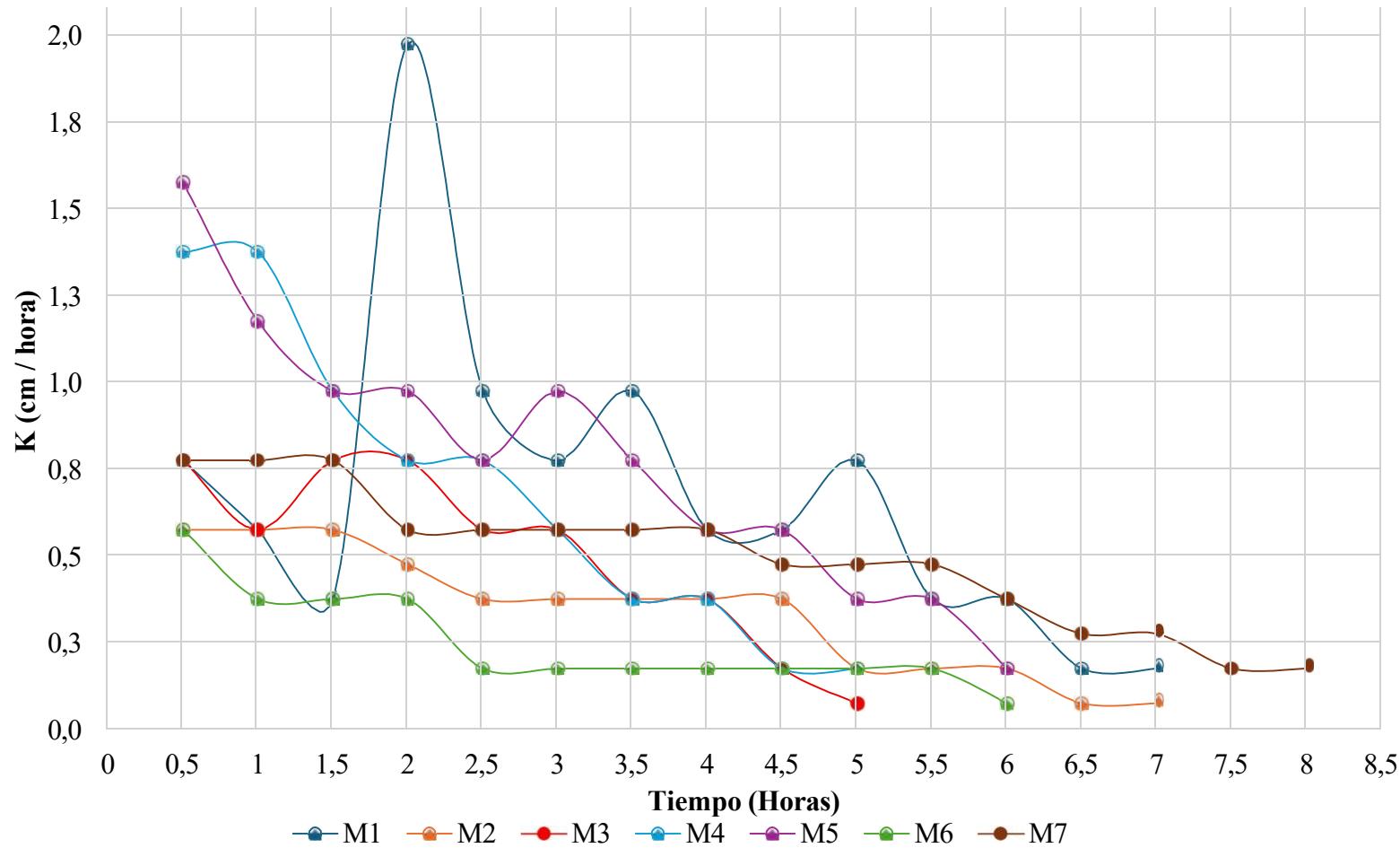


Figura 29. Curvas de Infiltración

4.3.3 Comportamiento de las Curvas de Infiltración

Se basará la interpretación mediante la **Figura 29.** Curvas de Infiltración, la cual se obtuvo mediante el ensayo del infiltrometro in situ, en esta grafica se observa la relación del coeficiente de la tasa de infiltración (cm/hora) y el tiempo transcurrido (horas). El desarrollo de las curvas que observamos en el grafico son afectados directamente por factores ambientales y climáticos, condiciones de la capa de rodadura, abertura entre conexiones del adoquín y el estado de las capas estructurales del pavimento. En el área de estudio se aplicaron 7 ensayos, los cuales fueron realizados climas nublados y lluviosos y asentados sobre pavimentos articulados en estados buenos y pocos regulares.

Las curvas M1, M4 y M5 muestran los valores más altos en función de la velocidad de infiltración los cuales están en los rangos de 1.4 cm/ hora a 2.0 cm/hora, en las primeras 2 horas del ensayo, a diferencia de las curvas M2, M3, M6 y M7 tienen una velocidad de infiltración entre los rangos de 0.4 cm/hora a 0.8 cm/hora. Estas observaciones se las puede asociar al comportamiento de infiltración en la primera capa de la estructura del pavimento articulado, siendo la capa de rodadura en la que influye las características del adoquín, ya que si se relaciona las características de absorción del adoquín (tabla 23) con la infiltración del agua, se verifica que las muestras M1, M4 y M5 tienen valores más altos en comparación de los no mencionados.

Por otro lado, cuando se pasa las primeras 2 horas del ensayo, se puede observar otros comportamientos de las curvas, entrando en las capas estructuras internas siendo la base cama de arena, base granular y subrasante, de esta manera terminando el ensayo en un tiempo de 5 a 8 horas. El comportamiento de las curvas M1, M5 y M7 mantienen valores de infiltración de 0.4 cm/hora a 1.0 cm/hora, mientras que las curvas M2, M3 y M6 muestran valores de infiltración de 0.4 cm/hora a 0.2 cm/hora, estas curvar muestran comportamientos en los rangos mencionado en gran parte de su trayecto, por otro la curva M4 muestran características diferentes pues su velocidad de infiltración disminuye constantemente en el transcurso de 1 hora. Las conductas de estas curvas se las relacionan con las características físicas del material en cada capa, sin embargo principalmente se las asocia con el grado de compactación (tabla 26) que tiene cada capa, es por ello que las curvas M1, M5 y M7 tienen un valor de mayor velocidad de infiltración ya que la compactación de sus capas son baja, a diferencia las curvas M2, M3 y M6 que mantiene una compactación de capas considerable, por lado también considerando la curva M4 la cual se encuentra en un valor intermedio de compactación.

4.3.4 Análisis del Coeficiente de Escorrentía

En la **Figura 30.** Coeficiente de Escurrimiento en el Pavimento Articulado, se visualizan valores mayores al 90 %, siendo el máximo en la muestra M6 con un valor de 97.10 % y el mínimo en la muestra M1 con un valor de 91.52 %, estos datos son influenciados por el grado de compactación identificados en la **Tabla 26.** Infiltración, escorrentía y compactación del Pavimento Articulado, este ensayo fue asentado sobre las capas estructurales del pavimento articulado, sin embargo cabe recalcar que gran parte de los ensayos realizados fueron en condiciones climáticas

lluviosas y húmedas, lo que ocasiono que los ensayos del infiltrometro en estas condiciones fueran más cortos en tiempo de ejecución.

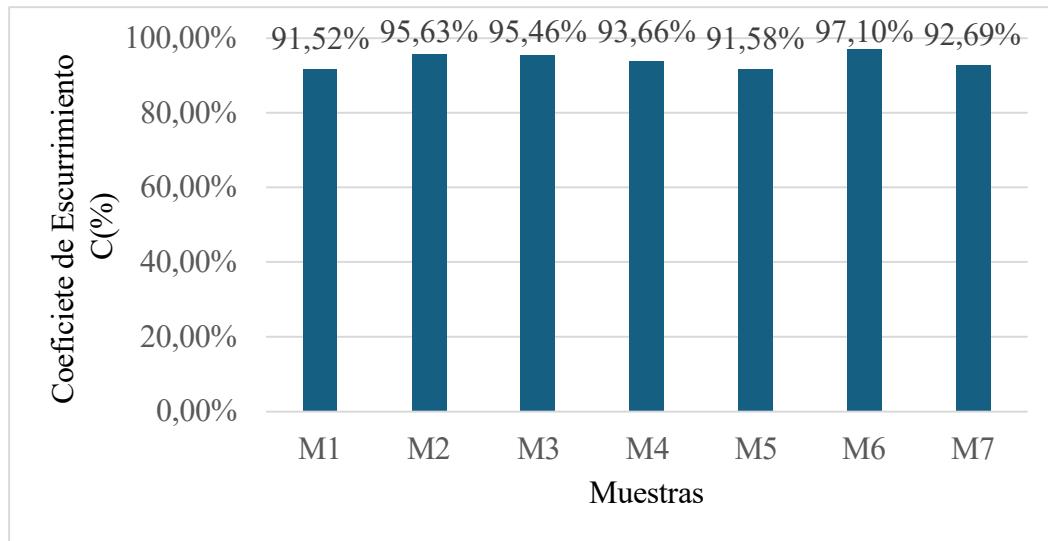


Figura 30. Coeficiente de Escorrentamiento en el Pavimento Articulado.

En la **Figura 31.** "C promedio" obtenido y el "C" propuesto por la normativa, se observa una comparación entre los valores de escurrimientos promedio y la información propuesta por la normativa EIOS para diseño de sistemas de alcantarillado pluvial en función de diferentes tipos de superficies. El valor promedio correspondiente a 93,95 % sobrepasa el límite propuesto para un empedrado de juntas pequeñas.

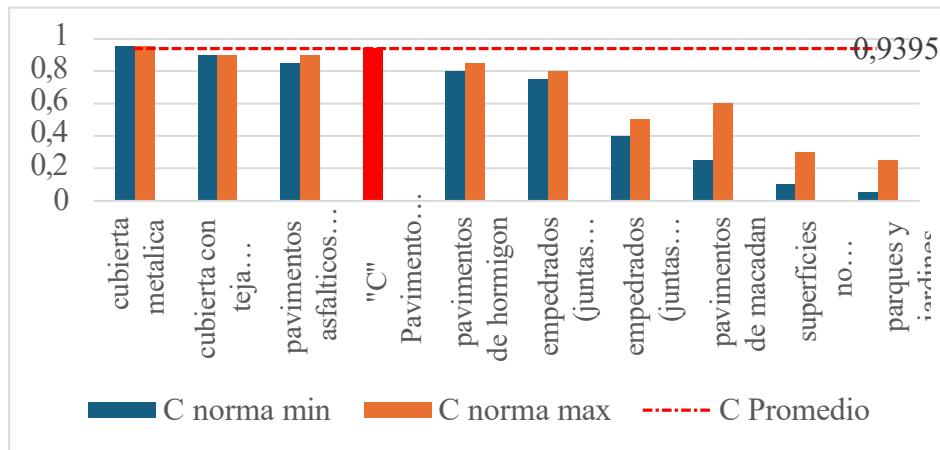


Figura 31. "C promedio" obtenido y el "C" propuesto por la normativa.

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

4.4.1 Relación entre el CBR vs Infiltración

En la **Figura 32.** Comparación entre el grado de CBR (%) y la Infiltración (%), se puede apreciar el valor obtenido de $R^2 = 0.416$, la misma, que evidencia una correlación débil a moderada entre los valores de CBR e infiltración. Esto se debe a que los puntos se encuentran dispersos y no se ajustan de manera precisa a la recta de tendencia, lo cual indica que la relación entre ambas variables no es fuerte ni linealmente predecible. Esta dispersión puede atribuirse a diversos factores geotécnicos, tales como el contenido de humedad natural, la presencia de finos, la densidad seca alcanzada, así como las condiciones de compactación y heterogeneidad del suelo.

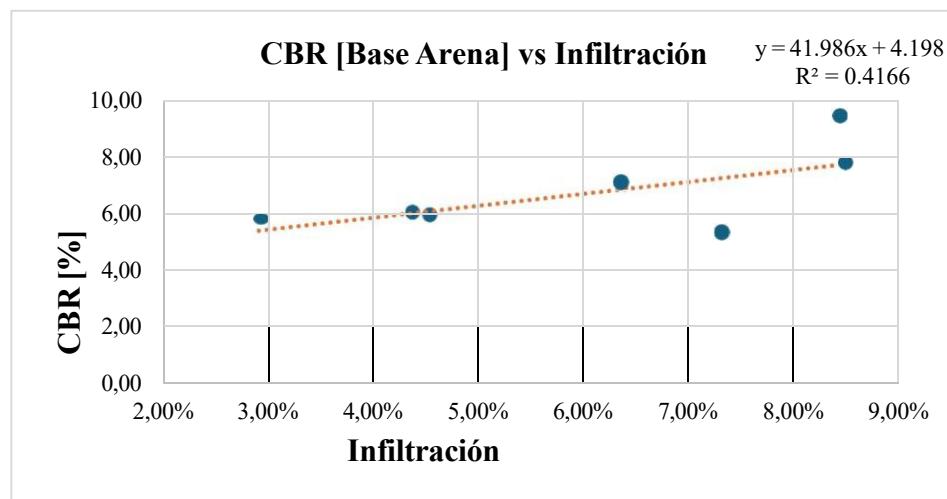


Figura 32. Comparación entre el grado de CBR (%) y la Infiltración (%).

En la **Figura 33.** Diagrama de relación entre el CBR y la Infiltración, se puede observar que no existe una correlación inversamente proporcional entre capacidad de soporte del suelo (CBR) y su capacidad de infiltración debido a que en algunas variables como la M1 y M5 presentan altos valores de CBR e infiltración, mientras que M6 presenta valores bajos en ambos casos, lo cual evidencia diferencias en la composición y estructura.

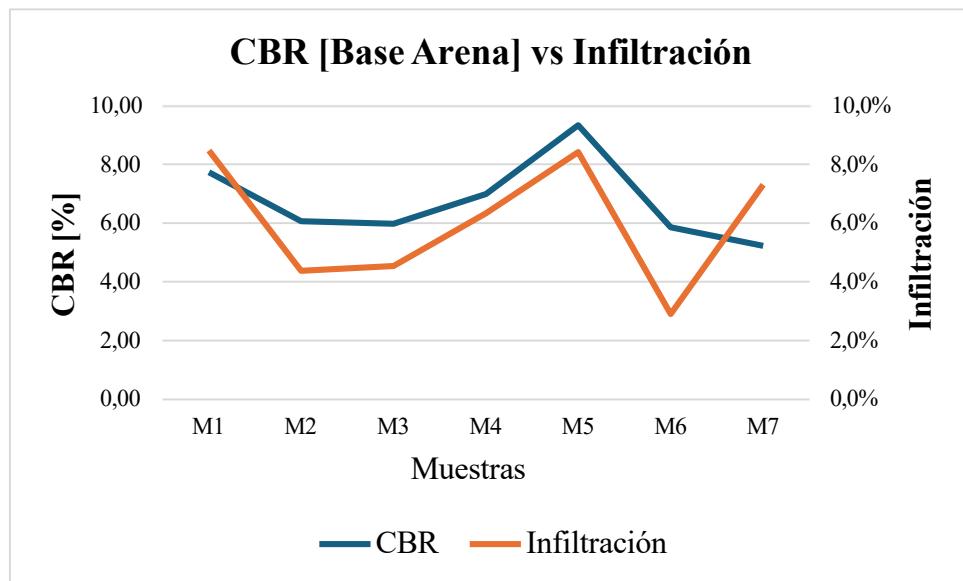


Figura 33. Diagrama de relación entre el CBR y la Infiltración.

4.4.2 Relación entre el Grado de compactación y la Infiltración

Para el grado de compactación se utiliza los datos de las capas de base ya que estos presentaron una mayor concordancia y relevancia con los datos de infiltración. En la **Figura 34.** Comparación entre el grado de compactación (%) y la infiltración (%), se puede apreciar de mejor manera esta relación ya que por medio de una línea de tendencia aplicada se obtuvo un R^2 de 0.7677, siendo este un resultado bueno y aceptable para esta relación.

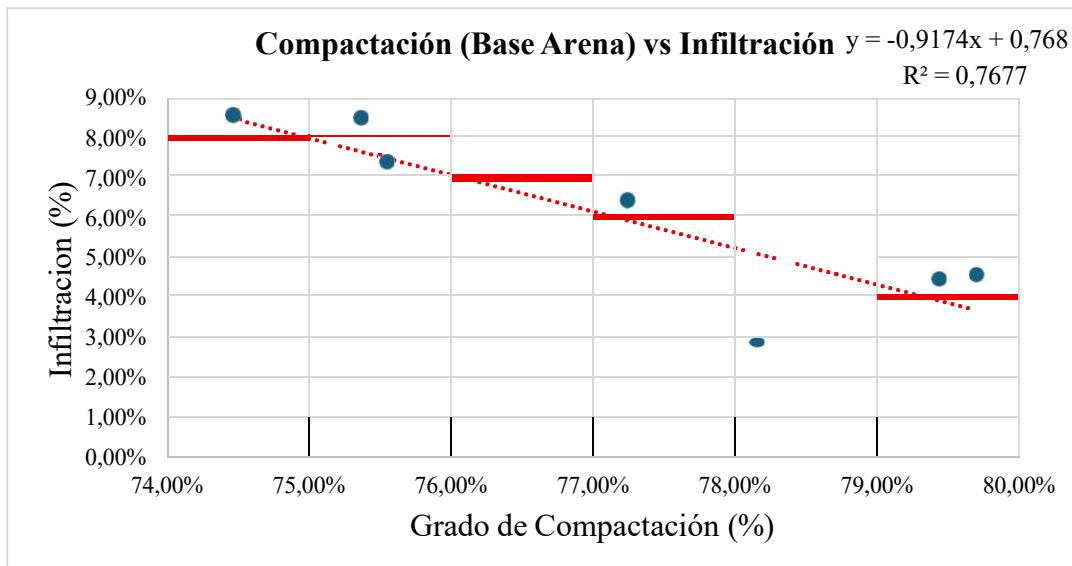


Figura 34. Comparación entre el grado de compactación (%) y la infiltración (%).

En la **Figura 35.** Diagrama de relación entre la compactación y la Infiltración, se puede apreciar de mejor manera un comportamiento inversamente proporcional de sus variables, es decir si una variable de la infiltración es baja su respectiva variable de compactación será alta, de esta manera confirmando una relación existente entre estos aspectos.

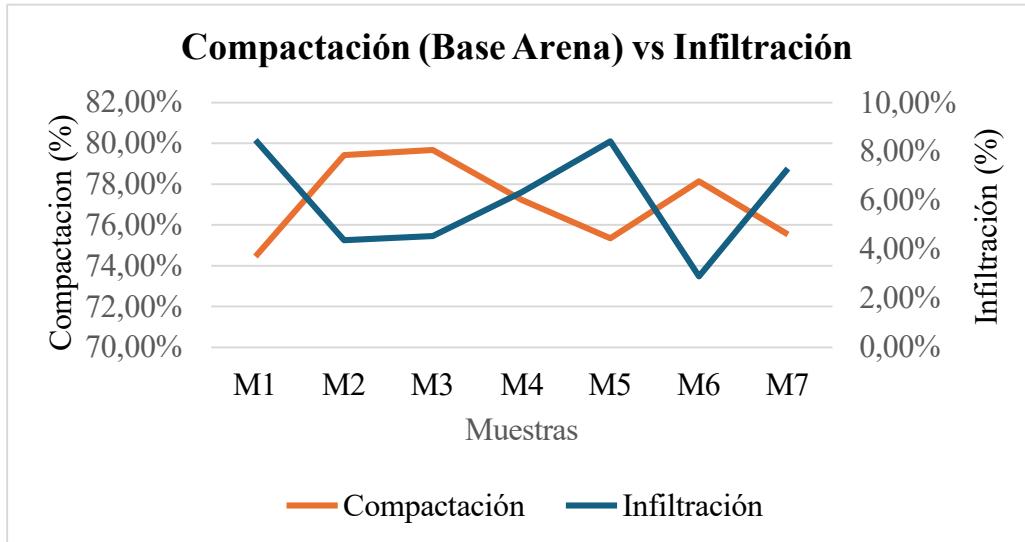


Figura 35. Diagrama de relación entre la compactación y la Infiltración.

4.4.3 Relación entre CBR (%) y el Grado de Compactación

En la **Figura 36.** Comparación entre el CBR (%) y el grado de compactación (%), se obtiene una relación $R^2 = 0.7999$, la misma que muestra una correlación positiva fuerte entre ambas variables, evidenciando que los datos presentan un ajuste adecuado a la línea de tendencia.

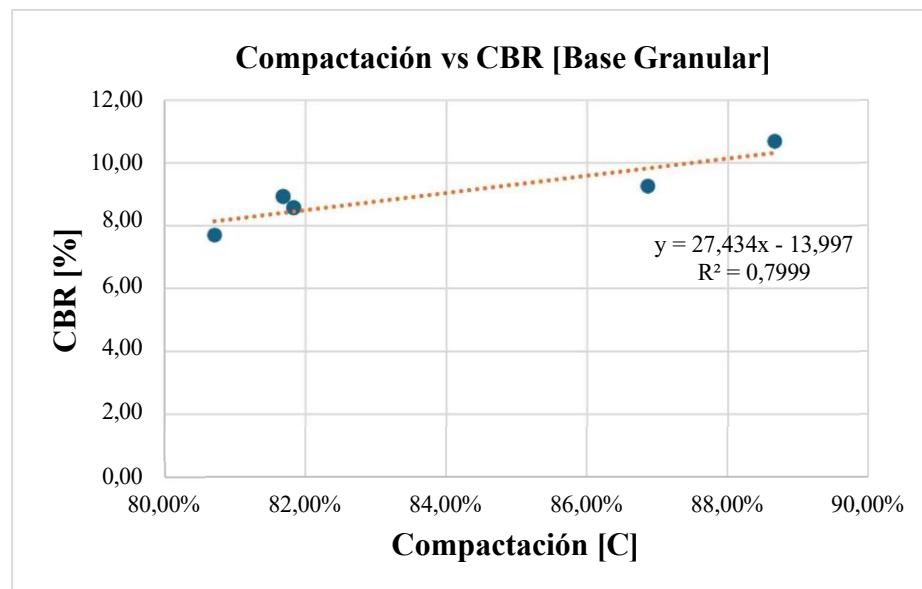


Figura 36. Comparación entre el CBR (%) y el grado de compactación (%).

En la **Figura 37.** Diagrama de relación entre la compactación y el CBR, se puede evidenciar una correlación directamente proporcional. Este resultado indica que el CBR aumenta proporcionalmente con el grado de compactación, lo cual es coherente con el comportamiento esperado de los suelos, donde una mayor densificación mejora la resistencia al esfuerzo cortante y, por tanto, la capacidad de soporte.

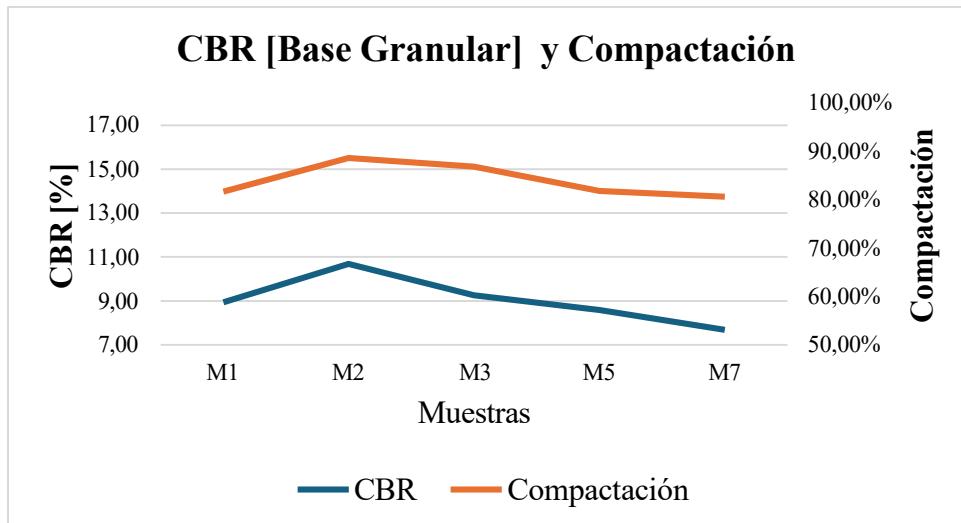


Figura 37. Diagrama de relación entre la compactación y el CBR.

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Al culminar la caracterización de las propiedades físicas de las siete muestras extraídas en la parroquia Huachi Grande, se identificó que cinco de ellas corresponden a un pavimento articulado compuesto por una capa de rodadura (adoquín), una cama de arena, una capa granular construida sobre una subrasante, conformando una estructura estratificada completa. Y las dos muestras restantes corresponden a un pavimento articulado conformado únicamente por una capa de rodadura (adoquín) y una cama de arena, construidas directamente sobre la subrasante, evidenciando la ausencia de la capa granular en dichas zonas.
- A partir de los resultados obtenidos, se determinó que la capa de base de arena corresponde predominantemente al grupo SP (arenas pobremente gradadas), con excepción de la muestra 6, clasificada como SW (arena bien gradada) según el sistema SUCS. En la base granular, las muestras se ubicaron principalmente en la Clase 1, tipo A y B, conforme a la normativa MTOP, lo que las califica como materiales de alta calidad para capas de base. No obstante, en las muestras 4 y 6 se evidenció la ausencia de la capa granular, encontrándose únicamente la base de arena y la subrasante, lo que representa una discontinuidad estructural que podría afectar el desempeño del pavimento. Finalmente, la subrasante se clasificó dentro de los grupos SP, SW y SP-SW, correspondientes a arenas de baja plasticidad con presencia ocasional de limos no plásticos.
- En el análisis de las propiedades físicas del pavimento articulado se pudo evidenciar diversos parámetros en los cuales destaca aspectos como densidades, humedades y grado de compactación que son factores determinantes para garantizar la estabilidad, durabilidad y capacidad portante del sistema estructural. En función de la densidad, los valores in situ de las capas base de arena y granular son inferiores a lo que exige la normativa MTOP, reflejando una compactación deficiente. Por parte de las humedades, los valores in situ de encuentran ligeramente por debajo de las humedades óptimas, lo que se sugiere que en su proceso de compactación hubo una deficiente dosificación de agua. Por lo tanto teniendo en cuenta estos anteriores aspectos, podemos entender de mejor manera el comportamiento del grado compactación, ya que la base de arena (74.45% - 79.69%) y base granular (81.71% - 88.66%) presentan valores inferiores a los mínimos exigidos por la norma ($\geq 90\%$ y $\geq 95\%$ respectivamente), esto considera que el estado está en condiciones críticas que podría afectar al desempeño estructural del pavimento articulado, en circunstancias que se tengan cargas repetitivas o condiciones de humedad no previstas.
- En cuanto, a las propiedades mecánicas, los valores de CBR obtenidos in situ mediante el equipo GeoGauge resultaron inferiores a los límites mínimos establecidos por la normativa MTOP, evidenciando una capacidad portante limitada en las capas de base (granular) y subrasante, lo que podría afectar la estabilidad y durabilidad del pavimento articulado.

- Por parte de la capa de rodadura, los adoquines evaluados presentaron un promedio de resistencia a la compresión de 32.90 MPa, valor inferior al mínimo establecido por la normativa (36 MPa), y una absorción promedio de 6.81 %, ligeramente superior al límite máximo permitido. Estos resultados evidencian deficiencias en el proceso de fabricación o curado, que pueden afectar la durabilidad del pavimento.
- Para la caracterización de propiedades hidráulicas se utilizó el método de doble anillo adaptado, cual ofreció resultados interesantes y representativos, en torno al comportamiento del sistema estructural del pavimento estructural frente infiltraciones, permeabilidad y escorrentía, asociándolos con la compactación de las capas estructurales. En aspectos de infiltración encontramos que las muestras M1, M5 y M7 tienen valores de infiltración altos que van del 7% al 8%, visualizando que las capas tienen mayor presencia de vacíos y porosidad, mientras que las muestras M2, M3 y M6 tienen valores de infiltración más bajos que van del 3% al 5%, reflejado menor permeabilidad y mayor densificación de las capas. Por otro lado, el coeficiente de escorrentía en promedio general de las muestras tiene un valor de 93.95%, determinando que la superficie tiene un comportamiento predominante caracterizado como poco permeable, este valor pasa el límite establecido por la norma EIOS para superficies empedradas con juntas pequeñas, evidenciado que el pavimento articulado no permite un drenaje adecuado. Por tanto, podemos inferir que el comportamiento hidráulico del pavimento articulado depende del grado de compactación y la densidad presente en las capas estructurales.
- La interacción de resultados entre relaciones de características físicos-mecánicos con características hidráulicas del pavimento articulado, nos ha dejado claro como ciertos parámetros se ligan entre ellos para interpretar el comportamiento de la estructura del pavimento. En el caso de la relación entre el grado de compactación e infiltración se obtuvo una correlación fuerte y aceptable ($R^2 = 0.76$), demostrado que existe una relación inversamente proporcional es decir a mayor compactación se tiene una menor infiltración. Por otro lado, la relación entre CBR y grado de compactación también se obtuvo una correlación fuerte ($R^2 = 0.79$), en este caso podemos inferir que mientras el CBR aumenta, la compactación también crece proporcionalmente, concordando con el principio que un material más compacto alcanza mayores densidades secas, por ende, se tiene valores más altos de CBR.

5.2 Recomendaciones

- Para el ensayo de infiltración se recomienda que los todos o en su mayoría de ensayos sean realizados en condiciones climáticas similares, preferiblemente que sean en condiciones que el clima sea soleado y sin que se haya presenciado lloviznas anteriormente, esta condición se la puede asociar a una de las situaciones más recurrentes en la zona centro del Ecuador, pues los cambios climáticos en ciertas temporadas son muy bruscos, de esta manera se entendería mejor como se comportaría las características hidráulicas de la estructura del pavimento articulado en un escenario importante de estudio.
- Para la recolección de información del CBR, por la cual se obtiene Modulo de Young y Modulo de Rigidez, se recomienda que las superficies en estudio estén en condiciones adecuadas, es decir que se encuentren aplanado y nivelado lo más posible, además que las condiciones del material del suelo se encuentren en estado natural evitando que se encuentren muy saturados o secos.
- Resulta imprescindible mantener un seguimiento continuo del desempeño de los pavimentos articulados, considerando con detalle la interacción entre los factores que condicionan su respuesta hidráulica y aquellos relacionados con sus propiedades físicas y mecánicas. Este tipo de análisis contribuirá a obtener información relevante que favorezca la toma de decisiones en los procesos de gestión y conservación de este tipo de infraestructura

BIBLIOGRAFÍA

- [1] INEC, “CENSO ECUADOR Cuenta Conmigo,” 2022. Accessed: Aug. 21, 2025. [Online]. Available: <https://cubos.inec.gob.ec/AppCensoEcuador/>
- [2] H. Quintana and F. Reyes, *Pavimentos - 2da edición: Materiales, construcción y diseño*, 2da edición. Bogota: ECOE, 2022. Accessed: Dec. 15, 2024. [Online]. Available: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=UBt1EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA616&dq=pavimento&ots=qum9rBuKsr&sig=GcPpDP28gOvmccNKKs3NXOy5gGg#v=onepage&q=pavimento&f=false>
- [3] Á. Navas and C. Rincón, “ADOQUÍN AVANZADO, UN PROTOTIPO DE PAVIMENTO ARTICULADO PARA VÍAS DE ALTO FLUJO VEHICULAR,” UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA SECCIONAL DEL ALTO MAGDALENA FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL, 2020. Accessed: Dec. 04, 2024. [Online]. Available: <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/7757>
- [4] GADPR Huachi Grande, “PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PARROQUIA RURAL HUACHI GRANDE,” Ambato, Oct. 2020. Accessed: Jan. 29, 2025. [Online]. Available: <https://parroquiahuachigrande.gob.ec/docstrans/PDOT%20GADPR%20HUACHI%20GRANDE2020.11.10.pdf>
- [5] GADPR Huachi Grande, “GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DE LA PARROQUIA RURAL DE HUACHI GRANDE-GADPR HG,” Ambato, Oct. 2015. Accessed: Jan. 29, 2025. [Online]. Available: file:///C:/Users/HP/Downloads/PDYOT_HUACHI_GRANDE_VERSION_FINAL.pdf
- [6] H. Rondo and F. Reyes, *Pavimentos-materiales-construcción-y-diseno-contenido*. Lima, 2015. Accessed: Nov. 12, 2025. [Online]. Available: <https://www.ecoediciones.com/wp-content/uploads/2022/05/Pavimentos-materiales-construcción-y-diseno-contenido.pdf?srsltid=AfmBOoq-xKMGGkMi-W1eTU9pd5XpZOP9t09gKJSR2ecI9ovHoNcDE5fi>
- [7] MTOP, *MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS DEL ECUADOR SUBSECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE VOLUMEN No 3 ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES*, vol. 3. 2013. Accessed: Nov. 12, 2025. [Online]. Available: https://www.mit.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_2A.pdf
- [8] X. Sánchez, “DISEÑO DE PAVIMENTOS ARTICULADOS PARA TRÁFICOS MEDIO Y ALTO XIOMARA ALEJANDRA SÁNCHEZ CASTILLO Proyecto de grado para

- optar por el título de Ingeniero Civil Directora,” Universidad de los Andes, Bogotá, 2003. Accessed: Nov. 12, 2025. [Online]. Available: <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/6f011213-8675-4efb-be13-9a294063ecb5/content>
- [9] R. Bahamondes, T. Echaveguren, and S. Vargas, “Revista de la Construcción,” *Revista de la Construcción*, vol. 12, pp. 17–26, Dec. 2013, [Online]. Available: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=127631072002>
- [10] R. Miranda, “DETERIOROS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS,” Universidad Austral de Chile, Valdivia, 2010. Accessed: Nov. 12, 2025. [Online]. Available: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/bmfcim672d/doc/bmfcim672d.pdf>
- [11] S. Díaz, “LA REVALORACIÓN DE LA PERFORMANCE FUNCIONAL Y ESTRUCTURAL DE LOS PAVIMENTOS ARTICULADOS EN LA CIUDAD DE JAÉN,” UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA, Cajamarca, 2018. Accessed: Nov. 12, 2025. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/20.500.14074/2571>
- [12] INVIAST, *Normas y especificaciones INVIAST 2012*. Bogotá, 2012. Accessed: Nov. 12, 2025. [Online]. Available: https://www3.dfc.gov/Environment/EIA/pasto/Annexes/Pedregal/Annex_7.pdf
- [13] P. Llerena, “Análisis para la obtención de límite líquido y límite plástico según la Norma ASTM D4318 en comparación con la norma BS 1377:1990 en suelos de diferente plasticidad,” Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2022. Accessed: Nov. 12, 2025. [Online]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/22849/1/CD%2012311.pdf>
- [14] ASTM International (ASTM D2216), “Métodos de prueba estándar para la determinación del laboratorio del contenido de agua (humedad) del suelo y la roca en masa,” *Subcomité D18.03 sobre características de textura, plasticidad y densidad de los suelos*, 2019.
- [15] P. Sagüés, “Propiedades de los suelos compactados,” *LMSFIUBA*, 2008.
- [16] C. Castillo, “Selección y calibración de indicadores locales y técnico para evaluar la degradación de los suelos laderas, en la microcuenca Cuscamá El Tuma-La Dalia, Matagalpa,” UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA, Managua, 2005. Accessed: Nov. 13, 2025. [Online]. Available: <https://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/1094>
- [17] ASTM International (ASTM D4318-05), “Métodos de prueba estándar para las características de compactación del suelo en laboratorio utilizando un esfuerzo estándar (12 400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m/ m³)),” *Subcomité D18.03 sobre características de textura, plasticidad y densidad de los suelos*, Mar. 2025, [Online]. Available: www.civilgeeks.com

- [18] J. Quinchimba and A. Yáñez, “Evaluación de la influencia del tamaño de agregado en la densidad seca máxima y contenido de humedad óptimo en suelos granulares mediante el ensayo proctor modificado en la ciudad de Quito,” UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO, Quito, 2024. Accessed: Nov. 13, 2025. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/28875>
- [19] C. Crepo, *Mecánica de suelos y cimentaciones*, Noriega Editores. Monterrey, 1976. Accessed: Nov. 13, 2025. [Online]. Available: <https://books.google.com.pe/books?id=Db2SQbBHVPQC&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>
- [20] B. Álvarez and S. Guachamín, “Correlación entre la resistencia a la tracción indirecta y la resistencia climática (absorción de agua) en adoquines de hormigón en la ciudad de Quito,” UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO, Quito, 2020. Accessed: Nov. 13, 2025. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19410>
- [21] I. Baptista and E. Abdul, “Efecto de la microestructura en la permeabilidad, la compresibilidad ante carga y el módulo de corte de un limo arcilloso compactado,” Universidad Cataluña, Ingeniería de Terreno, Cartografía y Geofísica, 2013. Accessed: Nov. 13, 2025. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/2099.1/20757>
- [22] L. Cárdenas, “Comprobación del Módulo de Young y la Rigidez de la capa estructural de varias muestras de suelo mediante ensayos del Geogauge y correlacionarlos con el Densímetro Nuclear y el Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP),” UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, Quito, 2018. Accessed: Nov. 13, 2025. [Online]. Available: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/17554>
- [23] NTE INEN 3040, “ADOQUINES DE HORMIGÓN. REQUISITOS Y MÉTODOS DE ENSAYO,” 2016. Accessed: Dec. 04, 2025. [Online]. Available: https://vipresa.com.ec/wp-content/uploads/2019/02/nte_inen_3040.pdf
- [24] NTE INEN 860, “Determinación del valor de la degradación del Árido Grueso de las partículas menores a 37.5 mm mediante el uso de la Máquina de los Ángeles,” 2011. Accessed: Aug. 21, 2025. [Online]. Available: <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-politecnica-salesiana/hormigon-armado-de-elementos-a-flexo/nte-inen-860-tecnologia-del-hormigon/114292761>
- [25] J. Úbeda and Y. Delgado, “La infiltración del agua en los suelos y componentes artificiales y materia orgánica que se utilizan en ellos para la agricultura,” *Rev. iberoam. bioecon. cambio clim.*, vol. 4, no. 7, pp. 889–896, Jul. 2018, doi: 10.5377/ribcc.v4i7.6299.

- [26] S. Angelone, M. Garibay, and M. Cauhapé, “Permeabilidad en Suelos,” *Geología y Geotecnia*, p. 9, Oct. 2006, Accessed: Nov. 13, 2025. [Online]. Available: <https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Permeabilidad%20en%20Suelos.pdf>
- [27] L. Narváez, “Determinación de escorrentía superficial y calidad de agua en la cuenca de abastecimiento de la parroquia de Aloasí,” UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO, Quito, 2023. Accessed: Nov. 13, 2025. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24416>
- [28] NTE INEN 696, “ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS FINO Y GRUESO,” 2011. Accessed: Aug. 21, 2025. [Online]. Available: <https://es.slideshare.net/slideshow/granulometria-nte-inen-696/251239856>
- [29] ASTM-D2487, “Practica estándar para la clasificación de suelos con propósitos ingenieriles (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos),” 2011.
- [30] INEN 691, “Determinación del Límite Líquido Método Casa Grande,” 1982. Accessed: Aug. 21, 2025. [Online]. Available: <https://es.scribd.com/document/328641447/691-LIMITE-LIQUIDO-CASA-GRANDE-pdf>
- [31] INEN 692, “Determinación del Límite Plástico,” 1982, Accessed: Aug. 21, 2025. [Online]. Available: <https://es.scribd.com/document/250311677/692>
- [32] AASHTO T180, “ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO ,” 2015. Accessed: Aug. 21, 2025. [Online]. Available: <https://ensayosdelaboratoriosuelos.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/12/proctor-modificado-espac3b1ol.pdf>
- [33] NTE INEN 856, “Determinación de la Densidad, Densidad Relativa(Gravedad Específica) y Absorción del Árido fino,” Dec. 2010. Accessed: Aug. 21, 2025. [Online]. Available: <https://es.scribd.com/document/268902509/NORMA-856-H>
- [34] NTE INEN 857, “Determinación de la Densidad, Densidad relativa (Gravedad Específica) y Absorción del árido Grueso,” Oct. 2010. Accessed: Aug. 21, 2025. [Online]. Available: <https://es.scribd.com/document/364038726/857>
- [35] ASTM 6758, “Measuring Stiffness and Apparent Modulus of Soil and Soil-Aggregate In-Place by An Electro-Mechanical Method,” 2002. Accessed: Aug. 21, 2025. [Online]. Available: <https://es.scribd.com/document/681620501/D-6758>
- [36] ASTM D1556, “Método de prueba Estándar para Densidad y Peso Unitario del Suelo en su lugar por Cono De Arena,” 1996. Accessed: Aug. 21, 2025. [Online]. Available: <https://es.scribd.com/document/424128333/1-Norma-Astm-d1556-1>
- [37] E. Mamani, “Ensayo de Cono De Arena,” 2019.

- [38] ASTM D-3385, “Método de Ensayo Estándar para Tasa de Infiltración de Suelos en Campo Utilizando Infiltrómetro Doble Anillo,” 2003.
- [39] J. Casco and Salcán Vinicio, “CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, MECÁNICAS E HIDRÁULICAS EVALUADAS EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DEL CORREDOR VIAL FLORES - CEBADAS,” 2024.
- [40] M. Y. Abu-Farsakh, K. Alshibli, M. Nazzal, and E. Seyma, “Assessment of in-situ Test Technology for Construction Control of Base Courses and Embankments,” May 2004. Accessed: Aug. 21, 2025. [Online]. Available: <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/22153>
- [41] P. Urquiza, “COMPARACIÓN TÉCNICA ENTRE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO DE MÓDULO DE YOUNG Y C.B.R PARA BASES Y SUBBASES,” Quito, 2019. Accessed: Aug. 21, 2025. [Online]. Available: <https://repositorio.puce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/8321536b-6a14-4578-a373-53cb6854a562/content>
- [42] H. Ródon-Quintana, W. Fernández-Gómez, and J. Hernández-Noguera, “Vista de Influencia de la rigidez de la subrasante y las capas granulares sobre la vida a fatiga de mezclas asfálticas,” no. 31, 2013, Accessed: Aug. 21, 2025. [Online]. Available: <https://revistas.itm.edu.co/index.php/tecnologicas/article/view/101/101>
- [43] AASHTO-93, “Diseño de Pavimentos (AASHTO-93) Design of Pavement Stru,” 2006.
- [44] MTOP, “ESPECIFICACIONES TECNICAS,” 2002.

ANEXOS

| UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL | | | |
|---|---|--|--|
| ANEXO FOTOGRAFICO | | | Nº |
| Autores | Manobanda Tonato Anthony Roberto | TUTOR | Ing. Alfonso Patricio Arellano Barriga, Mgs |
| | Poaquiza Sisa Jairo David | UBICACIÓN | Huachi Grande |
| Extracción de muestras | | Ensayo GeoGauge | |
| |  | |  |
| Ensayo Cono de Arena | | Ensayo Granulometría | |
| |  | |  |
| Ensayo Límites de Atterberg – Límite líquido | | Ensayo Límites de Atterberg – Límite plástico (N/E) | |
| |  | |  |

| | |
|---|--|
| Ensayo densidad y absorción - Fino | Ensayo densidad y absorción - Grueso |
|  |  |
| Ensayo Proctor Modificado | Ensayo Infiltración – colocación de la silicona en el caucho |
|  |  |
| Ensayo Infiltración | Ensayo Absorción Adoquines |
|  |  |
| Ensayo Compresión Adoquines | Ensayo Abrasión Maquina de los Ángeles |
|  |  |

Anexo 1. Ensayos Realizados



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

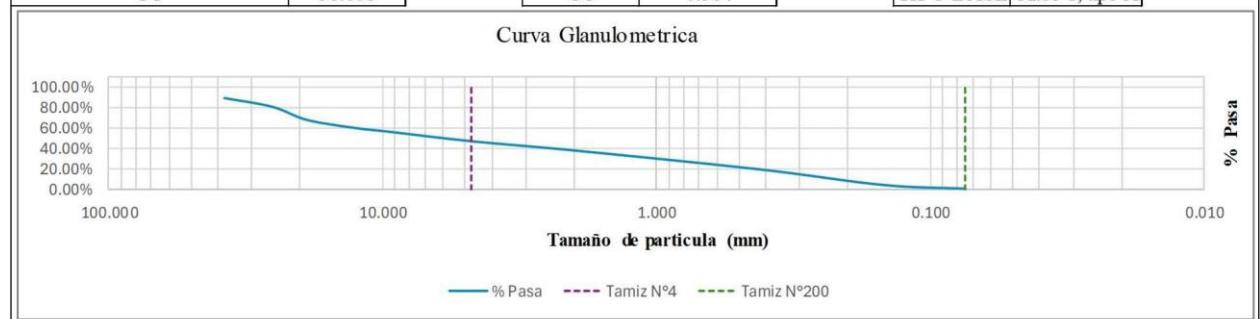


| TEMA DE INVESTIGACIÓN | CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, MECÁNICAS E HIDRÁULICAS EVALUADAS EN EL PAVIMENTO ARTICULADO DE LA PARROQUIA DE HUACHI GRANDE | | | | |
|-----------------------|--|---------------|---------|---------|---|
| | Ensayo | GRANULOMETRÍA | | | MUESTRA 7 |
| Ubicación | Huachi Grande | Norte | 9854973 | Autores | Manobanda Anthony y Poaqua Jairo |
| Material | Base Granular del Pavimento Articulado | Este | 763082 | Tutor | Ing. Alfonso Patricio Arellano Barriga, Mg. |

| | | | | | | | |
|-----------------------------------|-------|-------|------------------------------------|--------|-------|----------|--------|
| Masa Recipiente | 0.53 | [kg] | Masa inicial neta de la muestra | 8.595 | [kg] | % Gravas | 42.99% |
| Masa inicial muestra + recipiente | 9.125 | [kg] | Masa final neta de la muestra | 8.592 | [kg] | % Arenas | 51.72% |
| Masa final muestra + recipiente | 9.122 | [kg] | % de error en el ensayo | 0.035% | [%] | % Finos | 5.28% |
| | | | El error es admisible en el ensayo | | | CU | 58.01 |
| | | | | | | CC | 0.36 |

| ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO | | | | | | |
|-------------------------|---------------|---------------|------------|------------|--------|--|
| Tamiz (AST) | Abertura (mm) | Masa Retenida | % Retenido | % Retenido | % Pasa | |
| 1 1/2" | 38.10 | 0.88 | 10.20% | 10.20% | 89.80% | |
| 1" | 25.40 | 0.73 | 8.52% | 18.72% | 81.28% | |
| 3/4" | 19.00 | 1.10 | 12.78% | 31.49% | 68.51% | |
| 1/2" | 12.50 | 0.69 | 8.01% | 39.50% | 60.50% | |
| 3/8" | 9.50 | 0.30 | 3.49% | 42.99% | 57.01% | |
| No. 4 | 4.75 | 0.79 | 9.24% | 52.23% | 47.77% | |
| No. 10 | 2.00 | 0.77 | 9.00% | 61.23% | 38.77% | |
| No. 40 | 0.43 | 1.57 | 18.28% | 79.52% | 20.48% | |
| No. 100 | 0.15 | 1.31 | 15.20% | 94.72% | 5.28% | |
| No. 200 | 0.08 | 0.32 | 3.67% | 98.38% | 1.62% | |
| Fondo | | 0.14 | 1.62% | 100.00% | 0.00% | |
| | TOTAL | 8.6 | 100.00% | | | |

| COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Y COEFICIENTE DE CURVATURA | | | | | | | |
|---|--------|--|-----|-------|--|-----------|-----------------|
| D1 | 0.425 | | D1 | 2 | | D1 | 9.500 |
| D2 | 0.15 | | D2 | 0.425 | | D2 | 12.500 |
| D10 | 0.207 | | D30 | 0.952 | | D60 | 12.020 |
| 1% | 0.20 | | 1% | 0.39 | | 1% | 0.570 |
| 2% | 0.05 | | 2% | 0.20 | | 2% | 0.605 |
| CU | 58.008 | | CC | 0.364 | | TIPO BASE | Clase 1, tipo A |



Anexo 2. Formato de cálculos para el ensayo de Granulometría

| TEMA DE INVESTIGACION | | CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, MECÁNICAS E HIDRÁULICAS EVALUADAS EN EL PAVIMENTO ARTICULADO DE LA PARROQUIA DE HUACHI GRANDE | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------|--|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|---------------------|------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| ENSAYO | | LIMITES DE ATTERBERG | | | | | | | | | | | | | | | |
| UBICACIÓN | HUACHI GRANDE | NORTE | 762717 | DESARROLLADO POR | ANTHONY MANOBANDA JAIRO POAQUIZA | | | | | | | | | | | | |
| | | ESTE | 9854494 | | | | | | | | | | | | | | |
| MATERIAL | ARENA | MUESTRA | 1 | TUTOR DE INVESTIGACION | ING. ALFONSO ARELLANO | | | | | | | | | | | | |
| RECOLECCION DE DATOS | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Limite Liquido | | | | Limite Plastico | | | | | | | | | | | |
| Numero de Ensayo | Nombre de Tara | Peso de Tara (gr) | Peso de Tara + Suelo Humedo (gr) | Peso de Tara + Suelo Seco (gr) | Golpes | Nombre de Tara | Peso de Tara (gr) | Peso de Tara + Suelo Humedo (gr) | Peso de Tara + Suelo Seco (gr) | | | | | | | | |
| 1 | A1 1a | 7.20 | 10.90 | 10.20 | 12 | | | | | | | | | | | | |
| | A1 1b | 7.30 | 11.00 | 10.30 | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | A1 2a | 7.10 | 11.00 | 10.30 | 8 | | | | | | | | | | | | |
| | A1 2b | 7.20 | 10.60 | 10.00 | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | A1 3a | 7.20 | 11.30 | 10.60 | 7 | | | | | | | | | | | | |
| | A1 3b | 7.20 | 10.40 | 9.80 | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | A1 4a | 7.20 | 11.50 | 10.70 | 6 | | | | | | | | | | | | |
| | A1 4b | 7.30 | 11.00 | 10.30 | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | A1 5a | 7.20 | 12.60 | 11.60 | 4 | | | | | | | | | | | | |
| | A1 5b | 6.70 | 11.90 | 10.90 | | | | | | | | | | | | | |
| RESULTADOS LIMITE LIQUIDO | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Numero de Ensayo | Nombre de Tara | Peso de Tara (gr) | Peso de Tara + Suelo Humedo (gr) | Peso de Tara + Suelo Seco (gr) | Golpes | Peso de Agua (gr) | Peso de Suelo Seco (gr) | Contenido de Agua % | Promedio Contenido de Agua % | | | | | | | | |
| 1 | A1 1a | 7.20 | 10.90 | 10.20 | 12 | 0.70 | 3.00 | 23.33% | 23.33% | | | | | | | | |
| | A1 1b | 7.30 | 11.00 | 10.30 | | 0.70 | 3.00 | 23.33% | | | | | | | | | |
| 2 | A1 2a | 7.10 | 11.00 | 10.30 | 8 | 0.70 | 3.20 | 21.88% | 21.65% | | | | | | | | |
| | A1 2b | 7.20 | 10.60 | 10.00 | | 0.60 | 2.80 | 21.43% | | | | | | | | | |
| 3 | A1 3a | 7.20 | 11.30 | 10.60 | 7 | 0.70 | 3.40 | 20.59% | 21.83% | | | | | | | | |
| | A1 3b | 7.20 | 10.40 | 9.80 | | 0.60 | 2.60 | 23.08% | | | | | | | | | |
| 4 | A1 4a | 7.20 | 11.50 | 10.70 | 6 | 0.80 | 3.50 | 22.86% | 23.10% | | | | | | | | |
| | A1 4b | 7.30 | 11.00 | 10.30 | | 0.70 | 3.00 | 23.33% | | | | | | | | | |
| 5 | A1 5a | 7.20 | 12.60 | 11.60 | 4 | 1.00 | 4.40 | 22.73% | 23.27% | | | | | | | | |
| | A1 5b | 6.70 | 11.90 | 10.90 | | 1.00 | 4.20 | 23.81% | | | | | | | | | |
| Límite Liquido | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | x | y | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 8 | 21.65% | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 7 | 21.83% | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 6 | 23.10% | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 4 | 23.27% | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 25 | 1G.10% | | | | | | | | | | | | | | |
| LIMITES | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 25 | 24% | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 25 | 0% | | | | | | | | | | | | | | |
| LÍMITE LÍQUIDO | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y = -0.024\ln(x) + 0.2674$ $R^2 = 0.9542$ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RESULTADOS LIMITE PLASTICO | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nombre de Tara | Peso de Tara (gr) | Peso de Tara + Suelo Humedo (gr) | Peso de Tara + Suelo Seco (gr) | Peso de Agua (gr) | Peso de Suelo Seco (gr) | Contenido de Agua % | Promedio Contenido de Agua % | | | | | | | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | - | - | | | | | | | | | | |
| | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | - | - | | | | | | | | | | |
| | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | - | - | | | | | | | | | | |
| | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | - | - | | | | | | | | | | |

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

Anexo 4. Formato de Cálculo para el ensayo de Proctor Modificado



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



| TEMA DE INVESTIGACION | | CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, MECÁNICAS E HIDRÁULICAS EVALUADAS EN EL PAVIMENTO ARTICULADO DE LA PARROQUIA DE HUACHI GRANDE | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------------------------|--|-----------------------------|--|------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|-----------|--|--|--|--|
| ENSAYO | | DENSIDADES Y PESO ESPECIFICO | | | | | | | | | | |
| UBICACIÓN | HUACHI GRANDE | NORTE | 762717 | DESARROLLADO POR | | ANTHONY MANOBANDA JAIRO POAQUIZA | | | | | | |
| | | ESTE | 9854494 | | | | | | | | | |
| MATERIAL | GRANULAR | MUESTRA | 1 | TUTOR DE INVESTIGACION | | ING. ALFONSO ARELLANO | | | | | | |
| RECOLECCION DE DATOS | | | | | | | | | | | | |
| AGREGADOS FINOS | | | | | | | | | | | | |
| Nombre Charola | Masa en estado SSS (gr) | Peso Picnometro (gr) | Peso Pictometro + Agua (gr) | Peso Charola (gr) | Peso picnometro con agua + Muestra | Peso charola + Muestra picnometro | Peso charola + Muestra seca | | | | | |
| | GRA 1 | 500.00 | 367.00 | 1189.00 | 610.00 | 1488.75 | 1732.50 | 1088.63 | | | | |
| Nombre Charola | Masa en estado SSS (gr) | Peso picnometro con agua + Muestra | Peso Pictometro + Agua (gr) | Masa muestra seca (gr) | Peso Especifico | Gravedad especifica en estado SSS | Gravedad especifica aparente | Absorcion | | | | |
| GRA 1 | 500.00 | 1488.75 | 1189.00 | 478.63 | 2.38 | 2.49 | 2.67 | 4.47% | | | | |
| AGREGADOS GRUESOS | | | | | | | | | | | | |
| Nombre Charola | Peso canastilla (gr) | Peso canastilla sumergida (gr) | Masa en estado SSS (gr) | Peso sumergido canastilla + muestra (gr) | Peso Charola (gr) | Peso charola + muestra saturada (gr) | Peso charola + muestra seca (gr) | | | | | |
| | GRA 1 | 747.30 | 652.70 | 2000.00 | 1852.23 | 499.00 | 2507.75 | 2446.50 | | | | |
| Nombre Charola | Masa en estado SSS (gr) | Peso muestra saturada (gr) | Peso muestra seca (gr) | Peso Especifico | Gravedad especifica en estado SSS | Gravedad especifica aparente | Absorcion | | | | | |
| GRA 1 | 2000.00 | 1199.53 | 1947.50 | 2.43 | 2.49 | 2.60 | 2.69% | | | | | |

Anexo 5. Formato de Cálculo para el ensayo Densidades y Peso específico



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



| TEMA DE INVESTIGACION | CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, MECÁNICAS E HIDRÁULICAS EVALUADAS EN EL PAVIMENTO ARTICULADO DE LA PARROQUIA DE HUACHI GRANDE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|---------------|-------------------|------------------------|-------------------------------------|---------|--------------------------------------|---------|-----------------------------------|---------|------------|--------|-------|----|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|-------------------|-------|--|---------|----|--|--------------|-----|--|-----------------|---------|--|
| ENSAYO | ABRASION | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| UBICACIÓN | HUACHI GRANDE | NORTE ESTE | 762717 9854494 | DESARROLLADO POR | ANTHONY MANOBANDA JAIRO POAQUIZA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MATERIAL | GRANULAR | MUESTRA | 1 | TUTOR DE INVESTIGACION | ING. ALFONSO ARELLANO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RECOLECCION DE DATOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"><tbody><tr><td>Pasa</td><td>Retiene</td><td>A</td></tr><tr><td></td><td>1 1/2"</td><td>1.210</td></tr><tr><td>1 1/2"</td><td>1"</td><td>0.174</td></tr><tr><td>1"</td><td>3/4"</td><td>0.387</td></tr><tr><td>3/4"</td><td>1/2"</td><td>1.069</td></tr><tr><td>1/2"</td><td>3/8"</td><td>0.798</td></tr><tr><td>3/8"</td><td>No 4</td><td>1.354</td></tr><tr><td>Peso Muestra (kg)</td><td>4.992</td><td></td></tr><tr><td>Esferas</td><td>12</td><td></td></tr><tr><td>Revoluciones</td><td>500</td><td></td></tr><tr><td>Velocidad (rpm)</td><td>30 - 33</td><td></td></tr></tbody></table> | | | | | Pasa | Retiene | A | | 1 1/2" | 1.210 | 1 1/2" | 1" | 0.174 | 1" | 3/4" | 0.387 | 3/4" | 1/2" | 1.069 | 1/2" | 3/8" | 0.798 | 3/8" | No 4 | 1.354 | Peso Muestra (kg) | 4.992 | | Esferas | 12 | | Revoluciones | 500 | | Velocidad (rpm) | 30 - 33 | |
| Pasa | Retiene | A | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1 1/2" | 1.210 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 1/2" | 1" | 0.174 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1" | 3/4" | 0.387 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3/4" | 1/2" | 1.069 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1/2" | 3/8" | 0.798 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3/8" | No 4 | 1.354 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Peso Muestra (kg) | 4.992 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Esferas | 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Revoluciones | 500 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Velocidad (rpm) | 30 - 33 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ABRASION | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"><tbody><tr><td>Peso Total de Muestra (gr)</td><td>4992.00</td></tr><tr><td>Peso Retenido en el Tamiz No 12 (gr)</td><td>3489.12</td></tr><tr><td>Peso que Pasa el Tamiz No 12 (gr)</td><td>1502.88</td></tr><tr><td>DESGASTE %</td><td>30.11%</td></tr></tbody></table> | | | | | Peso Total de Muestra (gr) | 4992.00 | Peso Retenido en el Tamiz No 12 (gr) | 3489.12 | Peso que Pasa el Tamiz No 12 (gr) | 1502.88 | DESGASTE % | 30.11% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Peso Total de Muestra (gr) | 4992.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Peso Retenido en el Tamiz No 12 (gr) | 3489.12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Peso que Pasa el Tamiz No 12 (gr) | 1502.88 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DESGASTE % | 30.11% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Anexo 6. Formato de Cálculo para el ensayo de Abrasión Maquina de los Ángeles

| | | | | | | |
|--|--|------------------------------------|------------------------|-----------------------------------|--|---|
|  | UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL | | | | |  |
| TEMA DE INVESTIGACIÓN CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, MECÁNICAS E HIDRÁULICAS EVALUADAS EN EL PAVIMENTO ARTICULADO DE LA PARROQUIA DE HUACHI GRANDE | | | | | | |
| Ensayo | Absorción de adoquines | | | | Ubicación | Huachi Grande |
| Autores | Manobanda Anthony | | | Forma de adoquin | Peatonal | |
| | Poaquíza Jairo | | tipo de adoquin | Hexagonal/Biselado | | |
| Tutur | Ing. Alfonso Patricio Arellano Barriga, Mgs | | | | Nº muestras | 10 |
| Identificación | Longitud [cm] | Ancho [cm] | Espesor [cm] | Masa Saturada de agua [Kg] | Masa Seca [Kg] | Absorción [%] |
| 1 | 25 | 23 | 9 | 9.915 | 9.128 | 8.622% |
| 2 | 25 | 23 | 9 | 9.552 | 9.021 | 5.886% |
| 3 | 24 | 22 | 8 | 8.606 | 8.093 | 6.339% |
| 4 | 24.5 | 22.5 | 8.5 | 8.461 | 8.019 | 5.512% |
| 5 | 24 | 22 | 8.5 | 8.511 | 7.993 | 6.481% |
| 6 | 24 | 22 | 8.5 | 8.991 | 8.475 | 6.088% |
| 7 | 23 | 21.5 | 8 | 7.143 | 6.610 | 8.064% |
| 8 | 24 | 22 | 8.5 | 8.542 | 7.916 | 7.908% |
| 9 | 24.5 | 22 | 8 | 8.417 | 7.851 | 7.209% |
| 10 | 24.5 | 22 | 8 | 7.890 | 7.440 | 6.048% |
| Ensayo | Resistencia de adoquines | | | | | |
| | IDENTIFICACION | Area Total (mm²) | Espesor | Carga Maxima [N] | Resistencia a la Compresion [Mpa] | |
| | 1 | 50873.5 | 9 | 66039 | 1.149 | |
| | 2 | 50873.5 | 9 | 31499 | 0.548 | |
| | 3 | 50873.5 | 8 | 2020152 | 35.133 | |
| | 4 | 50873.5 | 8.5 | 2143251 | 38.88 | |
| | 5 | 50873.5 | 8.5 | 1593965 | 30.189 | |
| | 6 | 48307.8 | 8.5 | 2725346 | 51.616 | |
| | 7 | 42918.7 | 8 | 2661371 | 53.819 | |
| | 8 | 52191.9 | 8.5 | 953818 | 18.065 | |
| | 9 | 48589.3 | 8 | 2681690 | 49.753 | |
| | 10 | 48589.3 | 8 | 2685032 | 49.815 | |
| | Absorción promedio [%] | | | | 6.816% | |
| | Resistencia adoquin promedio [Mpa] | | | | 3289.670% | |

Anexo 7. Formato de Cálculo para el ensayo de Absorción de Adoquines y Resistencia de Adoquines



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



TEMA DE INVESTIGACIÓN

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, MECÁNICAS E HIDRÁULICAS EVALUADAS EN EL

| | | | | | |
|--------------------------|--|--------------|------------|----------------|---|
| Ensayo | Cono de Arena | | | Muestra | 1 |
| Ubicación | Huachi Grande | Norte | 9854494.00 | Autores | Manobanda Anthony y Poaquiza Jairo |
| Tipo de Pavimento | Pavimento Articulado | Este | 762717.00 | Tutor | Ing. Alfonso Patricio Arellano Barriga, Mgs |
| Material | Base granular del Pavimento Articulado | | | | |

1. Determinación del peso del suelo extraido

| | |
|------------------------------------|------|
| W material extraido del suelo [gr] | 3968 |
| W (quipo + arena) inicial [gr] | 4847 |
| W (quipo + arena) final [gr] | 1835 |

2. Determinación del Volumen del hueco en el suelo

| | |
|--|-------|
| W (quipo + arena) inicial [gr] | 4847 |
| W (quipo + arena) final [gr] | 1835 |
| Densidad de la Arena de Ensayo [gr/cm^3] | 1.300 |
| Masa de Arena de Ensayo Depositada en el suelo | 3012 |
| Volumen de Excavacion Ensayo [cm^3] | |

3. Determinación dw W%

| | | |
|--------------------------------|-------|-------|
| Numero de ensayo | 1 | 2 |
| Masa de Tara+Suelo Humedo [gr] | 82.56 | 76.45 |
| Masa de Tara+Suelo Seco [gr] | 77.26 | 72.23 |
| Masa de Agua [gr] | 5.30 | 4.22 |
| Masa de Suelo Seco[gr] | 62.96 | 57.73 |
| Contenido de Agua [%] | 8.41% | 7.31% |

HUMEDAD NATURAL

Promedio 7.86%

4. Densidad en Situ

| | |
|---|-------|
| Densidad Humeda del Suelo (Natural) [gr/cm^3] | 1.713 |
| Densidad del Suelo Seco [gr/cm^3] | 1.588 |

5. Grado de Compactación

| Densidad Optima en el Ensayo Proctor [gr/cm^3] | Densidad de Suelo Seco [gr/cm^3] | % de Compactación |
|--|----------------------------------|-------------------|
| 1.944 | 1.588 | 81.676% |

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

| PAVIMENTO ARTICULADO | | | | | | | | | | | |
|----------------------|---------------------------------|----------|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | VARIABLES | UNIDADES | CAPAS DEL PAVIMENTO | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | PROMEDIO |
| FISICAS | | | | | | | | | | | |
| 1 | Espesor | [cm] | Adoquin | 9 | 8.5 | 8.5 | 8 | 8 | 9 | 8 | 8.429 |
| | | | Base Arena | 6 | 3.5 | 9 | 6 | 3 | 5 | 7 | 5.643 |
| | | | Base Granular | 7.5 | 4 | 7 | - | 3.5 | - | 6 | 5.600 |
| | | | Subrasante | variable | |
| 2 | % Gravas Gruessas | % | Base Arena | 0.000% | 0.000% | 0.000% | 0.000% | 0.000% | 0.000% | 0.000% | 0.000% |
| | | | Base Granular | 7.415% | 6.846% | 6.467% | - | 9.060% | - | 31.494% | 12.257% |
| | | | Subrasante | 0.000% | 0.000% | 0.000% | 0.000% | 0.000% | 0.000% | 0.000% | 0.000% |
| 3 | % Gravas Finas | % | Base Arena | 0.000% | 0.519% | 0.399% | 2.652% | 2.160% | 2.163% | 2.565% | 1.494% |
| | | | Base Granular | 24.676% | 22.509% | 10.412% | - | 14.842% | - | 11.499% | 16.788% |
| | | | Subrasante | 0.000% | 0.814% | 0.321% | 0.000% | 0.000% | 0.000% | 0.770% | 0.272% |
| 4 | % Arena Gruessas | % | Base Arena | 19.721% | 21.812% | 20.153% | 24.644% | 23.764% | 23.024% | 22.414% | 22.219% |
| | | | Base Granular | 28.245% | 35.263% | 31.237% | - | 32.050% | - | 18.238% | 29.007% |
| | | | Subrasante | 45.748% | 29.487% | 24.464% | 8.691% | 3.262% | 6.465% | 31.948% | 21.438% |
| 5 | % Arenas Finas | % | Base Arena | 72.434% | 70.658% | 72.086% | 67.263% | 66.329% | 65.083% | 83.831% | 71.098% |
| | | | Base Granular | 35.858% | 29.804% | 43.169% | - | 39.811% | - | 33.485% | 36.425% |
| | | | Subrasante | 49.143% | 60.779% | 64.991% | 75.463% | 74.242% | 64.307% | 62.404% | 64.476% |
| 6 | % Material Fino | % | Base Arena | 7.845% | 7.011% | 7.362% | 5.441% | 7.747% | 9.729% | 16.675% | 8.830% |
| | | | Base Granular | 3.807% | 2.445% | 8.715% | - | 4.236% | - | 5.284% | 4.897% |
| | | | Subrasante | 5.109% | 8.920% | 10.224% | 15.846% | 22.497% | 29.228% | 4.878% | 13.815% |
| 7 | limite liquido | [%] | Base Arena | 19.105% | 17.765% | 17.885% | 17.111% | 17.618% | 17.382% | 18.030% | 17.842% |
| | | | Base Granular | 17.014% | 16.806% | 16.825% | - | 16.919% | - | 16.874% | 16.888% |
| | | | Subrasante | 22.351% | 22.185% | 21.797% | 20.870% | 23.209% | 21.775% | 22.129% | 22.045% |
| 8 | limite plastico | [%] | Base Arena | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | | Base Granular | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | | Subrasante | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 9 | Indice de plasticidad | [%] | Base Arena | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | | Base Granular | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | | Subrasante | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 10 | Gravedad Especifica [Gruessos] | | Base Arena | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | | Base Granular | 2.43 | 2.42 | 2.42 | - | 2.42 | - | 2.43 | 2.424 |
| | | | Subrasante | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 11 | Sss [Gruessos] | | Base Arena | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | | Base Granular | 2.491 | 2.484 | 2.489 | - | 2.480 | - | 2.498 | 2.488 |
| | | | Subrasante | - | - | - | - | - | - | - | - |

| | | | | | | | | | | | |
|----|--|---|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 12 | Gravedad Específica Aparente [Gruesos] | | Base Arena | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | | Base Granular | 2.596 | 2.585 | 2.592 | - | 2.578 | - | 2.607 | 2.592 |
| | | | Subrasante | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 13 | Absorción [Gruesos] | | Base Arena | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | | Base Granular | 2.688% | 2.609% | 2.661% | - | 2.556% | - | 2.767% | 0.027 |
| | | | Subrasante | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 14 | Gravedad Específica (Finos) | | Base Arena | 2.317 | 2.265 | 2.240 | 2.278 | 2.297 | 2.215 | 2.271 | 2.269 |
| | | | Base Granular | 2.383 | 2.355 | 2.373 | - | 2.336 | - | 2.412 | 2.372 |
| | | | Subrasante | 1.832 | 2.008 | 1.755 | 1.961 | 2.221 | 1.559 | 2.083 | 1.917 |
| 15 | Sss (Finos) | | Base Arena | 2.444 | 2.397 | 2.374 | 2.408 | 2.426 | 2.351 | 2.402 | 2.400 |
| | | | Base Granular | 2.489 | 2.462 | 2.480 | - | 2.444 | - | 2.518 | 2.479 |
| | | | Subrasante | 1.910 | 2.095 | 1.829 | 2.045 | 2.319 | 1.624 | 2.173 | 1.999 |
| 16 | Gravedad Específica Aparente (Finos) | | Base Arena | 2.655 | 2.610 | 2.588 | 2.621 | 2.638 | 2.566 | 2.615 | 2.613 |
| | | | Base Granular | 2.668 | 2.638 | 2.658 | - | 2.618 | - | 2.698 | 2.656 |
| | | | Subrasante | 1.988 | 2.199 | 1.897 | 2.142 | 2.462 | 1.667 | 2.291 | 2.092 |
| 17 | Absorción (Finos) | % | Base Arena | 5.485% | 5.820% | 5.988% | 5.736% | 5.611% | 6.157% | 5.778% | 5.797% |
| | | | Base Granular | 4.466% | 4.548% | 4.493% | - | 4.603% | - | 4.384% | 4.499% |
| | | | Subrasante | 4.275% | 4.330% | 4.248% | 4.316% | 4.384% | 4.167% | 4.350% | 4.296% |

| | | | | | | | | | | | |
|----|--|-----------|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 18 | Densidad Natural Cono de Arena | [gr/cm^3] | Base Arena | 1.580 | 1.626 | 1.613 | 1.552 | 1.500 | 1.596 | 1.611 | 1.582 |
| | | | Base Granular | 1.713 | 1.848 | 1.781 | - | 1.669 | - | 1.706 | 1.743 |
| | | | Subrasante | 1.654 | 1.679 | 1.715 | 1.662 | 1.654 | 1.755 | 1.651 | 1.682 |
| 19 | Densidad Seca Cono Arena | [gr/cm^3] | Base Arena | 1.442 | 1.496 | 1.489 | 1.439 | 1.389 | 1.480 | 1.486 | 1.460 |
| | | | Base Granular | 1.588 | 1.719 | 1.654 | - | 1.546 | - | 1.588 | 1.619 |
| | | | Subrasante | 1.427 | 1.463 | 1.480 | 1.431 | 1.441 | 1.501 | 1.445 | 1.455 |
| 20 | Humedad Natural IN SITU Cono de Arena | % | Base Arena | 9.607% | 8.719% | 8.265% | 7.856% | 7.954% | 7.823% | 8.419% | 8.378% |
| | | | Base Granular | 7.862% | 7.489% | 7.669% | - | 7.946% | - | 7.410% | 7.675% |
| | | | Subrasante | 15.889% | 14.768% | 15.863% | 16.132% | 14.821% | 16.947% | 14.272% | 15.527% |
| 21 | Densidad Óptima Proctor | [gr/cm3] | Base Arena | 1.937 | 1.883 | 1.869 | 1.863 | 1.844 | 1.894 | 1.948 | 1.891 |
| | | | Base Granular | 1.944 | 1.939 | 1.904 | - | 1.889 | - | 1.967 | 1.929 |
| | | | Subrasante | 1.583 | 1.575 | 1.610 | 1.580 | 1.589 | 1.604 | 1.597 | 1.591 |
| 22 | Humedad Óptima Proctor | % | Base Arena | 10.564% | 10.640% | 10.661% | 10.866% | 10.698% | 10.815% | 10.729% | 10.710% |
| | | | Base Granular | 10.049% | 10.054% | 10.093% | - | 10.110% | - | 10.023% | 10.066% |
| | | | Subrasante | 16.214% | 16.234% | 15.815% | 15.912% | 15.884% | 16.164% | 15.856% | 16.011% |
| 23 | Grado de Compactación | % | Base Arena | 74.449% | 79.422% | 79.695% | 77.226% | 75.347% | 78.137% | 75.525% | 77.114% |
| | | | Base Granular | 81.676% | 88.660% | 86.859% | - | 81.828% | - | 80.707% | 83.946% |
| | | | Subrasante | 90.142% | 92.877% | 91.947% | 90.581% | 90.675% | 93.584% | 90.491% | 91.471% |

| | MECÁNICA | | | | | | | | | | | |
|----|--|---------|---------------|---------|---------|---------|--------|---------|--------|---------|---------|---|
| 24 | Abrasión (Desgaste) | % | Base Arena | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | | Base Granular | 30.106% | 28.994% | 33.006% | - | 31.412% | - | 32.974% | 31.298% | |
| | | | Subrasante | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 25 | Módulo de Young | [Mpa] | Base Arena | 44.515 | 37.255 | 36.865 | 41.335 | 51.080 | 36.330 | 33.445 | 40.12 | |
| | | | Base Granular | 49.490 | 56.370 | 50.770 | - | 48.030 | - | 44.360 | 49.80 | |
| | | | Subrasante | 55.755 | 42.855 | 57.645 | 51.155 | 45.990 | 45.990 | 41.025 | 48.63 | |
| 26 | Módulo de Rígidez | [Mn/m] | Base Arena | 6.010 | 5.025 | 4.970 | 5.575 | 6.890 | 4.900 | 4.510 | 5.41 | |
| | | | Base Granular | 6.675 | 7.600 | 6.845 | - | 6.480 | - | 5.980 | 6.72 | |
| | | | Subrasante | 7.515 | 5.780 | 7.775 | 6.900 | 6.205 | 6.205 | 5.530 | 6.56 | |
| 27 | CBR | % | Base Arena | 7.733% | 6.060% | 5.973% | 6.987% | 9.337% | 5.854% | 5.227% | 6.739% | |
| | | | Base Granular | 8.941% | 10.686% | 9.259% | - | 8.582% | - | 7.696% | 9.033% | |
| | | | Subrasante | 10.527% | 7.341% | 11.019% | 9.356% | 8.086% | 8.086% | 6.915% | 8.762% | |
| 28 | Resistencia a compresión de Adoquines | [Mpa] | Adoquin | 0.8485 | 37.0065 | 30.189 | 51.616 | 53.819 | 18.065 | 49.784 | 34.475 | |

| | HIDRÁULICA | | | | | | | | | | |
|----|----------------------------|---|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| 29 | Escurrriendia | % | [-] | 91.52% | 95.63% | 95.46% | 93.66% | 91.58% | 97.10% | 92.69% | 93.949% |
| 30 | Infiltración | % | [-] | 8.48% | 4.37% | 4.54% | 6.34% | 8.42% | 2.90% | 7.31% | 6.051% |
| 31 | Absorción (Adoquin) | % | Adoquin | 7.254% | 5.925% | 6.481% | 6.088% | 8.064% | 7.908% | 6.629% | 6.907% |

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