



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Características de micro pavimentos antiguos y nuevos: aspectos físicos,
mecánicos e hidráulicos evaluados en la ciudad de Riobamba

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil

Autores:

Garay Oleas, Cristofer Joel
Suárez Márquez, Alexandra Ximena

Tutor:

Mgs. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza.

Riobamba, Ecuador. 2025

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Nosotros, **Cristofer Joel Garay Oleas** con cédula de ciudadanía 0604583153, y **Alexandra Ximena Suárez Márquez**, con cédula de ciudadanía 0604572230, autores del trabajo de investigación titulado: **CARACTERÍSTICAS DE MICRO PAVIMENTOS ANTIGUOS Y NUEVOS: ASPECTOS FÍSICOS, MECÁNICOS E HIDRÁULICOS EVALUADOS EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

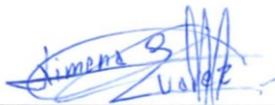
Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La 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, 08 de Julio del 2025.



Cristofer Joel Garay Oleas

C.I: 0604583153



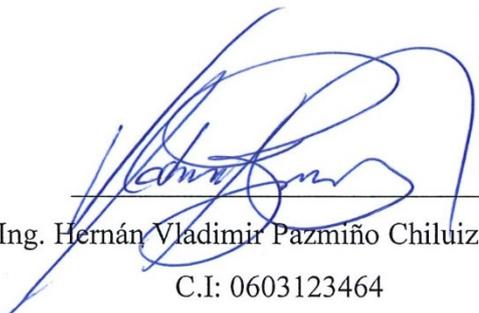
Alexandra Ximena Suárez Márquez

C.I: 0604572230

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza, Mgs catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: **CARACTERÍSTICAS DE MICRO PAVIMENTOS ANTIGUOS Y NUEVOS: ASPECTOS FÍSICOS, MECÁNICOS E HIDRÁULICOS EVALUADOS EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA**, bajo la autoría de , Cristofer Joel Garay Oleas y Suárez Márquez Alexandra Ximena; 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 08 días del mes de Julio de 2025



Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza, Mgs

C.I: 0603123464

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “**CARACTERÍSTICAS DE MICRO PAVIMENTOS ANTIGUOS Y NUEVOS: ASPECTOS FÍSICOS, MECÁNICOS E HIDRÁULICOS EVALUADOS EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA**”, presentado por **Cristofer Joel Garay Oleas** con cédula de ciudadanía 0604583153, y **Alexandra Ximena Suárez Márquez**, con cédula de ciudadanía 0604572230, bajo la tutoría de Mgs. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza; 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 08 de Julio de 2025.

Ing. Julio Andrés Fiallos Iglesias, Mgs.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Rodrigo Patricio Toasa Jimenes, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



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





Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO



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

CERTIFICACIÓN

Que, **GARAY OLEAS CRISTOFER JOEL** con CC: **0604583153** y **SUÁREZ MARQUEZ ALEXANDRA XIMENA** con CC: **0604572230**, estudiantes de la Carrera **INGENIERÍA CIVIL**, Facultad de **INGENIERIA**; han trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**CARACTERÍSTICAS DE MICRO PAVIMENTOS ANTIGUOS Y NUEVOS: ASPECTOS FÍSICOS, MECÁNICOS E HIDRÁULICOS EVALUADOS EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA**", cumple con el 6%, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **Compilate**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 18 de junio de 2025

Mgs. Hernán Vladimir Pazmiño
TUTOR(A)

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a quien ha sido mi apoyo incondicional, mi compañero de vida, Alexis Pinto, pilar fundamental en este camino. Gracias por creer en mi incluso cuando yo dudaba, que me recogiste en las noches frías y me diste de lo tuyo cuando yo ya no tenía. Esta meta también es tuya, porque la alcanzamos juntos.

A mi padre, Alex Suarez, cuya fuerza, sacrificio y amor se hicieron presentes incluso en la distancia. Gracias por la constante preocupación porque yo pueda alcanzar esta meta. Este triunfo es reflejo del camino que recorrimos juntos.

Y a mi madre, Silvia Márquez, porque a pesar de todo, su existencia forma parte del hilo que me trajo hasta aquí.

Y, finalmente, a quienes acompañaron silenciosamente este proceso: aquellos que supieron darme fuerza, consuelo o simplemente una palabra de aliento cuando más lo necesitaba.

Alexandra Ximena Suarez Márquez

A quienes han sido guía, refugio y fuerza a lo largo de este camino.

A mis abuelitos, por el amor sencillo y profundo con el que marcaron mi infancia y por las enseñanzas que aún resuenan en mi memoria. Sus palabras, su ejemplo y su presencia incluso en el recuerdo siguen siendo un faro que me orienta.

A mis padres, por su esfuerzo silencioso, su apoyo constante y por enseñarme que el compromiso y la perseverancia son el verdadero camino hacia los sueños. Todo lo que soy les pertenece en gran parte.

A mis hermanos, por ser cómplices, compañeros y parte esencial de este recorrido. Su apoyo, aunque muchas veces discreto, ha sido fundamental.

Y a Katherine, por caminar a mi lado con amor, paciencia y fe en cada paso. Por alentarme cuando flaqueé, por entender mis ausencias, y por regalarme su compañía cuando más la necesité.

Esta dedicatoria es para ustedes, quienes han sido parte de mi vida, mi motor y mi inspiración constante.

Cristofer Joel Garay Oleas

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a mis padres, Silvia Márquez y Alex Suárez, especialmente a mi padre, por ser soporte constante y ejemplo de perseverancia. Sin su esfuerzo y apoyo, este sueño no se habría hecho realidad. A Diego Barreno, por motivarme a seguir el camino de la ingeniería civil, inspirándome con su ejemplo y acompañándome en mis primeras decisiones.

A mi hermano, Zahir Barreno, y a toda mi familia, por ser parte esencial en este proceso, por su cariño, paciencia y por creer en mí mientras me veían crecer.

También quiero extender mi gratitud a los padres de mi pareja Marina Vallejo y Félix Pinto, por su calidez y generosidad, por hacerme sentir siempre bienvenida, incluso en los detalles más simples como un plato de comida preparado con amor.

Y, de manera muy especial, a mi compañero de vida, Alexis Pinto, por caminar a mi lado en este proceso. Gracias por darme ánimo en los momentos de incertidumbre, por estar presente cuando más lo necesitaba, por tu apoyo constante, por tu paciencia y por recordarme todos los días que no estaba sola.

Alexandra Ximena Suarez Márquez

Agradezco, ante todo, a Dios, por darme la vida, la fortaleza y la sabiduría necesaria para afrontar cada etapa de este proceso. Su presencia ha sido mi guía constante, incluso en los momentos de duda o dificultad.

A la Universidad Nacional de Chimborazo, por brindarme la formación académica, los espacios y las herramientas que han hecho posible mi crecimiento profesional y personal. Esta institución ha sido el escenario donde se forjó gran parte de mi preparación.

A los ingenieros Vladimir Pazmiño, Mgs., y Alfonso Arellano, PhD, por su acompañamiento, orientación y valioso aporte durante el desarrollo de esta investigación. Su experiencia, disposición y guía fueron fundamentales para llevar esta tesis a buen término.

A mi compañera de tesis, Ximena Suárez, por su colaboración, apoyo constante y dedicación durante todo el proceso. Su compromiso y esfuerzo conjunto fueron clave para la culminación exitosa de este trabajo.

A mis padres, hermanos, pareja y a toda mi familia, por su amor incondicional, por ser mi soporte en cada etapa de esta travesía, y por acompañarme con paciencia, comprensión y fe en los momentos más exigentes. Gracias por su confianza en mí, por sus palabras de aliento y por estar presentes aún en la distancia. Su cariño ha sido un motor invaluable que me impulsó a seguir adelante hasta alcanzar esta meta.

A mis amigos y compañeros, por las conversaciones, los consejos, la compañía y el aliento en los momentos difíciles. Su presencia, aunque a veces silenciosa, tuvo un impacto profundo en mi ánimo y motivación.

A todos ustedes, gracias. Cada palabra de aliento, cada gesto de apoyo y cada momento compartido ha sido parte esencial de este logro.

Cristofer Joel Garay Oleas

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA	
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
CAPÍTULO I. INTRODUCCION.	15
1.1 Antecedentes	16
1.2 Localización y caracterización del área de estudio	17
1.3 Planteamiento del Problema	20
1.4 Justificación	20
1.5 Objetivos	21
1.5.1 General	21
1.5.2 Específicos	21
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.	22
2.1 Estado del arte	22
2.2 Marco Teórico	23
2.2.1 Micro pavimentos: Definición y fundamentos	23
2.2.2 Normativas y especificaciones técnicas	25
2.2.3 Propiedades físicas de los micro pavimentos	27
2.2.4 Propiedades mecánicas de los micro pavimentos	27
2.2.5 Propiedades hidráulicas de los micro pavimentos	28
2.2.6 Envejecimiento y deterioro de micro pavimentos	28
2.2.7 Evaluación comparativa de micro pavimentos	29
CAPÍTULO III. METODOLOGIA.	31
3.1 Tipo de Investigación	32
3.2 Diseño de Investigación	32
3.3 Técnicas de recolección de Datos	32
3.3.1 Trabajo en campo	32
3.3.2 Pruebas de laboratorio	33

3.3.3	Revisión bibliográfica.....	33
3.4	Población de estudio y tamaño de muestra.....	33
3.4.1	Población.....	33
3.4.2	Muestra.....	35
3.4.3	Tipo de Muestreo.....	36
3.5	Métodos de análisis, y procesamiento de datos.....	36
3.5.1	Ensayos físicos y mecánicos	37
3.5.2	Ensayos in situ.....	38
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		41
4.1	Resultados característicos físicas	41
4.1.1	Composición del micro pavimento.....	41
4.1.2	Espesores del micro pavimento	42
4.1.3	Ensayo de granulometría.....	43
4.1.4	Macro textura.....	51
4.1.5	Ensayo de Contenido de Humedad.....	52
4.1.6	Ensayo de limite líquido y plástico.....	54
4.1.7	Ensayo de Densidad y Absorción.....	56
4.1.8	Ensayo Proctor Modificado.....	61
4.1.9	Cono de arena.....	63
4.2	Resultados características mecánicas.	65
4.2.1	Ensayo Geo Gauge.....	65
4.3	Resultados características hidráulicas	68
4.3.1	Ensayo de infiltración	68
4.3.2	Curvas de infiltración.....	70
4.4	Discusión.....	70
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES		73
5.1	Conclusiones	73
5.2	Recomendaciones.....	75
BIBLIOGRAFÍA		76
ANEXOS.....		80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla1	Listado de acrónimos.....	12
Tabla2	Vías con micro pavimento Grupo 1.....	33
Tabla3	Análisis granulométrico, promedio de la subbase.....	45
Tabla4	Coefficiente de uniformidad y curvatura de subbase.....	47
Tabla5	Análisis granulométrico, promedio de la subrasante.....	48
Tabla6	Coefficiente de uniformidad y curvatura de subrasante.....	50
Tabla7	Resultados del contenido de humedad.....	52
Tabla8	Resultado de los Limites de Atterberg.....	54
Tabla9	Análisis de densidad y absorción de agregado, de la cama de arena.....	57
Tabla10	Análisis de densidad y absorción de agregado, de la Subbase.....	57
Tabla11	Análisis de densidad y absorción de agregado, de la Subrasante.....	59
Tabla12	Resumen de contenido de agua optima y masa volumétrica.....	61
Tabla13	Resultado del grado de compactación, de la Subbase.	63
Tabla14	Resultado del grado de compactación, de la Subrasante.	64
Tabla15	Resultado del CBR en la Superficie del micropavimento.....	65
Tabla16	Resultado del CBR en la Subbase.	66
Tabla17	Resultado del CBR en la Subrasante.	67
Tabla18	Resultado de la macrotextura.	51
Tabla19	Datos de campo del ensayo de infiltración.	68
Tabla20	Resultado de infiltración.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	<i>Zona de estudio: Barrio el Batán.....</i>	18
Figura 2.	<i>Zona de estudio: ESPOCH.....</i>	19
Figura 3.	<i>Diagrama de flujo</i>	31
Figura 4.	<i>Vías identificadas con tratamiento superficial grupo 2</i>	35
Figura 5.	<i>Vías identificadas con tratamiento superficial grupo 3</i>	35
Figura 6.	<i>Vías identificadas con tratamiento superficial, zona nueva y zona antigua.</i>	36
Figura 7.	<i>Representación del infiltrometro de doble anillo.</i>	39
Figura 8.	<i>Sellado de infiltrometro con silicona.</i>	40
Figura 9.	<i>Curva de granulometría promedio subbase clase 1.</i>	46

Figura 10. <i>Curva de granulometría promedio subrasante.</i>	49
Figura 11. <i>Diagrama de barras de Cu y Cc subrasante</i>	50
Figura 12. <i>Diagrama radial del contenido de humedad</i>	53
Figura 13. <i>Limite líquido del punto 1 y punto 6 Subbase.</i>	54
Figura 14. <i>Limite líquido del punto 1, 2, 3, 4, 5 y 6 Subrasante.</i>	54
Figura 15. <i>Densidades del punto 1 y 6 Subbase.</i>	58
Figura 16. <i>Absorción del punto 1 y 6 Subbase</i>	58
Figura 17. <i>Densidades del punto 1, 2, 3, 4, 5 y 6 Subrasante.</i>	59
Figura 18. <i>Absorción del punto 1, 2, 3, 4, 5 y 6 Subrasante.</i>	60
Figura 19. <i>Curvas de relación entre el contenido de humedad y la densidad seca de la subbase.</i>	61
Figura 20. <i>Curvas de relación entre el contenido de humedad y la densidad seca de la subrasante.</i>	62
Figura 21. <i>Distribución del grado de compactación en la subbase del micropavimento mediante el ensayo de cono de arena.</i>	63
Figura 22. <i>Distribución del grado de compactación en la subrasante del micropavimento mediante el ensayo de cono de arena</i>	64
Figura 23. <i>Relación entre el Módulo de Young y el CBR Promedio en la superficie del Micropavimento</i>	65
Figura 24. <i>Relación entre el Módulo de Young y el CBR Promedio en la Subbase del Micropavimento</i>	66
Figura 25. <i>Relación entre el Módulo de Young y el CBR Promedio en la Subrasante del Micropavimento</i>	68
Figura 26. <i>Alturas individuales y promedio de macrotextura según mediciones con método de mancha de arena (ASTM E965)</i>	51
Figura 27. <i>Curvas de relación entre el contenido de humedad y la densidad seca de la subrasante.</i>	70

Lista de acrónimos y abreviaturas

Tabla 1

Listado de acrónimos

Acrónimo / Término	Significado
CQS	<i>Cationic Quick Setting</i> – Emulsión asfáltica catiónica de fraguado rápido
CQS 1h	Emulsión CQS con fraguado estimado de una hora
CQS 1h PU	Emulsión CQS 1h modificada con poliuretano, que mejora elasticidad y resistencia
PU	Poliuretano – Aditivo químico que mejora el comportamiento del micro pavimento
Tipo III	Clasificación de micro pavimento según el tamaño máximo del agregado (uso en vías de alto tráfico o corrección de deformaciones)
Cantera Rocka Azul	Fuente de extracción de agregados utilizados en el micro pavimento (ubicada en Ecuador)
Cemento tipo I	Cemento Portland de uso general, común en mezclas asfálticas como relleno mineral
NTE INEN	Norma Técnica Ecuatoriana emitida por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN)
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i> – Norma internacional técnica
IP	Índice de plasticidad
LL	Límite líquido
LP	Límite plástico
K	Coefficiente de infiltración (cm/min)
Ev	Módulo de deformación – Medida de rigidez del suelo o pavimento
ESPOCH	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
ISSA	International Slurry Surfacing Association (Asociación Internacional de Superficies de Lechada Asfáltica)
Geo Gauge	Medidor dinámico portátil de rigidez
SP	Poorly Graded Sand (Arena mal graduada, según la clasificación SUCS)
CBR	California Bearing Ratio (Índice de Capacidad de Soporte de California)

Nota: se presenta la tabla resumen de los acrónimos utilizados en el desarrollo del trabajo y su respectivo significado.

RESUMEN

Palabras claves: Micro pavimento, propiedades mecánicas, propiedades hidráulicas, permeabilidad, infiltración, escurrimiento, drenaje.

El uso de micro pavimentos en la infraestructura vial es una técnica ampliamente utilizada para mejorar la fricción y corregir deformaciones en la superficie de rodadura (Toscano, 2014). Esta investigación tiene como objetivo comparar la caracterización física, mecánica e hidráulica de los micro pavimentos antiguos y nuevos en base a un enfoque experimental ayudara a determinar el estado actual de las vías y el desempeño a largo plazo en la ciudad de Riobamba.

Para evaluar las características de los micro pavimentos antiguos y nuevos, se utilizó un enfoque mixto que combino el análisis cualitativo y cuantitativo, se realizaron estudios en campo mediante la extracción de muestras y mediciones realizados in situ, complementados con pruebas de laboratorio. A través de estos análisis, se examinó la resistencia y comportamiento mecánico e hidráulico de los micro pavimentos permitiendo una comparación detallada de las superficies.

Los resultados indicaron que los micro pavimentos antiguos presentan un mayor desgaste superficial e infiltración alta, además se evidencio que los micropavimentos no fueron aplicados conforme la normativa vigente, ya que se colocaron directamente sobre una capa delgada de subbase o en algunos casos directamente sobre la subrasante, sin una estructura de soporte adecuado comprometiendo su funcionalidad y seguridad.

Estos hallazgos permitirán profundizar conocimiento de propiedades, contribuyendo a la sostenibilidad y seguridad de la infraestructura vial en la zona.

Abstract

The use of micro-surfacing in road infrastructure is a widely adopted technique to improve surface friction and correct deformations in the pavement layer (Toscano, 2014). This research aimed to compare the physical, mechanical, and hydraulic characterization of old and new micro surfacing using an experimental approach that helps determine roadways' current condition and long-term performance in Riobamba City. A mixed-method approach was used to evaluate the characteristics of both old and new micro sur-facings, combining qualitative and quantitative analyses. Field studies included sample extraction and in-situ measurements, which were complemented by laboratory testing. These analyses examined the resistance and mechanical-hydraulic behavior of the micro-surfacing layers, enabling a detailed comparison of their surfaces. The results indicated that older micro-surfacing exhibit greater surface wear and higher infiltration rates. Furthermore, it was evident that these micro-surfacing were not applied according to current technical standards, as they were placed directly over a thin subbase layer or, in some cases, directly over the subgrade, without an adequate support structure, compromising their functionality and safety. These findings contribute to a deeper understanding of micro-surfacing properties and support the region's sustainability and safety of road infrastructure.

Keywords: Micro-surfacing, mechanical properties, hydraulic properties, permeability, infiltration, runoff, drainage.



Reviewed by:
Jenny Alexandra Freire Rivera, M.Ed.
ENGLISH PROFESSOR
ID No.: 0604235036

CAPÍTULO I. INTRODUCCION.

El micropavimento, una técnica globalmente reconocida en la construcción de caminos destaca por su manejabilidad y capacidad de controlar la fractura. Este material es fundamental en la infraestructura vial, directamente contribuyendo a la mejora de la movilidad, seguridad y calidad de servicio para los usuarios (Rojas Ruales et al., 2014). Se utilizan como una capa delgada de tratamiento superficial, con el objetivo de mejorar la fricción en superficies de rodaduras antiguas. De igual forma se utiliza para la reparación de deformaciones, especialmente en carreteras con medio y bajo flujo de tráfico vehicular (Barrionuevo, 2012).

En Ecuador, el diseño de micropavimentos se sustenta en normativas locales que incorporan estándares internacionales, como Ministerio de Transporte y Obras Públicas “MTO”, American Society for Testing and Materials “ASTM”, American Association of State Highway and Transportation Officials “AASHTO” e International Slurry Surfacing Association “ISSA”. Estos micropavimentos, junto con técnicas como el slurry seal, hacen uso de emulsiones asfálticas simples o modificadas para mantener las capas de rodadura y mejorar la impermeabilización de las superficies pavimentadas (Freire & Quizhpi, 2022).

La aplicación de micropavimentos implica mezclas asfálticas enriquecidas con componentes que sellan grietas generadas por el envejecimiento, además de ser útiles en la corrección de deslizamientos en las capas (Loayza, 2023). Esto influye en el drenaje del camino y está estrechamente relacionada con sus propiedades físico-mecánicas. La acumulación de agua en la calzada es crucial para la seguridad vial, por lo que tener información actualizada sobre estas características es vital para el diseño óptimo de infraestructuras.

La medición de las características hidráulicas no se limita únicamente a la superficie del camino, sino que también abarca la estructura de sus capas constitutivas. Comprender la relación de las propiedades físico-mecánicas de estas capas subyacentes es crucial para entender el comportamiento de la acumulación de agua en el micropavimento

Al evaluar los aspectos mencionados anteriormente se busca identificar los puntos clave de diferenciación entre ambas generaciones de pavimentos (micro pavimentos actuales y antiguos). Este análisis no solo proporcionará una comprensión más profunda de las propiedades de estos caminos, sino que también ofrecerá conocimientos valiosos para mejorar la selección y aplicación de micro pavimentos en proyectos futuros de viabilidad.

1.1 Antecedentes

Los micro pavimentos han transformado el mantenimiento vial al representar una solución más económica y eficiente, Por esta razón, diversas investigaciones han analizado sus propiedades y aplicaciones, destacando los beneficios que ofrecen tanto a nivel funcional como el desarrollo de tecnologías orientadas a estructuras viales más eficientes. Un ejemplo representativo es el estudio realizado por Zhuang et al. (2023), donde se incorporaron polímeros en las mezclas de micro pavimento, lo que mejoró significativamente el rendimiento a altas temperaturas y resistencia al envejecimiento. Además, esta modificación contribuyó a la reducción del ruido generado por el tráfico, favoreciendo la calidad ambiental en zonas urbanas.

Al igual que el estudio previamente citado, existe investigaciones centradas en el desempeño físico e hidráulico de superficies asfálticas con tecnologías emergentes las cuales han demostrado que el diseño de mezcla basado en una porosidad (vacíos dentro del material), cuyo objetivo de la investigación es una estrategia viable para el estudio de materiales como concretos permeables, siendo aplicable en micro pavimentos que requieren buen drenaje superficial (Ho Nguyen et al., 2024).

En Ecuador también se han desarrollado investigaciones que exploran la implementación y evaluación de micro pavimentos en distintos sectores. Espinoza (2023), analizó el uso de micro pavimento tipo III como tratamiento superficial en vías secundarias, encontrando que representa una solución viable y rentable para prolongar la variación térmica en pavimentos flexibles, evidenciando así un desempeño en cambios de temperatura especialmente en alturas como la Sierra ecuatoriana.

Así mismo, Toscano (2014) utilizó un micro pavimento como tratamiento superficial para controlar la variación térmica en la vía Pifo. El objetivo principal fue reducir la susceptibilidad del ligante asfáltico a los cambios térmicos mediante uso de polímeros. Los resultados evidenciaron que la aplicación de micro pavimento prolonga la vida útil del pavimento flexible y proporciona una solución efectiva para el mantenimiento preventivo.

En la ciudad de Riobamba, si bien se ha evidenciado el uso de micro pavimentos en obras ejecutadas por instituciones como la Prefectura de Chimborazo y universidades locales como la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), no existen estudios académicos formales que comparen sus características técnicas en distintas etapas de su vida útil. Por ejemplo, el reasfaltado con micro pavimentos en el campus ESPOCH en el año 2023

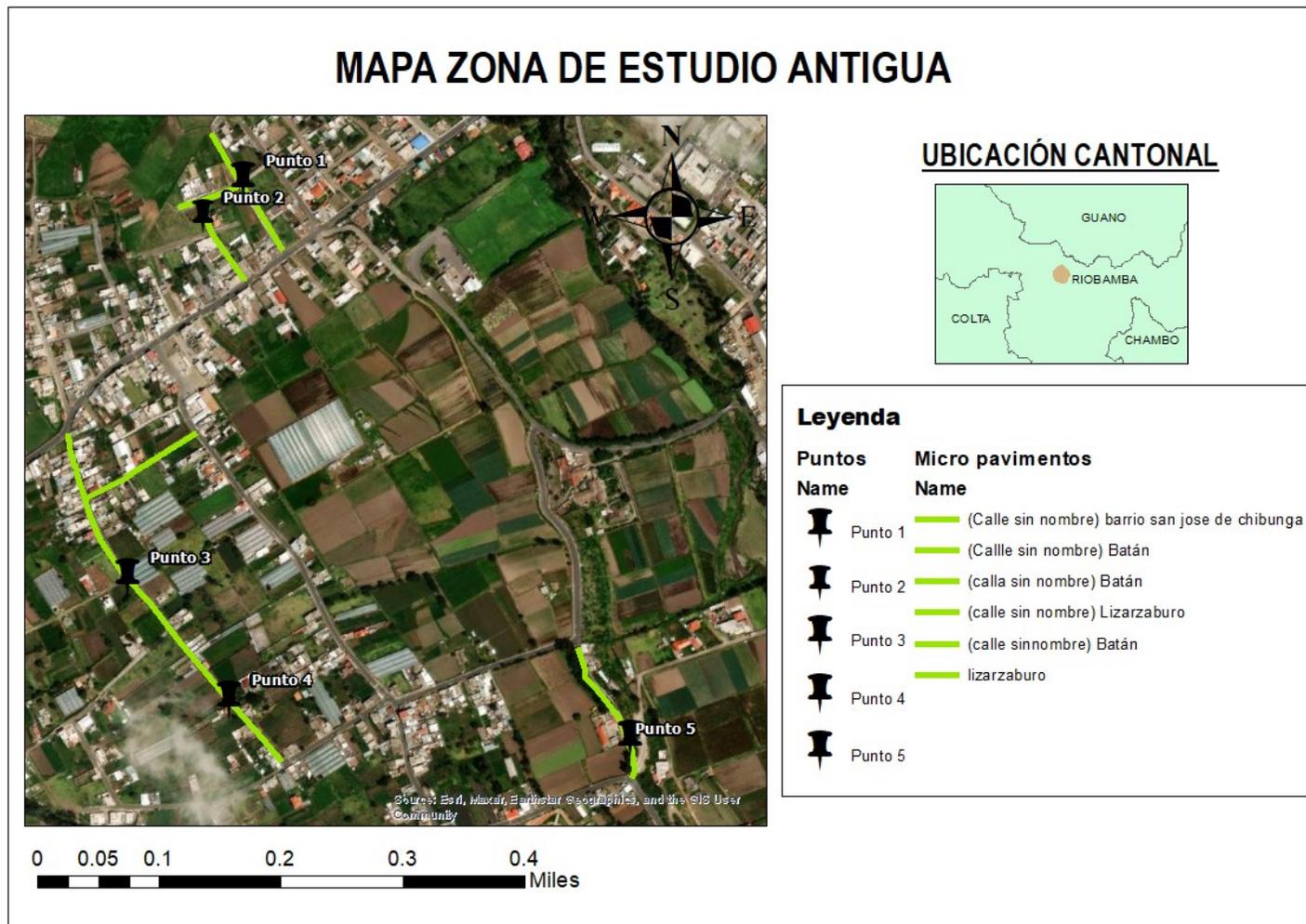
es una intervención relevante que aún no ha sido documentada desde el punto de vista técnico y científico, pese a su escala e impacto en la movilidad interna. De igual forma, otras obras ejecutadas por la intervención de la Prefectura de Chimborazo en sectores como Barrio El Batán ha empleado esta tecnología, sin que se haya realizado evaluación estructurada de su desempeño a largo plazo.

Si bien existen estudios que abordan el diseño, la aplicación y las ventajas del micro pavimento, aun es limitada la existencia de investigaciones que comparen de forma cuantitativa las características físicas, mecánicas e hidráulicas entre micro pavimentos antiguos y nuevos. Esta carencia dificulta el análisis de su evolución a lo largo del tiempo y limita la comprensión de como varían sus propiedades en función de su antigüedad y condiciones de servicio.

1.2 Localización y caracterización del área de estudio

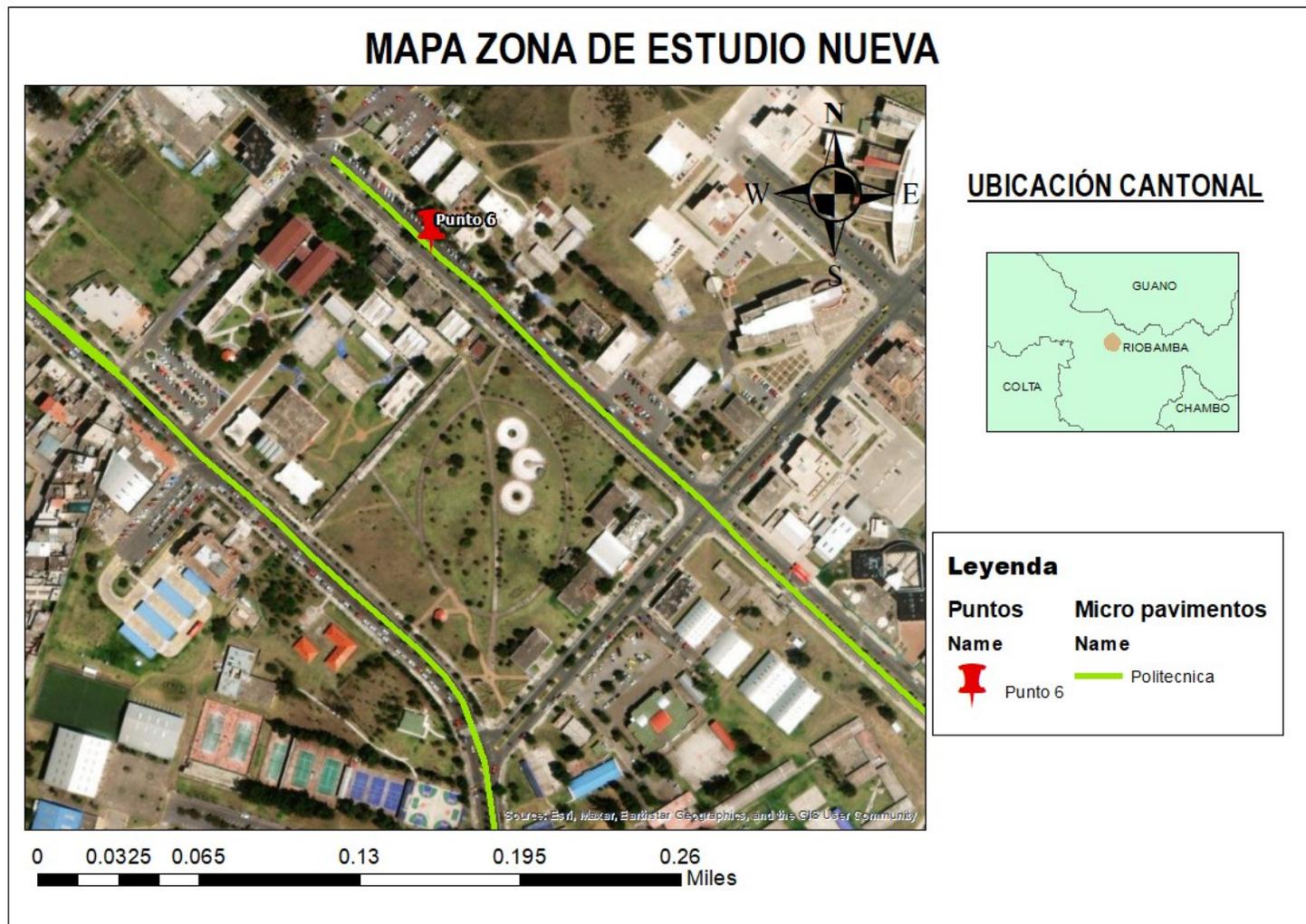
El presente estudio se desarrolla en la ciudad de Riobamba, capital de la provincia de Chimborazo, ubicada en la región Sierra del Ecuador. El área de estudio comprende dos sectores específicos: el barrio El Batán y el campus de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), como se puede observar en la figura 1 y figura 2 delimitados por micro pavimentos nuevos y antiguos. Ambos se localizan al este de la ciudad de Riobamba. La investigación se centra específicamente en el barrio El Batán, una zona urbana residencial y de crecimiento mixto, esta área ha sido intervenida en distintas etapas mediante la aplicación de micro pavimentos realizados en años anteriores al 2022. Por otro lado, uno de los puntos de análisis se encuentra dentro del campus de la ESPOCH, institución ubicada en el mismo sector oriental de Riobamba. Esta zona cuenta con vías internas pavimentadas con micro superficie asfáltica aplicado en años recientes como parte de un proceso de renovación vial.

Figura 1. Zona de estudio: Barrio el Batán



Nota: se presenta las calles con micro pavimentos antiguos analizados en el barrio Batán con sus respectivos puntos donde se realizaron el levantamiento de muestras.

Figura 2. Zona de estudio: ESPOCH



Nota: se presenta las calles con micro pavimentos nuevos analizados en la ESPOCH con sus respectivos puntos donde se realizaron el levantamiento de muestras.

1.3 Planteamiento del Problema

El micropavimento puede presentar ciertos problemas de adherencia en donde la superficie no se prepare adecuadamente o las condiciones climáticas no son óptimas durante el proceso, provocando un desgaste simultáneo y la aparición de grietas. Además, el micropavimento es susceptible al desgaste debido al tráfico y a las condiciones climáticas que no suelen ser favorables.

La falta de estudios comparativos entre micropavimentos en nuestra localidad dificulta una identificación de mejoras y áreas de optimización en la tecnología e implementación de esta técnica. La ausencia de datos actualizados sobre el desempeño y la determinación de sus características físicas, mecánicas e hidráulicas de estos materiales antiguos con respecto a los nuevos obstaculiza la toma de decisiones fundamentadas para el mantenimiento y mejora de la infraestructura vial. Esto puede resultar en una implementación ineficiente de los recursos y la falta de sostenibilidad.

Los valores de escurrimiento ocupados para diseño de drenajes viales responden a especificaciones anteriores que no contemplan micropavimentos, por consiguiente, se ha planteado la siguiente pregunta de investigación; ¿Cuáles son las diferencias significativas en las características físicas, mecánicas e hidráulicas entre los micropavimentos antiguos y nuevos? Por lo que se pretende estudiar estas propiedades.

1.4 Justificación

La investigación propuesta sobre las características físicas e hidráulicas de los micropavimentos surge de la necesidad de garantizar la sostenibilidad de la infraestructura vial a largo plazo. En este sentido, la durabilidad y el rendimiento de estos micropavimentos juegan un papel importante. Sin embargo, actualmente existe una carencia notable de estudios que comparen de manera sistemática en distintos periodos de vida útil, especialmente en contextos locales como la ciudad de Riobamba.

El micropavimento, si bien es reconocido por su eficiencia y facilidad de aplicación, puede presentar problemas cuando no se cumple adecuadamente las condiciones técnicas de ejecución. Entre estos se incluyen deficiencias de adherencia por una mala preparación de la superficie, aplicación en condiciones climáticas inadecuadas, como altas temperaturas o acumulación de humedad. A esto se le suma la inexistencia de directrices locales claras respecto al diseño y evaluación de micropavimentos, especialmente en lo que respecta al comportamiento hidráulico, con lo cual se busca contribuir con información técnica que

permite estandarizar criterios, actualizar normativas y proponer lineamientos acordes a las condiciones actuales del entorno urbano y climático de la región.

Al generar datos actualizados y compararlos con otras normativas, se espera que se contribuya de manera significativa a mejorar la calidad, seguridad y sostenibilidad de la infraestructura vial. A través del análisis de las características físicas e hidráulicas de los micro pavimentos nuevos y antiguos, se podrán desarrollar estrategias de mantenimiento y rehabilitación más efectivas y sostenibles, beneficiando tanto al personal de diseño, como a los usuarios de las carreteras.

1.5 Objetivos

1.5.1 General

- Comparar las características de micro pavimentos antiguos y nuevos: aspectos físicos, mecánicos e hidráulicos evaluados.

1.5.2 Específicos

- Determinar características físicas – mecánicas en micro pavimentos.
- Valorar características hidráulicas en micro pavimentos nuevos y antiguos.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1 Estado del arte

El micro pavimento, también conocido como micro-aglomerado, es una mezcla compuesta por agregados de granulometría cerrada, material relleno mineral, emulsión asfáltica y agua. Su aplicación tiene como finalidad proteger la estructura del pavimento existente y mejorar los niveles de fricción en la superficie de rodadura (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013).

La correcta compresión de los materiales que componen los micro pavimentos es esencial para garantizar su rendimiento óptimo a lo largo del tiempo. (Palominio & Rodriguez, 2017) destacan la importancia de seleccionar materiales de alta calidad, diseño competente y el procedimiento constructivo. Además, señalan que el comportamiento del micro pavimento está directamente influenciado por múltiples variables que intervienen en la mezcla, siendo especialmente importante el criterio técnico aplicado en la intersección de estos factores para definir la cantidad óptima de residuo asfáltico.

Las emulsiones asfálticas han simplificado los procesos de mantenimiento vial al permitir la aplicación de mezclas en frío, lo que reduce significativamente el consumo energético de maquinaria especializada para el calentamiento del asfalto (Barrionuevo, 2012). En este contexto, se han desarrollado estudios a nivel nacional que evalúan alternativas técnicas y económicas para la conservación de pavimentos. En un corredor vial de la provincia del Azuay se realizó un estudio sobre los micro pavimentos como alternativa en conservación vial, Espinoza (2023) propuso el uso de un micro pavimento tipo III, usando emulsiones CQS 1h y CQS 1h PU, con agregados de cantera Rookaazul y un 1% de cemento tipo I con relleno material, es la alternativa económicamente más viable, con un rendimiento favorable que depende de especificaciones y condiciones propias del proyecto.

Este tipo de investigaciones evidencian la importancia de implementar tecnologías que optimicen la relación costo-beneficio en los procesos de mantenimiento de la infraestructura vial, permitiendo mejorar su durabilidad y funcionalidad de manera sostenible.

2.2 Marco Teórico

2.2.1 Micro pavimentos: Definición y fundamentos

El micro pavimento es una técnica de mantenimiento vial que consiste en la aplicación de una mezcla mayormente en frío aunque si existe casos que se emplea en caliente, sobre la superficie de pavimentos existentes. Compuesta por una emulsión asfáltica modificada con polímeros, agregados seleccionados, agua y aditivos. Su propósito principal es restaurar las características superficiales del pavimento, mejorar la fricción, sellar fisuras y prolongar la vida útil de la vía (ISSA, 2020)

2.2.1.1 Composición y materiales

Emulsiones asfálticas: Se emplean emulsiones catiónicas, modificadas con polímeros para mejorar la resistencia y durabilidad de la mezcla (ISSA, 2010)

Polímeros: Permite aumentar la cohesión interna de la mezcla, optimizar la durabilidad del tratamiento superficial y mejorar la resistencia al desgaste por el tránsito (ISSA, 2010)

Agregados: Deben ser materiales triturados, limpios y duros, con una granulometría controlada para garantizar una buena compactación y resistencia al desgaste (Barrionuevo Aldaz. L Guillermo, 2022)

Aditivos: Se utilizan para ajustar las propiedades de la mezcla, como el tiempo de fraguado y la trabajabilidad. Entre ellos se incluyen retardadores o aceleradores de fraguado, agentes de control de humedad y, en algunos casos, fibras para mejorar la cohesión (Barrionuevo Aldaz. L Guillermo, 2022)

Agua: Es esencial para la mezcla y debe cumplir con los estándares de calidad para evitar reacciones adversas con otros componentes (Barrionuevo Aldaz. L Guillermo, 2022)

2.2.1.2 Tipos de micro pavimentos según su aplicación y espesor

Los tipos de micro pavimentos depende de: según el tipo de tránsito y las condiciones específicas de la vía y tenemos:

- **Tipo I:** Espesor de 3 a 5 mm, utilizado en áreas de estacionamiento y pistas de aterrizaje.
- **Tipo II:** Espesor de 5 a 9 mm, aplicado en calles y avenidas para nivelar, sellar y corregir irregularidades.

- **Tipo III:** Espesor de 9 a 13 mm, destinado a carreteras y avenidas de alto tráfico (ISSA, 2020)

2.2.1.3 Ventajas y limitaciones del uso de micro pavimentos

Ventajas:

Rápida puesta en servicio al tráfico: El fraguado rápido permite reabrir el tráfico en poco tiempo, minimizando las interrupciones (ISSA, 2020)

Mejora a la seguridad: Aumenta la macrotextura y microtextura de la superficie, mejorando la fricción y reduciendo el riesgo de deslizamientos (Salazar Melendez et al., 2020)

Limitaciones:

Deformaciones estructurales: No es adecuado para reparar deformaciones estructurales significativas del pavimento subyacente (ISSA, 2010)

2.2.1.4 Diferencia entre micro pavimentos y otros tratamientos superficiales

Dentro del micro pavimento existen otras técnicas de mantenimiento preventivo en donde se aplican capas delgadas para restaurar las características superficiales del pavimento, de las cuales se mencionan:

Slurry Seal: Utiliza emulsiones de fraguado más lento y se aplica en capas más delgadas. Es adecuado para sellar superficies y corregir defectos menores (ELQUI Pavimentos, 2024)

Tratamiento Superficial Simple: Consiste en la aplicación de una sola capa de emulsión asfáltica seguida de una capa de agregado pétreo (grava o gravilla). Su objetivo principal es sellar la superficie del pavimento existente y mejorar la fricción.

Doble Tratamiento Superficial: Consiste en la aplicación sucesiva de dos capas de emulsión asfáltica y agregados. Proporciona una superficie de rodadura con mayor espesor y es utilizado en vías de bajo volumen de tráfico (ELQUI Pavimentos, 2024)

Tratamiento Superficial Triple: Este tipo de tratamiento se compone de la aplicación secuencial de tres capas alternas de emulsión asfáltica y agregado pétreo, proporciona una mayor durabilidad estructural y resistencia al desgaste en comparación con los tratamientos simples y dobles, siendo útil en vías no pavimentadas que requieren un mejoramiento más robusto (INVIAS, 2018)

Fog Seal: Consiste en la aplicación de una emulsión asfáltica diluida sobre el pavimento antiguo, con el objetivo de sellar la superficie, restaurar el color negro del asfalto y reducir la oxidación, sin aumentar estructura adicional al pavimento (STATE OF CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2003)

Cape Seal: Está Compuesto por la aplicación de un chip seal (sello con gravilla) seguido por una capa de slurry seal o microsurfacing, Se diseña para combinar la durabilidad del primero con la textura del segundo, siendo útil para pavimentos con deterioros intermedios (Hicks et al., 2019)

2.2.2 Normativas y especificaciones técnicas

2.2.2.1 Normas Aplicables a Micropavimentos

2.2.2.1.1 American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO):

AASHTO MP 28: Establece los requisitos para los materiales utilizados en microaglomerados en frío, incluyendo emulsiones asfálticas modificadas con polímeros y agregados minerales.

AASHTO PP 83: Proporciona una práctica estándar para el diseño de microaglomerados en frío, detallando procedimientos para determinar las proporciones óptimas de los componentes de la mezcla.

2.2.2.1.2 International Slurry Surfacing Association (ISSA):

ISSA A143: Ofrece directrices de rendimiento recomendadas para la aplicación de microaglomerados en frío, abarcando aspectos de diseño, pruebas, control de calidad y procedimientos de medición y pago (ISSA, 2010)

Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12: Documento normativo técnico que establece políticas, criterios, procedimientos y metodologías para proyectos viales en Ecuador. Incluye especificaciones para el uso de microaglomerados en frío en la recuperación de pavimentos (Norma Ecuatoriana NEVI-12, 2013)

Ministerio de Obras Públicas del Ecuador (MOP):

MOP 001-F 2002: Establece las especificaciones técnicas generales para la construcción de obras viales en el Ecuador. En el caso de tratamientos superficiales, define los criterios de selección de materiales, granulometría de los agregados, tipo de emulsiones,

espesores y métodos de ejecución, incluyendo el empleo de emulsiones modificadas con polímeros para mayor durabilidad (MOP Obras Publicas, 2003)

Instituto Nacional de Vías de Colombia (INVIAS): Este documento técnico regula la ejecución de tratamientos superficiales simples, dobles y triples. Define el diseño de mezclas, las condiciones de aplicación, características de emulsiones catiónicas modificadas y los ensayos de control de calidad requeridos para asegurar la adherencia y la resistencia del tratamiento (INVIAS, 2018)

2.2.2.2 Criterios Técnicos para el Diseño, Colocación y Mantenimiento de Micropavimentos

Diseño:

Selección de los Materiales: Los componentes principales incluyen emulsión asfáltica modificada con polímeros, agregados minerales, agua y aditivos. La calidad y compatibilidad de estos materiales son esenciales para el rendimiento del microaglomerado en frío.

Proporciones de la Mezcla: El diseño debe determinar las proporciones óptimas de cada componente para lograr una mezcla homogénea y duradera. Métodos como el de la intersección de curvas y el de áreas equivalentes son utilizados para este propósito (Palomino & Rodriguez, 2017)

Aplicación:

Preparación de la Superficie: Antes de la aplicación, la superficie debe estar limpia y libre de materiales sueltos, manchas de aceite y vegetación. Si se utiliza agua para la limpieza, las grietas deben secarse completamente antes de la aplicación del microaglomerado en frío (ISSA, 2020)

Condiciones Ambientales: La aplicación no debe realizarse si la temperatura del pavimento o del aire es inferior a 7°C y en descenso. Se recomienda aplicar cuando las temperaturas están por encima de 10°C y en ascenso, evitando condiciones climáticas adversas que puedan afectar el curado y la adherencia (Wilson & Casas, 2015)

Equipos de Aplicación: Se utilizan máquinas específicas que mezclan y aplican la mezcla de manera uniforme. Es fundamental que el equipo esté calibrado y en buen estado para garantizar una aplicación adecuada.

Multidistribuidor de Agregados: es un equipo diseñado para distribuir agregados (grava, arena, etc.) de forma uniforme y controlada sobre la superficie tratada con emulsión asfáltica.

Mantenimiento:

Inspección Regular: Es esencial realizar inspecciones periódicas para identificar signos de desgaste, fisuras o desprendimientos, y determinar las acciones correctivas necesarias (SERVIU METROPOLITANO, 2020)

Reparaciones Localizadas: En áreas donde se presenten daños específicos, se pueden realizar reparaciones localizadas para evitar que el deterioro se extienda a otras partes del pavimento (SERVIU METROPOLITANO, 2020)

2.2.3 Propiedades físicas de los micro pavimentos

Espesores: El espesor de las capas de micropavimento suele variar entre 6 y 10 milímetros, dependiendo de la aplicación específica y las condiciones del pavimento existente (Chávez-Negrete et al., 2016)

Textura Superficial: La textura superficial del micropavimento influye en la fricción y la seguridad vial. Una textura adecuada mejora la resistencia al deslizamiento y reduce el riesgo de accidentes.

Densidad y Porosidad: La densidad y porosidad del micropavimento afectan su durabilidad y resistencia. Una compactación adecuada es esencial para alcanzar la densidad óptima y minimizar la porosidad, reduciendo la permeabilidad y mejorando el rendimiento.

Granulometría y Contenido de Finos: La distribución granulométrica y el contenido de finos en los agregados determinan la estabilidad y trabajabilidad de la mezcla de micropavimento. Una granulometría adecuada asegura una mezcla homogénea y resistente.

Humedad: El contenido de humedad en los materiales del micropavimento debe ser controlado para evitar problemas como la falta de adherencia o la formación de defectos superficiales (Chávez-Negrete et al., 2016)

2.2.4 Propiedades mecánicas de los micro pavimentos

CBR (California Bearing Ratio): El CBR es una medida de la resistencia del suelo o material base, indicando su capacidad para soportar cargas. Aunque es más comúnmente aplicado a suelos, también puede ser relevante en la evaluación de capas de base para micropavimentos (Cruz Tenas, 2023)

Módulo de Young: Es la relación entre la tensión y la deformación unitaria, en la región elástica de la curva tensión-deformación. Este módulo indica la capacidad del material para resistir deformaciones bajo cargas aplicadas.

Módulo de Rigidez (Stiffness): Describe la resistencia del material a la deformación bajo cargas aplicadas, este módulo se ve influenciado por factores como la temperatura, la frecuencia de carga y el contenido de emulsión (Castro Cabeza, 2018)

Abrasión: es la capacidad de un material para resistir el desgaste o la erosión de su superficie producida por fricción o roce continuo con otros elementos.

Grado de Compactación: Un adecuado grado de compactación es crucial para garantizar la resistencia y durabilidad del micropavimento. Se recomienda alcanzar al menos el 97% de la densidad máxima determinada por el ensayo Marshall (Ecuatoriana Vial, 2013)

2.2.5 Propiedades hidráulicas de los micro pavimentos

Permeabilidad: La permeabilidad del micropavimento influye en su capacidad para permitir el paso del agua. Una baja permeabilidad es deseable para evitar la infiltración de agua que pueda dañar las capas subyacentes (ISSA, 2020)

Escurrimiento: El diseño del micropavimento debe facilitar el adecuado escurrimiento del agua superficial, evitando acumulaciones que puedan comprometer la seguridad vial.

Tiempos de Flujo y Velocidades de infiltración: Estos parámetros están relacionados con la rapidez con que el agua se mueve en la estructura pavimento, minimiza los tiempos de flujo y controla las velocidades para prevenir erosión (Hicks et al., 2019)

Retención de Humedad y de Infiltración: Es fundamental que el micropavimento minimice la retención de humedad y de infiltración, protegiendo las capas inferiores y prolongando la vida útil del pavimento.

Absorción de Características Hidráulicas: La capacidad del micropavimento para absorber y gestionar el agua influye en su desempeño hidráulico. Materiales con propiedades hidráulicas adecuadas contribuyen a un mejor manejo del agua superficial.

2.2.6 Envejecimiento y deterioro de micro pavimentos

Deterioro del Pavimento: El envejecimiento de los micropavimentos se manifiesta en diversos tipos de deterioro, como fisuras, pérdida de textura superficial y desprendimientos (Ospino Carbonell, 2019)

Estos daños afectan la funcionalidad y seguridad de las vías, requiriendo intervenciones oportunas para su rehabilitación.

Factores que Afectan la Durabilidad: La durabilidad de los micropavimentos está influenciada por factores como el clima, el tráfico y el tipo de aplicación. Condiciones climáticas extremas pueden acelerar el envejecimiento, mientras que un tráfico intenso incrementa el desgaste. Además, una aplicación inadecuada puede comprometer la longevidad del pavimento (SERVIU METROPOLITANO, 2020)

Relaciones entre Tiempo y uso en Carreteras de Alto Flujo: En carreteras con alto volumen de tráfico, el tiempo de servicio y el uso, afectan directamente el estado del micropavimento. La falta de mantenimiento periódico puede llevar a un deterioro acelerado, reduciendo la vida útil del pavimento (Palomino & Rodriguez, 2017)

Principales Deterioros en Micropavimentos Antiguos: Los micropavimentos antiguos suelen presentar fisuras, pérdida de textura y desprendimientos. Estos deterioros disminuyen la capacidad estructural y la seguridad vial, haciendo necesario su monitoreo y reparación.

2.2.7 Evaluación comparativa de micro pavimentos

2.2.7.1 Métodos de Evaluación In Situ:

Cono de Arena: Utilizado para determinar la densidad del suelo compactado, este método es esencial para verificar el grado de compactación de los materiales en el micro pavimento.

GeoGauge: Mediante un dispositivo se mide la rigidez y el módulo elástico in situ de suelos y capas de pavimento sin necesidad de excavación. Este ensayo sirve para evaluar la calidad de compactación y la uniformidad estructural de capas del micropavimento.

EDG (Electrical Density Gauge): Mide la densidad y el contenido de humedad de suelos y mezclas asfálticas, utiliza sondas que se insertan en el material para emitir señales de radiofrecuencia, las cuales son analizadas para determinar la densidad y el porcentaje de compactación.

Capas Constitutivas:

Capa de rodadura: Es la superficie que está expuesta al tráfico, compuesta por una mezcla de emulsión asfáltica, áridos finos y aditivos (ISSA, 2020)

Capa base y subbase: Agregado granular natural o triturado o estabilizada con asfalto o cemento, su condición y preparación son fundamentales, ya que el micropavimento se aplica sobre estas capas existentes para mejorar su funcionalidad y prolongar su vida útil.

Subrasante: Es la capa de suelo natural o mejorado sobre la cual se apoya la estructura del pavimento (MOP Obras Publicas, 2003)

2.2.7.2 Ensayos de Laboratorio Aplicables:

Granulometría: Determina la distribución de tamaños de partículas en los agregados, esencial para evaluar la calidad de los materiales utilizados en el micropavimento (Concrelab, 2020)

Proctor Modificado: Establece la relación entre el contenido de humedad y la densidad seca máxima del suelo, importante para el control de compactación(Concrelab, 2020)

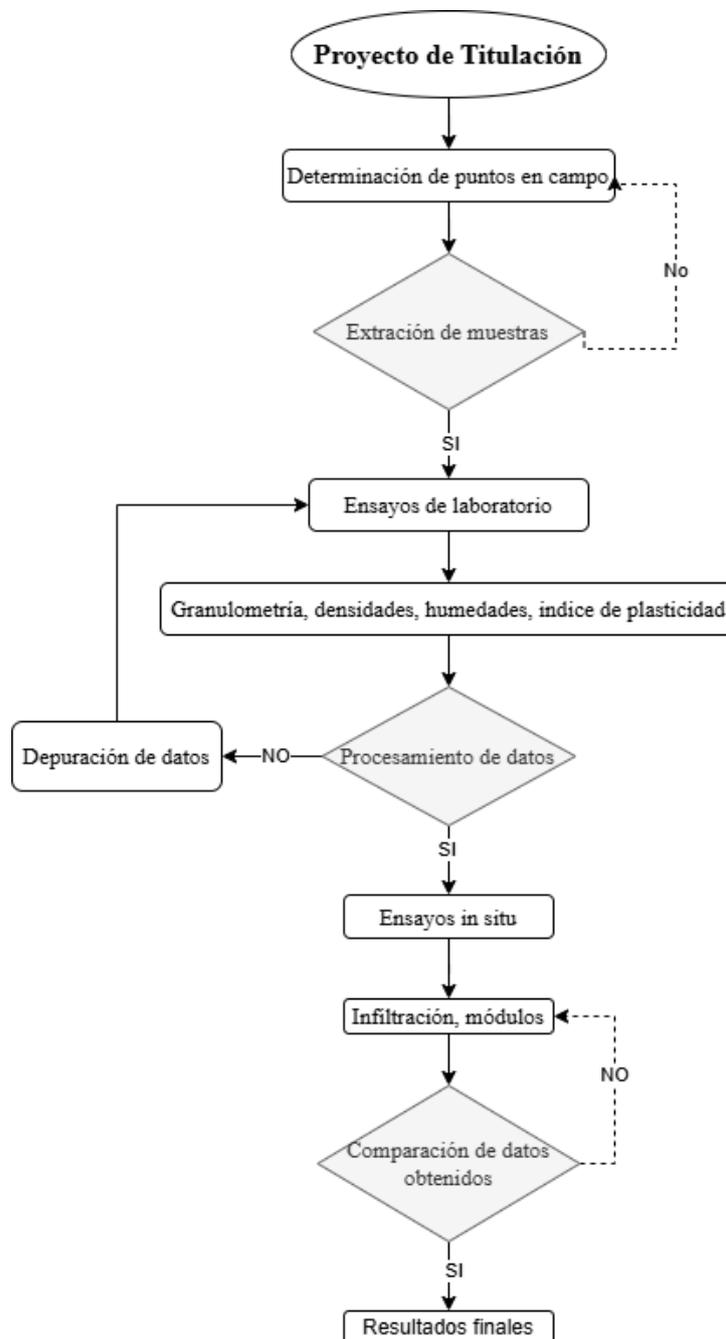
Densidad: Medición de la masa por unidad de volumen del material, crucial para el diseño y control de calidad del micro pavimento.

Estudios de Caso o Experiencias Similares: Investigaciones realizadas en diversas ciudades han demostrado la eficacia del micropavimento en la rehabilitación de vías urbanas, resaltando la importancia de una correcta selección de materiales y técnicas de aplicación (Ospino Carbonell, 2019)

CAPÍTULO III. METODOLOGIA.

La siguiente investigación se basará en un estudio experimental en campo y en laboratorio para comparar las características de micro pavimentos antiguos y nuevos, centrándose en aspectos físicos, mecánicos e hidráulicos. Se empleará una metodología de carácter descriptiva que permitirá el análisis y explicaciones del tema de interés, considerando la relevancia de los micropavimentos en la infraestructura vial de la ciudad de Riobamba. La figura 3 muestra el Diagrama de flujo a ser empleado.

Figura 3. Diagrama de flujo



3.1 Tipo de Investigación

La presente investigación es de tipo experimental con carácter descriptivo, centrada en la comparación de las características de micro pavimentos antiguos y nuevos, aspectos físicos, mecánicos e hidráulicos, a través de ensayos de campo y laboratorio permitiendo identificar diferencias de comportamiento en función del tiempo de servicio y las condiciones estructurales.

3.2 Diseño de Investigación

El diseño de investigación corresponde a un estudio experimental de campo y laboratorio, en el cual se realizaron ensayos tanto in situ como en la extracción de muestras, en puntos determinados en las vías analizadas de micro pavimentos. Estos métodos permitieron comparar el comportamiento de los materiales en condiciones reales de servicio.

3.3 Técnicas de recolección de Datos

Como cumplimiento de los objetivos, se aplicaron técnicas de investigación cuantitativas y experimentales, tanto en campo y laboratorio lo que permitió caracterizar el comportamiento de los micro pavimentos.

3.3.1 Trabajo en campo

Se realizó un levantamiento inicial en los sectores ya seleccionados:

Reconocimiento visual de las vías: Se identificaron las condiciones generales de las superficies intervenidas como micro pavimento, diferenciado entre tramos anteriores y recientes. Se tomaron en cuenta aspectos como tipo de entorno y viabilidad de deterioros superficiales.

Georreferenciación: Mediante aplicaciones de sistema de posicionamiento global como “GPS Map”, se registraron las coordenadas de cada punto de estudio para su ubicación en planos y facilitar el seguimiento de resultados.

Selección y extracción de muestras: en los sectores determinados se extrajeron muestras mediante excavación estratificada, identificando los diferentes sustratos del suelo presente en cada tramo, entre ellos la subbase y la subrasante. Este procedimiento permitió obtener especímenes representativos de cada capa para su posterior análisis en laboratorio. Las muestras fueron debidamente identificadas, etiquetadas y almacenadas siguiendo un protocolo técnico que garantizó la conservación de sus propiedades originales.

3.3.2 Pruebas de laboratorio

Se evaluó las características físicas y mecánicas de las muestras recolectadas en campo, aplicando métodos estandarizados.

3.3.3 Revisión bibliográfica

Se realizó la recopilación de antecedentes técnicos y académicos sobre micro pavimentos, especialmente en contextos locales.

3.4 Población de estudio y tamaño de muestra

3.4.1 Población

La población de estudio está conformada por tramos viales con tratamiento superficial tipo micro pavimento dentro de la Ciudad de Riobamba, Provincia de Chimborazo. Para delimitar técnicamente la población, se realizó un mallado vial de la ciudad con el fin de identificar y registrar todos los tramos intervenidos en distintos periodos.

Como resultado del levantamiento, se identificaron un total de 11 vías, distribuidas en tres grupos según su ubicación y antigüedad de tratamiento.

Grupo 1: Vías con micro pavimento antiguo (anteriores a 2020). Se identificaron 6 vías ubicadas en el centro de la ciudad con tratamientos aplicados como se observa en la tabla 2. Entre ellas se incluyen calles principales y secundarias.

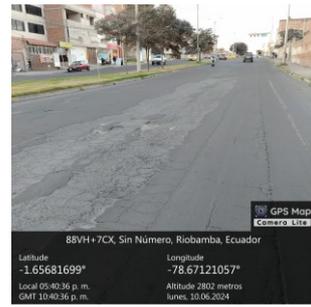
Tabla 2

Vías con micro pavimento Grupo 1

Tipo	Nombre	Foto
Principales	Avenida Canónigo Ramos	

Principales

Avenida 11 de noviembre



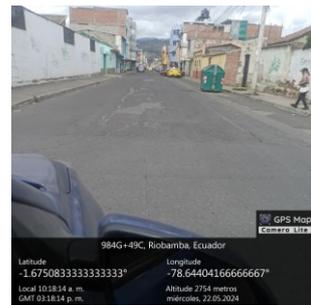
Principales

Avenida José Veloz



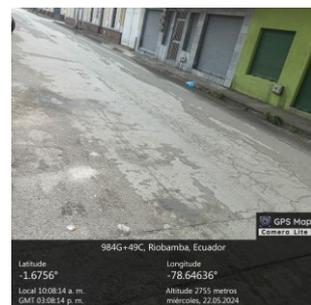
Secundarias

Morona



Secundarias

Pedro Alvarado



Secundarias

Diego de Almagro



Nota: se presenta la tabla en donde se identificaron el grupo 1 de las calles con tratamiento superficial anterior al 2020.

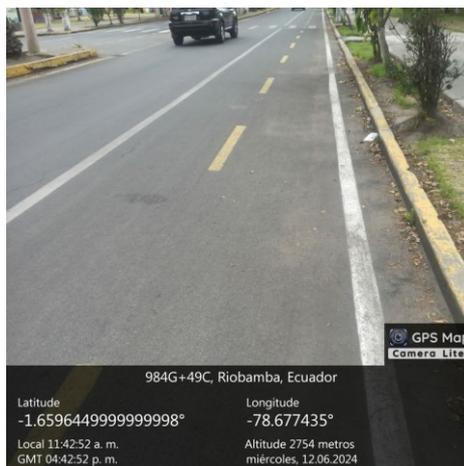
Grupo 2: Vías con micro pavimentos en el año 2022, ubicados en el barrio el Batán. Estas calles no cuentan con nombres oficiales, pero fueron verificadas en campo y delimitadas como parte del sector rural.

Figura 4. Vías identificadas con tratamiento superficial grupo 2



Grupo 3: Vías identificadas en año más recientes (2023-2024), corresponden a tramos internos del campus de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, estas vías cuentan con un entorno institucional, tránsito controlado y un proceso de aplicación más reciente y estructurado.

Figura 5. Vías identificadas con tratamiento superficial grupo 3

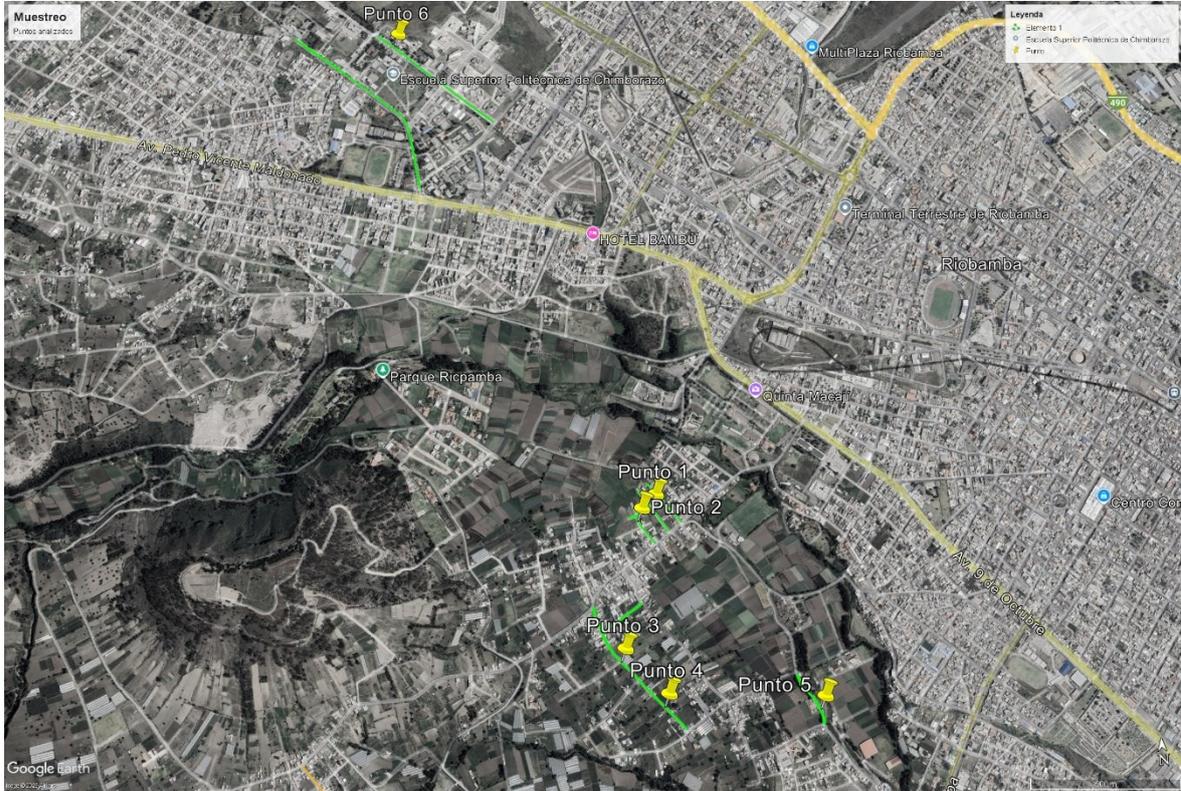


3.4.2 Muestra

La muestra está compuesta por un total de 6 muestras viales, distribuidos de la siguiente manera: 5 muestras en el Barrio El Batán y 1 muestra en el campus dentro de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En estos puntos se realizó los ensayos físicos,

mecánicos e hidráulicos mediante pruebas de campo y laboratorio, como parte del análisis comparativo entre antiguo y nuevo.

Figura 6. Vías identificadas con tratamiento superficial, zona nueva y zona antigua.



3.4.3 Tipo de Muestreo

El tipo de muestreo aplicado es no probabilístico de tipo intencional, ya que se consideró la accesibilidad, la antigüedad del tratamiento, el tipo de vía, el estado de conservación y la posibilidad de realizar extracciones y ensayos in situ. De esta manera este enfoque metodológico permite garantizar la relevancia y representatividad de las muestras seleccionadas en función de los objetivos específicos.

3.5 Métodos de análisis, y procesamiento de datos.

Para el procesamiento y análisis de los datos obtenidos, se emplearon métodos cuantitativos y comparativos que permitieron evaluar de forma sistemática las características físicas, mecánicas e hidráulicas de los micropavimentos. Los resultados obtenidos tanto en campo como en laboratorio fueron organizados en matrices a fin de facilitar su interpretación.

3.5.1 Ensayos físicos y mecánicos

3.5.1.1 Granulometría por tamizado:

El ensayo de granulometría permite determinar la distribución del tamaño de partículas del material generando así curvas granulométricas para identificar la uniformidad y tipo de suelo. Se basó en la norma NTE INEN 696 (2011).

$$\text{Retenido \%} = \left(\frac{\text{Peso retenido}}{\text{Peso total de la muestra}} \right) \times 100$$

Ecuación 1

$$\text{Retenido \%} = 100 - \text{Retenido acumulado\%}$$

Ecuación 2

3.5.1.2 Contenido de humedad natural:

El ensayo permite conocer la cantidad de agua presente en la muestra, este ensayo se basó mediante la normativa NTE INEN 690 (1982).

$$H(\%) = \left(\frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \right) \times 100$$

Ecuación 3

3.5.1.3 Densidad y absorción de agregados finos

El objetivo del ensayo permite determinar la densidad promedio del agregado fino, considerado únicamente el volumen sólido del material y excluyendo los vacíos presentes entre las partículas a su vez establecemos la capacidad de absorción de agua un factor clave para predecir el comportamiento del agregado cuando se incorpora a mezclas hidráulicas. Este ensayo se basa en la norma NTE INEN 856 (2010).

3.5.1.4 Densidad y absorción de agregados gruesos

El ensayo de densidad y absorción de agregados gruesos fue basado en la norma NTE INEN 857 (2010), que tiene por objetivo determinar la densidad media del agregado grueso, excluyendo el volumen de vacíos entre partículas, además, se evalúa su gravedad específica y compatibilidad del material. Y para los agregados finos está basada en la norma teniendo como objetivo determinar la densidad media de una muestra de agregado fino.

3.5.1.5 Límites de Atterbeg

El ensayo se realiza para identificar el contenido de agua en los suelos finos. Este ensayo es basado en la normativa INEN 691 (1982).

$$\text{Índice de plasticidad (IP)} = LL - LP$$

Ecuación 4

Donde:

LL: Límite líquido

LP: Límite plástico

3.5.1.6 Proctor Modificado

El ensayo de Proctor modificado tiene como objetivo determinar la relación óptima entre humedad y densidad seca para compactación de suelos en condiciones de alta energía. Este ensayo se basa en la norma ASTM D1557 (2012).

3.5.2 Ensayos in situ

3.5.2.1 Mancha de Arena

Es un método usado para determinar la textura superficial o macrotextura de un pavimento, también es útil en micropavimentos, donde la rugosidad superficial es crucial para garantizar la fricción adecuada entre neumáticos y pavimento, así como la adherencia entre capas. Este ensayo se basa en la norma UNE-EN 13036-1:2011.

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

Ecuación 5

Donde:

MTD: Profundidad media de la textura (mm)

V: Volumen de arena usado (cm³)

D: Diámetro promedio del círculo de arena (cm)

3.5.2.2 Cono de arena

El ensayo de cono de arena nos ayuda a determina la densidad de compactación del suelo directamente en el terreno. Este ensayo se basa en la norma ASTM D1556 (2000).

$$\rho_d = \frac{Ms}{V}$$

Ecuación 6

Donde:

ρ_d : Densidad seca (g/cm^3 o kg/m^3)

M_s : Masa de suelo seco (g o kg)

V : Volumen del hueco o molde (cm^3 o m^3)

3.5.2.3 Ensayo Geogauge

Este ensayo es un método no destructivo y nos permite medir el módulo de corte y la densidad superficial de capas compactadas, útil para control de calidad. Este ensayo se basa en la norma (AASHTO M-145, 1997).

3.5.2.4 Ensayo de infiltración

Este ensayo tiene como objetivo medir la permeabilidad del micropavimento. Este ensayo se basa en la norma ASTM D3385-03 (2003).

$$K = \frac{Q}{A \times t}$$

Ecuación 7

Donde:

K : Tasa de infiltración (cm/s o mm/h)

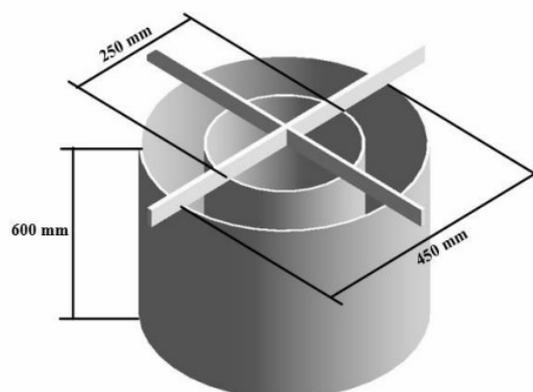
Q : Volumen de agua infiltrada (cm^3)

A : Área del anillo interno (cm^2)

t : Tiempo de infiltración (s)

El ensayo de infiltración de doble anillo consiste en la inserción de dos cilindros metálicos concéntricos sobre la superficie del material a analizar (micro pavimento). Posee un diámetro de 250 mm, mientras que el anillo externo tiene un diámetro de 450 mm, ambos poseen una altura de 60 mm y fueron fabricados con acero galvanizado con espesor de 1.5 mm.

Figura 7. Representación del infiltrómetro de doble anillo.



Nota: se presenta el esquema en representación del infiltrómetro de doble anillo utilizado para realizar el ensayo. Tomado de: (Cepeda & Rosero, 2024)

Para asegurar un sellado adecuado y prevenir filtraciones laterales durante el ensayo, se incluye un caucho el cual se adhiere firmemente a la superficie del material mediante silicona y para garantizar la estabilidad del equipo y contacto uniforme con el suelo, se coloca 60 kg de peso distribuido equitativamente en los cuatro extremos, siendo así 15 kg por lado.

Figura 8. Sellado de infiltrometro con silicona.



CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados característicos físicas

4.1.1 Composición del micro pavimento

La composición del micro pavimento es un aspecto fundamental que determina su desempeño estructural, funcionalidad y durabilidad en el tiempo. El diseño debe asegurar un equilibrio entre los agregados, el contenido de emulsión, el agua y los aditivos, con el objetivo de proporcionar una buena trabajabilidad.

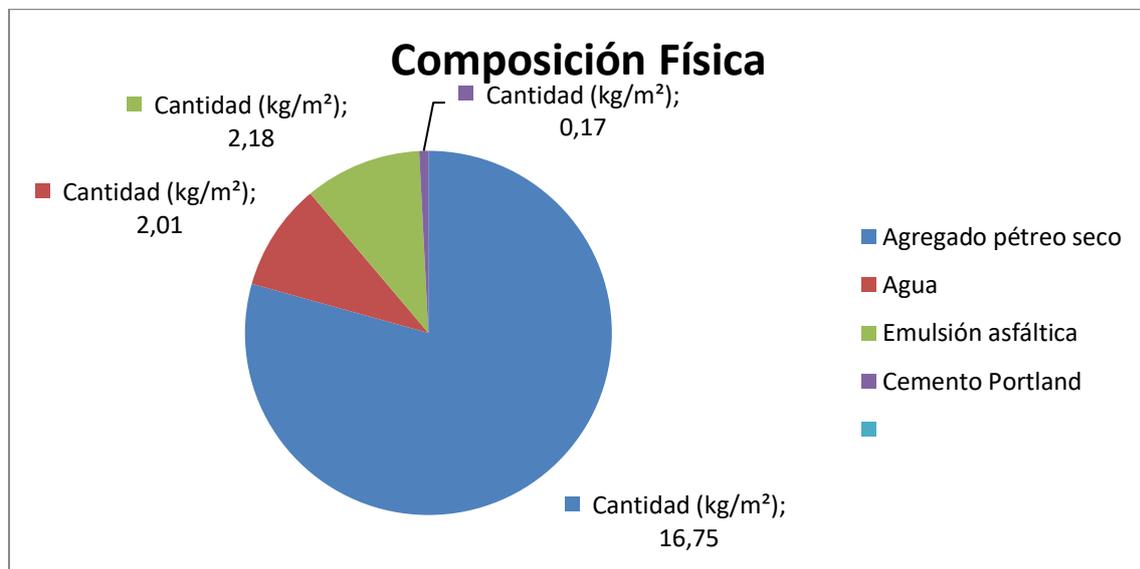
Tabla 3

Composición del micro pavimento.

Componente	% en la mezcla	Cantidad (kg/m ²)	Función principal
Agregado pétreo seco	79.3%	16.75	Proporciona resistencia al desgaste y textura
Agua	12%	2.01	Activa la emulsión y regula trabajabilidad
Emulsión asfáltica	13%	2.18	Ligante que une los agregados y proporciona cohesión
Cemento Portland	1%	0.17	Acelerante de fraguado y mejora adhesión

Nota: se presenta la dosificación correspondiente a un micro pavimento Tipo III ISSA,

Figura 9. *Composición Física del micro pavimento.*



La Figura 9 muestra la composición física del micro pavimento aplicado en las zonas del Batán y la ESPOCH, representando la proporción en masa (kg/m²) de cada uno de los componentes utilizados por metro cuadrado. Este tipo de dosificación responde a un diseño tipo III conforme a las especificaciones ISSA, utilizado principalmente para tráfico medio a

alto, que requiere mayor resistencia superficial. El agregado pétreo seco constituye el componente predominante de la mezcla, con 16.75 kg/m^2 , lo que equivale al 79.3% del total de materiales aplicados. Este material es esencial para proporcionar resistencia al desgaste y contribuir a la macro textura del pavimento, favoreciendo el drenaje superficial y la fricción vehicular.

La emulsión asfáltica CSS-1H-P o CQS-1H-P representa el 13% de la mezcla, con 2.18 kg/m^2 . Su función es actuar como ligante que recubre los agregados, proporcionando cohesión y flexibilidad al micro pavimento, permitiendo resistir deformaciones térmicas y cargas vehiculares moderadas. El contenido de agua, que representa el 12% (2.01 kg/m^2), cumple un rol fundamental en la activación de la emulsión asfáltica y en la trabajabilidad de la mezcla durante la aplicación. Un control adecuado de este componente es crucial, ya que excesos pueden generar segregación o sangrado, mientras que déficits pueden afectar la uniformidad y compactación superficial. Por su parte, el cemento portland se utilizó en una proporción reducida (1%, equivalente a 0.17 kg/m^2), desempeñando un papel como acelerante de fraguado y estabilizador. Este aditivo mejora la adhesión inicial y reduce el tiempo de curado, lo cual es especialmente útil en zonas con alta humedad o tránsito temprano.

4.1.2 Espesores del micro pavimento

La Tabla 4 presenta los espesores de la capa de micro pavimento evaluados, los resultados indican que los espesores de micro pavimento en los sectores antiguos oscilan entre 4 mm y 7 mm, con un promedio estimado de 5.4 mm. Este rango resulta inferior al recomendado para vías de tráfico medio a alto, especialmente considerando que el micro pavimento fue aplicado en algunos casos directamente sobre la subbase o subrasante, tal como se evidenció en observaciones previas. En contraste, el punto P6, correspondiente al micro pavimento nuevo, alcanzó un espesor de 10 mm, lo cual se encuentra dentro del rango óptimo sugerido por la norma ISSA A143 (generalmente entre 8 mm y 12 mm para Tipo III). Este espesor mayor proporciona una mejor capacidad de cobertura, mayor resistencia al desgaste y una vida útil más prolongada frente a solicitaciones climáticas y de carga.

Tabla 4

Espesores del micro pavimento.

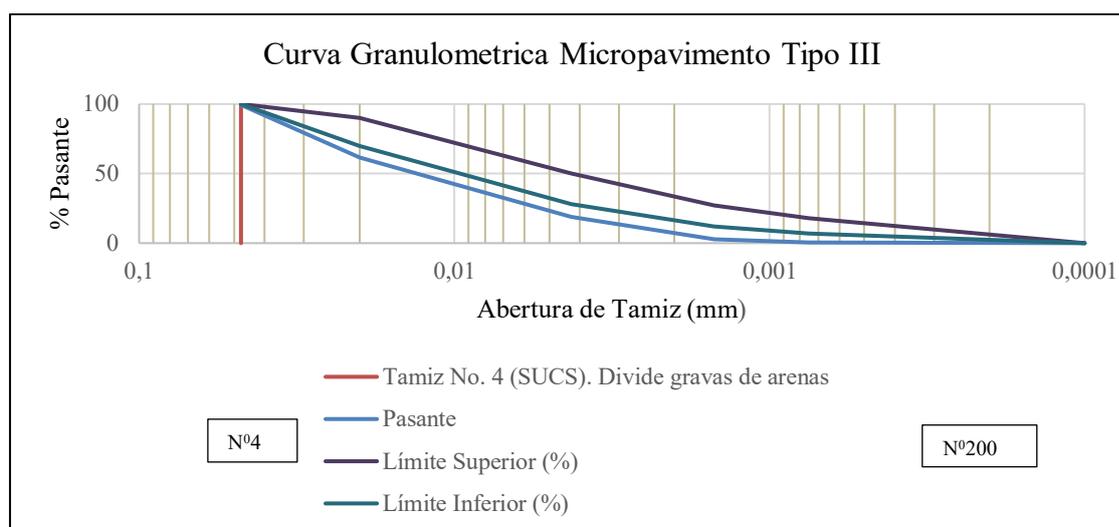
Espesores de micropavimento			
Antiguos	Punto 1	4	mm
	Punto 2	4	mm
	Punto 3	5	mm
	Punto 4	7	mm
	Punto 5	7	mm
Nuevo	Punto 6	10	mm

4.1.3 Ensayo de granulometría

4.1.3.1 Ensayo de granulometría del micro pavimento

A continuación, se muestra la figura 10 donde indica el pasante de la granulometría para micro pavimento Tipo III, tanto el límite inferior como superior.

Figura 10. Curva de granulometría del micro pavimento tipo III.



La Figura 10 muestra la curva granulométrica del agregado evaluado para la formulación del micro pavimento tipo III, comparada con los límites superior e inferior establecidos por la norma ISSA A143. El análisis revela que la curva del material evaluado se encuentra mayormente por debajo del límite inferior en los tamices No. 10 (2 mm), No. 40 (0.425 mm) y No. 100 (0.15 mm), lo cual indica una alta concentración de partículas finas. Específicamente, el porcentaje pasante para el tamiz No. 40 fue de 18.79%, mientras que el rango recomendado por la norma está entre 28% y 50%, mostrando un déficit en la fracción media del agregado.

Esta deficiencia granulométrica puede afectar negativamente la estructura del micro pavimento, ya que una curva más cerrada y con predominancia de finos compromete la

textura superficial, reduce la capacidad de drenaje y puede generar mayor retención de agua, lo cual favorece fenómenos de desintegración prematura o pérdida de fricción.

4.1.3.2 Ensayo de granulometría subbase

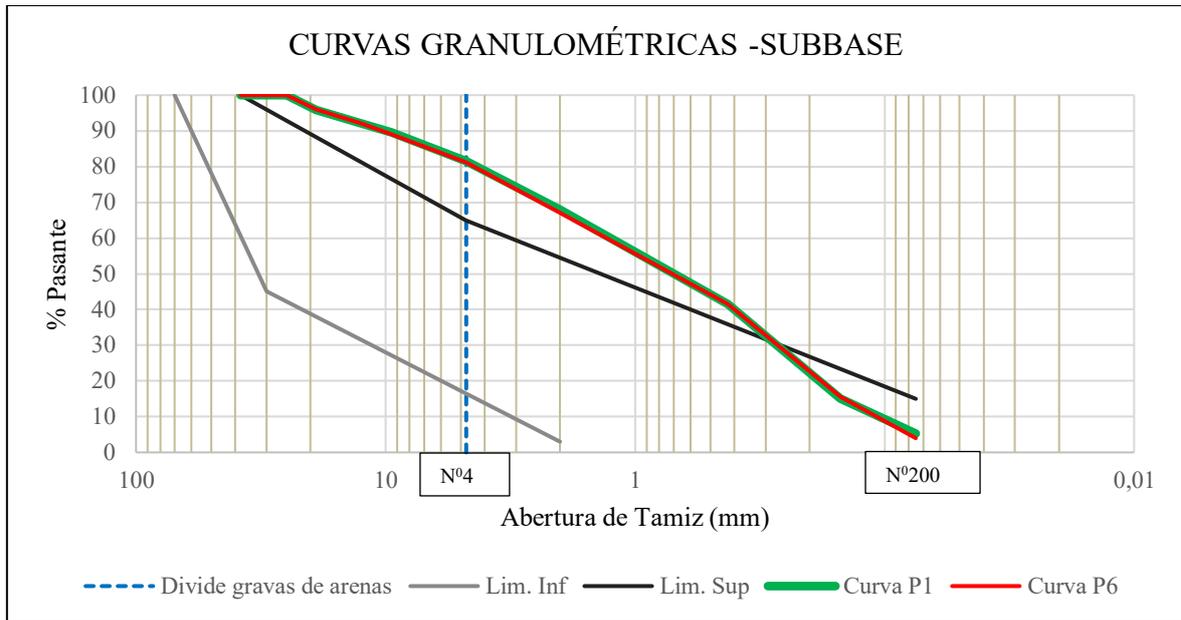
En la tabla 5 se presentan los resultados del análisis granulométrico realizado a la subbase en los puntos de control, junto al promedio de pasantes por cada tamiz. además, se compara los resultados con los límites granulométricos establecidos para una subbase clase 1 según especificaciones del MOP 001, (2002)

Tabla5

Análisis granulométrico, promedio de la subbase.

GRANULOMETRÍA DE LA SUBBASE DEL MICRO PAVIMENTO										
Abertura del Tamiz		P1	P6	PROMEDIO	Material Obtenido	Límite superior (%)	Límite inferior (%)	Arenas (%)	Gravas (%)	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
Tamiz (ASTM)	(mm)	Pasante %	Pasante %	Pasante %						
1 1/2"	38.1	100.00	100.00	100.00		100	100			SUBBASE CLASE 1 Procedencia del material: Vía Riobamba - Macas, tramo San Luis-Flores Profundidad de la muestra: 30 cm Peso de la muestra: 2000 g Tamaño máximo nominal: 1 1/2 "
1"	25	100.00	100.00	100.00	Grava Gruesa	100	100			
3/4"	19	95.76	95.98	95.87		70	100			
1/2"	12.5	92.02	92.09	92.06						
3/8"	9.5	89.52	89.05	89.28	Grava Fina	50	80	76.72	18.65	
No. 4	4.75	81.58	81.11	81.35		35.00	65			
No. 10	2	67.90	67.06	67.48	Arena Gruesa	25	30			
No. 40	0.425	41.42	41.45	41.43		15	30			
No. 100	0.15	15.02	15.57	15.30	Arena Fina					
No. 200	0.075	5.27	3.98	4.63		3.00	15			
Fondo		0.00	0.00	0.00						Estado de Consistencia LL 17.37% LP NP IP NP Arena pobremente gradada con grava (SP)
										Clasificación SUCS

Figura 11. Curva de granulometría promedio subbase clase 1.



Nota: se presenta las curvas granulométricas correspondientes a la subbase encontradas solo en el punto 1 y punto 6, representando subbase de micropavimentos antiguos y nuevos.

En la figura 11 se puede observar la comparación de las curvas granulométricas correspondientes a los puntos de muestro P1 y P6, en relación con los límites superior e inferior. Ambas curvas presentan una distribución de partículas con una tendencia continua y uniforme, lo cual es indicativo de una buena elaboración del material. Sin embargo, se evidencia que los puntos sobrepasan el límite superior en varios tramos, esto nos indica un exceso de finos en el material lo cual podría comprometer al drenaje y aumentar la retención de humedad. La excesiva finura del material respecto al límite superior normado representa una deficiencia técnica, que podría derivar en problemas de capacidad estructural y durabilidad, especialmente ante presencia de infiltración.

En la tabla 3, se presenta los resultados promedio de dos puntos muestreados en la subbase del micro pavimento, se analizan los valores obtenidos en función a los tamaños de partícula, su clasificación y su adecuación a los parámetros técnicos establecidos.

El 100% del material paso por los tamices de 1½" (38.1 mm) y 1" (25 mm), lo cual indica que el tamaño máximo nominal está dentro de lo permitido para una subbase de tipo estructural. A su vez podemos identificar que predomina grava gruesa y fina, lo que es favorable para la capacidad portante de la subbase. El porcentaje de material que pasa por el tamiz No. 200 es de 4.63%, lo que se encuentra dentro del rango normativo aceptado para subbase clase 1 según especificaciones del MTOP. La fracción de arenas representa un

76.72% mientras que la fracción de gravas es de 18.65%, la gran cantidad de arena corresponde al tipo de granulometría aceptable.

La clasificación e SUCS obtenida fue SP (Arena pobremente gradada con grava), lo que refleje que el material tiene una buena mezcla de arena y grava, pero con irregularidades en su gradación. Sin embargo, es aceptable para micropavimentos ya que proporcionan una estructura estable sin presentar excesiva variabilidad en el tamaño de partículas.

A continuación, en la tabla 6 se presenta los coeficientes de uniformidad y de curvatura obtenidos en la subbase.

Tabla 6
Coefficiente de uniformidad y curvatura de subbase.

Capa	Puntos de control	Coefficiente de uniformidad [Cu]	Coefficiente de curvatura [Cc]
SUBBASE	P1	12.00	0.55
	P6	12.14	0.51
	Promedio	12.07	0.53

El promedio de los coeficientes $Cu=12$ y $Cc=0.55$, nos indican la clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), señalando que la subbase presenta una gradación deficiente o pobre en partículas intermedias, lo que podría mostraren una menor densidad relativa y mayor susceptibilidad a la segregación o pérdida de soporte si no se compacta adecuadamente. Este comportamiento nos indica con la clasificación antes mencionada SP.

4.1.3.3 Ensayo de granulometría subrasante

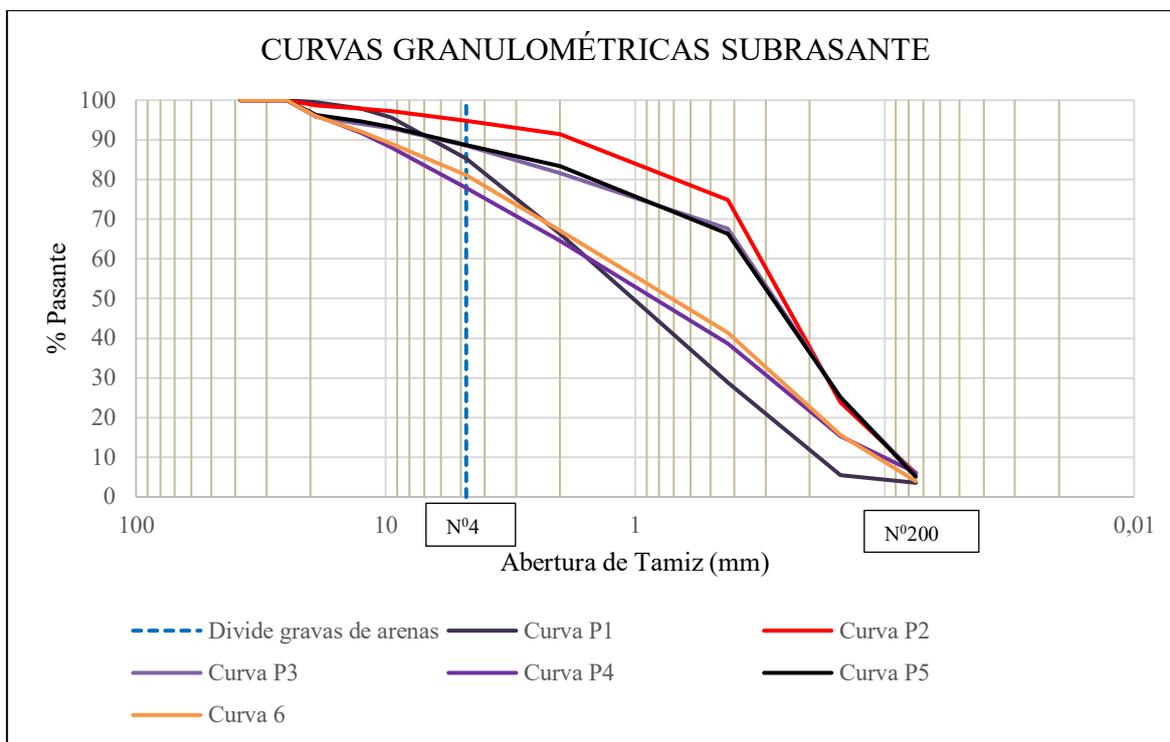
En la tabla 7 se detallan los resultados obtenidos del análisis granulométrico para los seis puntos de control, correspondiente tanto a zonas con micro pavimentos antiguos como nuevos.

Tabla 7

Análisis granulométrico, promedio de la subrasante.

GRANULOMETRÍA DE LA SUBRASANTE DEL MICRO PAVIMENTO														
Abertura del Tamiz	P1	P2	P3	P4	P5	P6	PROMEDIO							
Tamiz (ASTM)	(mm)	Pasante %	Material Obtenido	Límite superior (%)	Límite inferior (%)	Arenas (%)	Gravas (%)	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA						
1 1/2"	38.1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00						SUBRASANTE
1"	25	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	Grava Gruesa					Procedencia del material: Zona antigua y zona nueva
3/4"	19	99.51	98.65	95.80	96.17	96.30	95.98	97.07						Profundidad de la muestra: 70 cm
1/2"	12.5	97.94	97.86	94.07	91.83	94.73	92.09	94.75						Peso de la muestra: 2000 g
3/8"	9.5	95.67	97.29	92.85	87.98	93.26	89.05	92.68	Grava Fina			81.05	13.90	Tamaño máximo nominal: 1 "
No. 4	4.75	85.40	94.89	88.61	77.90	88.69	81.11	86.10						Estado de Consistencia
No. 10	2	66.39	91.40	81.66	64.63	83.43	67.06	75.76	Arena Gruesa					LL 26.02%
No. 40	0.425	28.78	74.83	67.55	38.70	66.25	41.45	52.93						LP NP
No. 100	0.15	5.45	23.78	25.20	15.36	25.10	15.57	18.41	Arena					IP NP
No. 200	0.075	3.57	5.97	5.59	6.11	5.09	3.98	5.05	Fina					Arena
Fondo		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00						Clasificación SUCS pobremente gradada con limo y grava (SP-SM)

Figura 12. Curva de granulometría promedio subrasante.



Nota: se presenta las curvas granulométricas correspondientes a la subrasante. Se observan variaciones en la distribución de tamaños, con predominancia de arenas y bajo contenido de finos.

En la figura 12 se presentan las curvas granulométricas correspondientes a la subrasante del micro pavimento se puede observar la variación en la distribución de tamaños de partículas del material analizado. La mayoría de las curvas cruzan la línea azul punteada, que divide gravas de arenas (tamiz 4.75 mm), indicando que el material está compuesto predominantemente por arenas. Asimismo, la baja cantidad de pasante en el tamiz No. 200 (indicado por la línea roja punteada) evidencia un contenido de finos bajo, lo cual es deseable para evitar retención de agua y pérdida de capacidad portante.

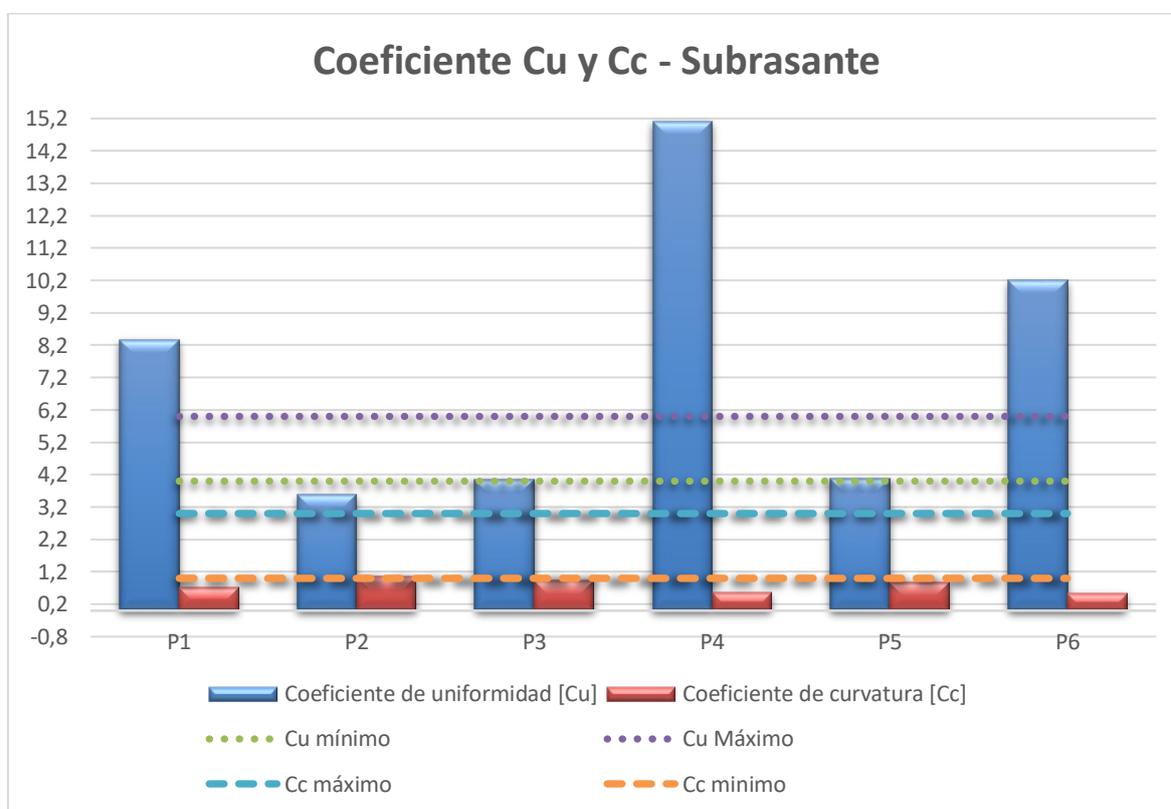
La granulometría de la subrasante del micro pavimento analizado permitió establecer la distribución de tamaños de partículas y evaluación del material para la función estructural. Se estableció el tamaño máximo nominal 1", donde se requiere una estructura granulada con tendencia fina para garantizar continuidad y estabilidad en la base de apoyo.

La clasificación SUCS que corresponde a SP-SM (arena pobremente gradada con limo y grava), lo que concuerda con su comportamiento granulométrico: una mezcla sin buena gradación intermedia, pero características aceptables para capas de subrasante bajo ciertas condiciones de compactación y carga.

Tabla 8
Coefficiente de uniformidad y curvatura de subrasante.

Capa	Puntos de control	Coefficiente de uniformidad [Cu]	Coefficiente de curvatura [Cc]
SUBRASANTE	P1	8.36	0.71
	P2	3.58	1.05
	P3	4.03	0.92
	P4	15.11	0.55
	P5	4.08	0.89
	P6	10.20	0.53
	Promedio		7.56

Figura 13. *Diagrama de barras de Cu y Cc subrasante*



Los valores de Cu varían entre 3.58 y 15.11, con un promedio 7.03, lo cual indica que el material posee una distribución aceptable de tamaños de partículas. No obstante, en los puntos P2, P3 y P5, los valores de Cu fueron inferiores a 6, reflejando una pobre gradación, lo cual podría comprometer la estabilidad del material. En cuanto al coeficiente de curvatura (Cc), los valores se ubicaron entre 0.53 y 1.05, con un promedio de 0.82, siendo este al rango menor de 1 a 3, evidenciando así una deficiencia en la fracción de partículas intermedias.

4.1.4 Macro textura

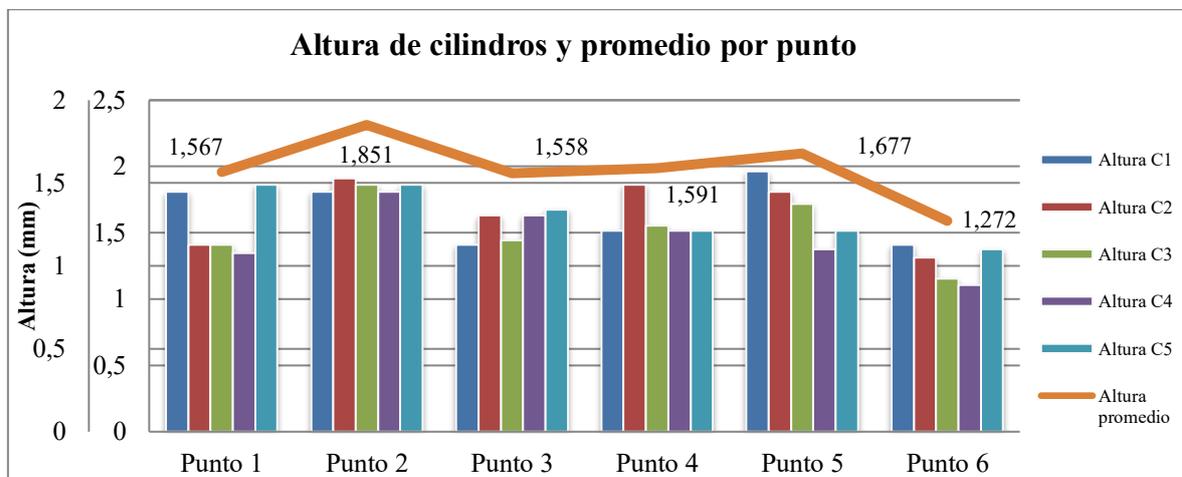
La macro textura es una característica física en pavimentos delgados como el micro pavimento, ya que influye directamente en la fricción, el escurrimiento del agua y la seguridad, en la tabla 9 se indica los diámetros promedios obtenidos y la altura calculada.

Tabla9

Resultado de la macrotextura.

	Diámetro promedio C1	Altura	Diámetro promedio C2	Altura	Diámetro promedio C3	Altura	Diámetro promedio C4	Altura	Diámetro promedio C5	Altura	Altura promedio
	mm	mm	mm								
Punto 1	187.5	1.811	212.5	1.410	212.5	1.410	217.5	1.346	185	1.860	1.567
Punto 2	187.5	1.811	182.5	1.911	185	1.860	187.5	1.811	185	1.860	1.851
Punto 3	212.5	1.410	197.5	1.632	210	1.444	197.5	1.632	195	1.674	1.558
Punto 4	205	1.515	185	1.860	202.5	1.552	205	1.515	205	1.515	1.591
Punto 5	180	1.965	187.5	1.811	192.5	1.718	215	1.377	205	1.515	1.677
Punto 6	212.5	1.410	220	1.315	235	1.153	240	1.105	215	1.377	1.272

Figura 14. Alturas individuales y promedio de macrotextura según mediciones con método de mancha de arena (ASTM E965)



En la figura 14 se visualiza de forma clara la variabilidad de las alturas obtenidas para cada cilindro (C1 a C5) en los distintos puntos evaluados, así como la tendencia general representada por la línea de promedio. Esta representación gráfica facilita la identificación de inconsistencias puntuales y del comportamiento global de la macrotextura superficial. Se observa que en los Puntos 2 y 5, las alturas individuales de los cilindros son elevadas y consistentes entre sí, lo que se traduce en un promedio mayor a 1.5 mm. Según la norma ASTM E965, una macrotextura adecuada debe presentar una rugosidad mínima que

garantice la fricción superficial, especialmente en condiciones húmedas. En este sentido, estos puntos cumplen satisfactoriamente el estándar.

En cambio, el Punto 6 revela una dispersión notable en las alturas y un promedio de tan solo 1.272 mm, lo cual está por debajo del valor mínimo recomendado (≥ 1.5 mm), donde se identifica una caída marcada en la línea de promedio, indicando una posible zona crítica que requiere mantenimiento o tratamiento adicional para asegurar la seguridad vial. En general, se evidencia una buena uniformidad superficial, compatible con un micro pavimento bien ejecutado.

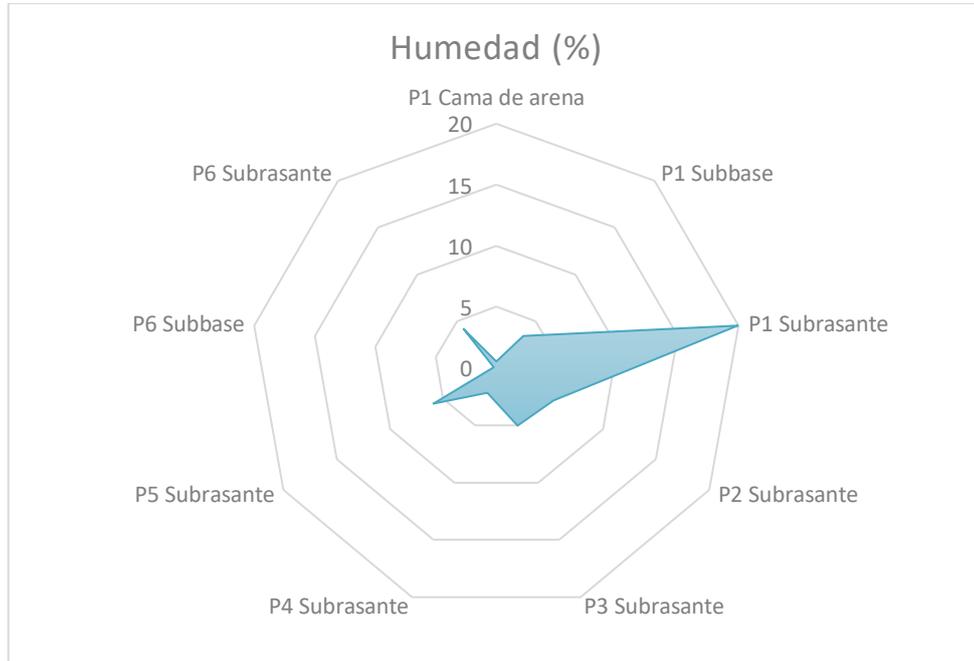
4.1.5 Ensayo de Contenido de Humedad

Tabla10

Resultados del contenido de humedad.

Muestra	Muestra	Espesor (cm)	Peso Tara [g]	Peso H [g]	Peso Humedad [g]	Peso S [g]	Peso Seco [g]	Humedad Suelo	% Humedad Suelo
Punto 1	Cama de arena	5	14.3	116.6	102.3	116	101.7	0.59	0.53
			14.5	121.9	107.4	121.4	106.9	0.47	
	Subbase	20	14.5	114.8	100.3	111.4	96.9	3.51	3.44
			14.7	115.6	100.9	112.3	97.6	3.38	
	Subrasante	33	14.5	107.5	93	91.9	77.4	20.16	19.94
			14.7	110.6	95.9	94.8	80.1	19.73	
Punto 2	Subrasante	35	14	106.6	92.6	102.1	88.1	5.11	5.38
			18.3	115.6	97.3	110.4	92.1	5.65	
Punto 3	Subrasante	36	42.1	143.2	101.1	138.5	96.4	4.88	5.04
			18.1	111	92.9	106.4	88.3	5.21	
Punto 4	Subrasante	30	14.5	118.5	104	116.3	101.8	2.16	2.15
			14.6	124	109.4	121.7	107.1	2.15	
Punto 5	Subrasante	32	14.5	107	92.5	101.8	87.3	5.96	5.91
			14.6	113.8	99.2	108.3	93.7	5.87	
Punto 6	Subbase	21	18.2	145.2	127	145.1	126.9	0.08	0.24
			18.7	142.2	123.5	141.7	123	0.41	
	Subrasante	30	13.8	113.3	99.5	109.3	95.5	4.19	4.17
			14.3	119.7	105.4	115.5	101.2	4.15	

Figura 15. Diagrama radial del contenido de humedad



Nota: La figura representa la distribución porcentual del contenido de humedad promedio por capa.

En la figura 14 podemos observar la subrasante del Punto 1 presenta el valor más elevado de humedad, con un promedio de 19.94%, lo cual indica una alta capacidad de retención de agua, probablemente por su alta porosidad o deficiente compactación. Este valor contrasta fuertemente con los valores más bajos observados en los puntos 4 (2.15%) y 6 (4.17%), lo que sugiere una mejor condición estructural y densidad seca en estos sectores. Además, los puntos 2, 3 y 5 presentan humedades moderadas (entre 5.04% y 5.91%), lo que indica cierta variabilidad en la calidad del suelo subrasante dentro de la zona antigua. Esta variabilidad puede estar asociada a deficiencias constructivas o a zonas con drenaje limitado.

En la subbase, se observa una diferencia notoria entre el Punto 1 (antiguo) y el Punto 6 (nuevo). El punto 1 presenta una humedad promedio de 3.44%, mientras que el punto 6 apenas alcanza 0.24%, lo cual evidencia un mejor control del contenido de humedad y compactación en la obra reciente. Este bajo valor de humedad es ideal para asegurar una alta densidad seca y buena resistencia al esfuerzo cortante.

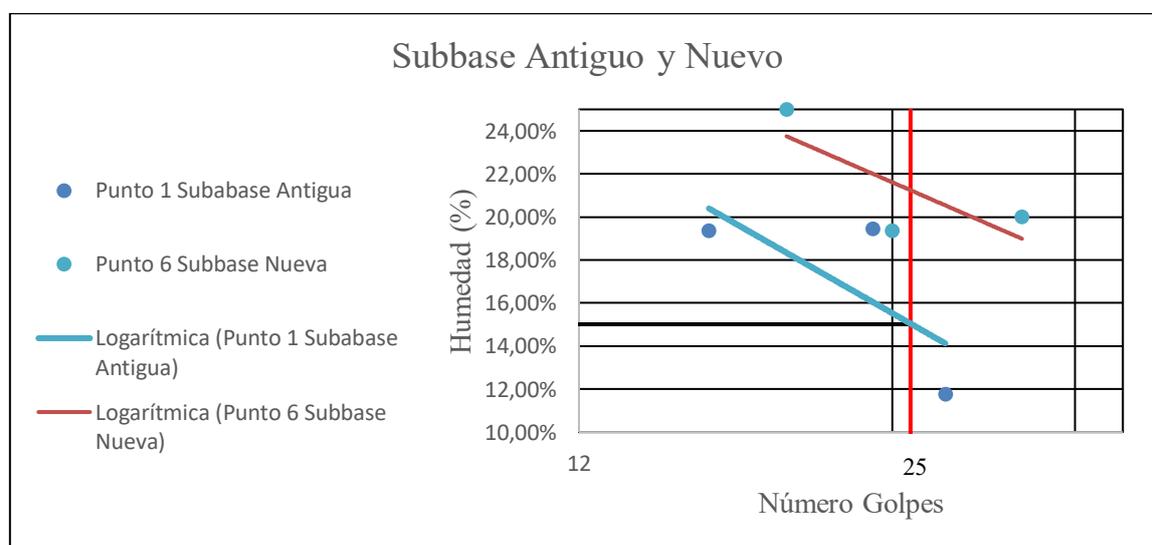
4.1.6 Ensayo de limite líquido y plástico

Tabla 11

Resultado de los Límites de Atterberg.

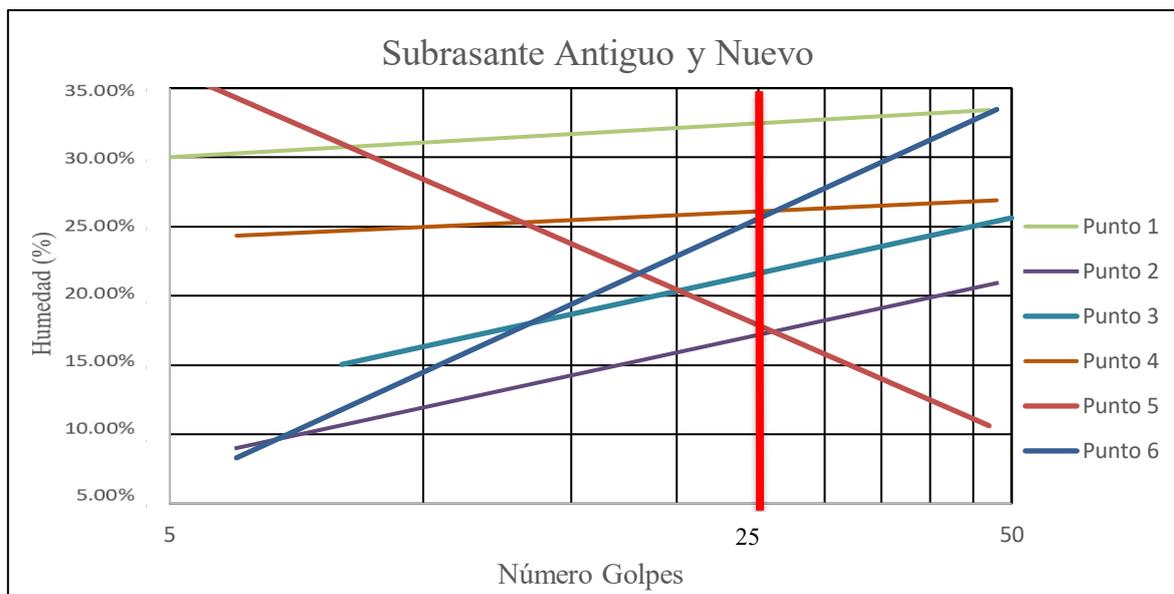
Capa	Puntos	Limite Líquido [LL]	Limite Plástico [PL]	Indice de Plasticidad [IP]	Consistencia
CAMA DE ARENA	P1	17.00%			No plástico
	Promedio	17.00%	NP	0	No plástico
SUBASE	P1	15.01%	12.50%	2.51%	Baja plasticidad
	P6	21.38%			No plástico
	Promedio	18.20%	12.50%	2.51%	No plástico
SUBRASANTE	P1	32.46%	28.21%	4.26%	No plástico
	P2	17.18%			No plástico
	P3	21.63%	19.05%	2.58%	plástico
	P4	26.10%	23.61%	2.49%	plástico
	P5	17.88%			No plástico
	P6	25.57%	18.25%	7.31%	plástico
	Promedio	23.47%	22.28%	4.16%	No plástico

Figura 16. Limite líquido del punto 1 y punto 6 Subbase.



Nota: se presenta la relación entre el número de golpes y el contenido de humedad para determinar el límite líquido.

Figura 17. Limite líquido del punto 1, 2, 3, 4, 5 y 6 Subrasante.



Nota: se presenta la relación para determinar el límite líquido.

En las Figuras 16 y 17 se representa la relación entre el número de golpes y el contenido de humedad para determinar el límite líquido (LL) de los distintos puntos evaluados. Este ensayo permite identificar la plasticidad de los materiales y, por tanto, su susceptibilidad a deformarse con cambios de humedad o esfuerzos externos.

En la subbase, el punto 1 (zona antigua) presentó un límite líquido de 15.01% y un índice de plasticidad (IP) de 2.51%, clasificándolo como un material de baja plasticidad. Por otro lado, el punto 6 (zona nueva) arrojó un límite líquido mayor, de 21.38%, pero sin plasticidad observable (IP no definido), siendo clasificado como no plástico. Esta diferencia puede deberse al tipo de mezcla usada en la nueva intervención, probablemente más controlada y con menor contenido de arcillas activas. Ambos resultados indican que la subbase, tanto en la zona antigua como en la nueva, no presenta problemas críticos de plasticidad, aunque el punto 1 muestra una ligera tendencia a retener humedad, lo cual puede afectar la estabilidad si no se controla la compactación y el drenaje.

En la subrasante, los resultados fueron más variables. El punto 6, correspondiente a la zona de micro pavimento nuevo, presentó un límite líquido de 25.57% y un IP de 7.31%, clasificándolo como material plástico, lo cual indica una mayor susceptibilidad a deformaciones por cambios de humedad. Esto podría atribuirse a una mayor proporción de finos activos en la mezcla de la zona nueva.

Estos resultados evidencian que, en la subrasante, la zona antigua presenta heterogeneidad en cuanto a plasticidad, mientras que la zona nueva (punto 6) muestra una

mayor plasticidad y comportamiento cohesivo, lo cual debe ser considerado en el diseño estructural para evitar problemas de estabilidad a largo plazo.

4.1.7 Ensayo de Densidad y Absorción

En ensayo de densidad y absorción de agregados permitió determinar la capacidad del material de la cama de arena para retener agua, así como su comportamiento en esto seco, saturado y aparente.

Tabla 12

Análisis de densidad y absorción de agregado, de Arena para micro pavimento tipo III.

ARENA MICROPAVIMENTO			
Densidades Relativas		Punto 1	Unidad
Gravedad específica seca al horno	SG_{SH}	5.86	-
Gravedad específica saturada superficialmente seca	SG_{SSS}	6.06	-
Gravedad específica aparente	SG_A	7.30	-
Densidad			
Densidad seca al horno	d_{SH}	5848.98	(kg/m ³)
Densidad saturada superficialmente seca	d_{SSS}	6045.45	(kg/m ³)
Densidad aparente	d_A	7283.63	(kg/m ³)
Absorción			
Porcentaje de absorción del material	Abs	3.36	%

La densidad seca al horno (d_{SH}) fue de 5848.98 kg/m³, mientras que la densidad saturada superficialmente seca (d_{SSS}) alcanzó un valor de 6045.45 kg/m³. Por su parte, la densidad aparente (d_A) fue considerablemente mayor, con 7283.63 kg/m³, reflejando la masa total por volumen ocupado incluyendo los poros impermeables del agregado. En cuanto a las gravedades específicas, se obtuvieron valores de 5.86 para la condición seca, 6.06 en estado SSS y 7.30 como gravedad específica aparente. Estos valores, aunque superiores a los comúnmente reportados para arenas naturales

El porcentaje de absorción de agua del material fue de 3.36%, un valor relativamente alto que indica una presencia significativa de poros abiertos y micro textura en el agregado. Este comportamiento sugiere que la arena tiene una alta capacidad de retención de humedad, lo cual puede influir directamente en la estabilidad volumétrica del micro pavimento, el contenido óptimo de emulsión y la durabilidad de la mezcla.

Tabla13*Análisis de densidad y absorción de agregado, de la cama de arena.*

CAMA DE ARENA				
Densidades Relativas		Punto 1	Unidad	
Gravedad específica seca al horno	SG_{SH}	1.95	-	
Gravedad específica saturada superficialmente seca	SG_{SSS}	2.09	-	
Gravedad específica aparente	SG_A	2.27	-	
Densidad				
Densidad seca al horno	d_{SH}	1945.12	kg/m ³	
Densidad saturada superficialmente seca	d_{SSS}	2086.43	kg/m ³	
Densidad aparente	d_A	2266.16	kg/m ³	
Absorción				
Porcentaje de absorción del material	Abs	7.26	%	

En la tabla 13 se puede observar que la gravedad específica seca al horno fue de 1.950, valor ligeramente inferior al rango típico para arenas silíceas (entre 2.60 y 2.75), lo cual sugiere que el material posee una alta porosidad interna o presencia de minerales livianos. Estos valores son acordes a un material con buena compacidad, aunque moderadamente poroso, lo que se confirma con el resultado de absorción, que fue de 7.27 %. Este valor es considerablemente alto en comparación con los agregados convencionales.

Tabla14*Análisis de densidad y absorción de agregado, de la Subbase.*

SUBBASE				
Densidades Relativas		Punto 1	Punto 6	Unidad
Gravedad específica seca al horno	SG_{SH}	2.40	2.13	-
Gravedad específica saturada superficialmente seca	SG_{SSS}	2.48	2.34	-
Gravedad específica aparente	SG_A	2.62	2.71	-
Densidad				
Densidad seca al horno	d_{SH}	2401.94	2124.90	kg/m ³
Densidad saturada superficialmente seca	d_{SSS}	2481.34	2338.32	kg/m ³
Densidad aparente	d_A	2609.67	2703.28	kg/m ³
Absorción				
Porcentaje de absorción del material	Abs	3.31	10.04	%

Figura 18. Densidades del punto 1 y 6 Subbase.

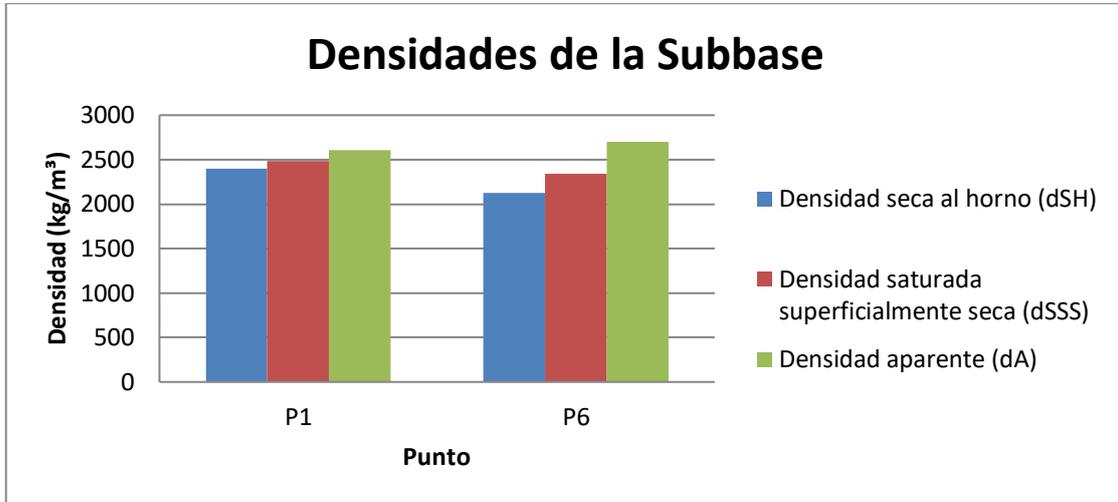
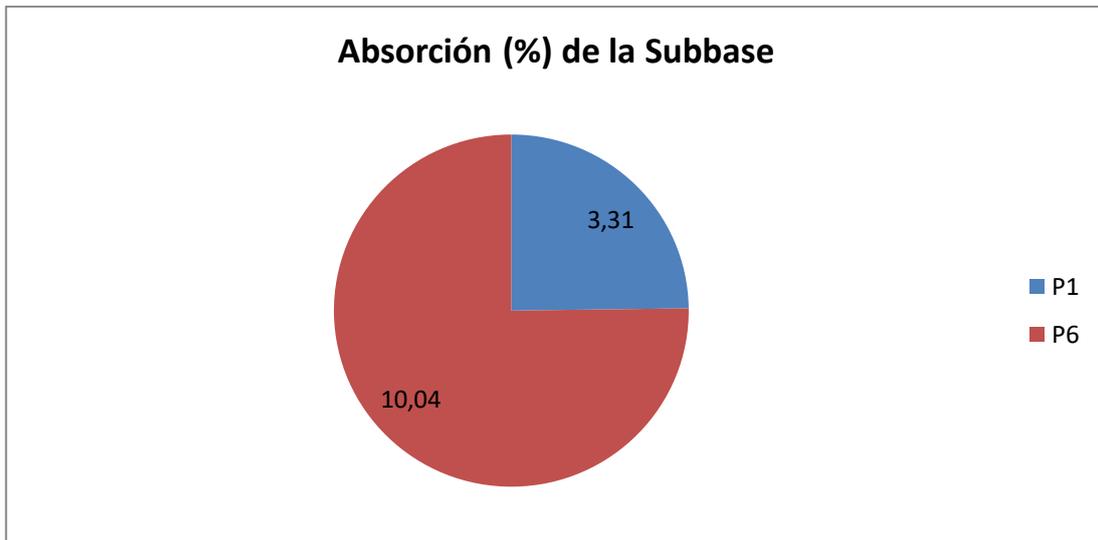


Figura 19. Absorción del punto 1 y 6 Subbase



La evaluación de las densidades relativas y la absorción en los puntos P1 (subbase antigua) y P6 (subbase reciente) evidencia diferencias estructurales relevantes. Según se observa en la Figura 15, el Punto 1 presenta mayores valores de densidad seca al horno (2401.94 kg/m³) y saturada (2481.34 kg/m³), mientras que el Punto 6 refleja valores más bajos de densidad seca (2124.90 kg/m³), pero con una densidad aparente más alta (2703.28 kg/m³). Esta discordancia sugiere que, a pesar de la menor densificación del material seco en el Punto 6, la presencia de vacíos internos ha sido ocupada por agua, lo cual se ve reflejado en la alta absorción registrada (10.04%), como se muestra en la Figura 16. En contraste, el Punto 1 tuvo una absorción significativamente menor (3.31%), lo que indica una subbase más compacta y menos porosa, propia de una capa granular más consolidada con el tiempo.

Al comparar estos resultados con los datos obtenidos en el ensayo Proctor modificado, se confirma que el Punto 1 tuvo una humedad óptima más baja (2.54%) y una masa volumétrica seca máxima aceptable (2.19 T/m³). En cambio, el Punto 6 alcanzó una humedad óptima mayor (7.76%) con una densidad máxima similar (2.22 T/m³), lo que implica una mayor demanda de humedad para alcanzar su punto de compactación ideal, posiblemente debido a la mayor absorción del material.

Tabla 15

Análisis de densidad y absorción de agregado, de la Subrasante.

SUBRASANTE								
Densidades Relativas		Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Unidad
Gravedad específica seca al horno	SG _{SH}	1.71	1.90	1.83	2.33	1.98	2.00	-
Gravedad específica saturada superficialmente seca	SG _{SSS}	2.06	2.01	1.94	2.54	2.04	2.04	-
Gravedad específica aparente	SG _A	2.63	2.13	2.07	2.94	2.11	2.08	-
Densidad								
Densidad seca al horno	d _{SH}	1708.	1899.	1821.	2319.	1974.	1995.	(kg/m ³)
		83	24	69	19	97	00	3)
Densidad saturada superficialmente seca	d _{SSS}	2056.	2002.	1937.	2528.	2035.	2035.	(kg/m ³)
		32	98	23	66	06	06	3)
Densidad aparente	d _A	2622.	2119.	2060.	2935.	2101.	2078.	(kg/m ³)
		36	69	34	68	57	47	3)
Absorción								
Porcentaje de absorción del material	Abs	20.33	5.46	6.34	9.03	3.04	2.01	%

Figura 20. Densidades del punto 1, 2, 3, 4, 5 y 6 Subrasante.

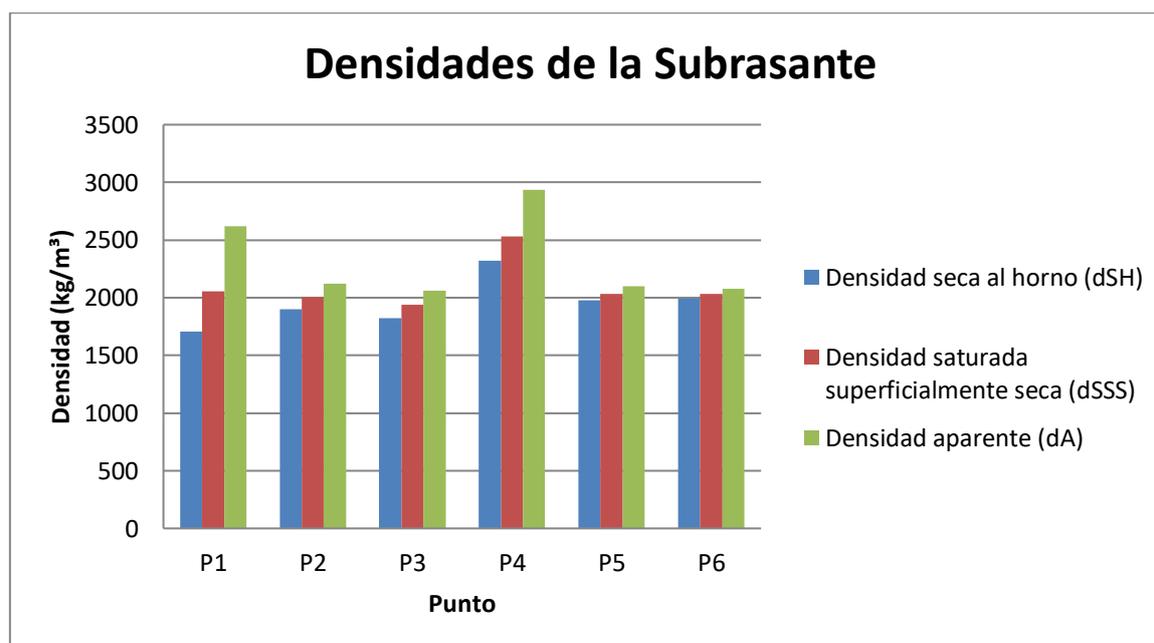
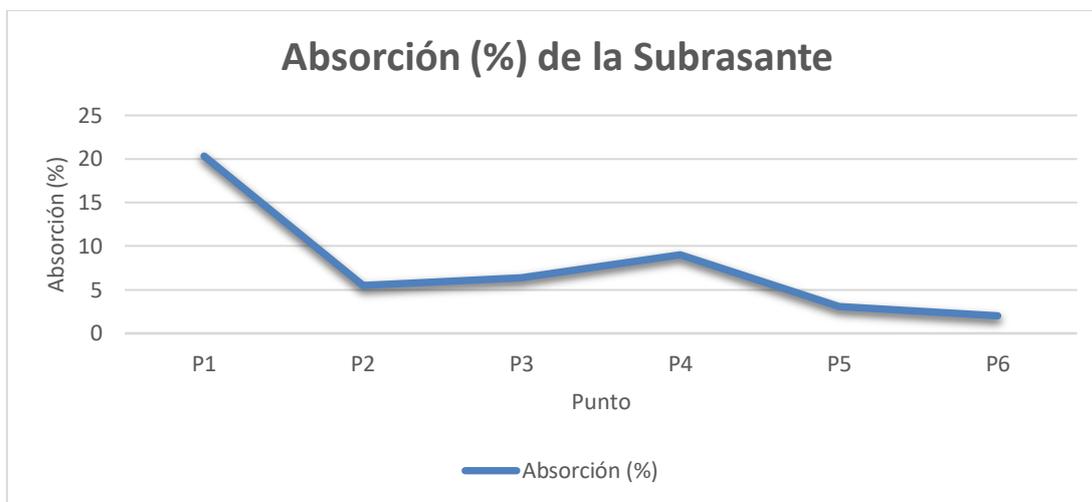


Figura 21. Absorción del punto 1, 2, 3, 4, 5 y 6 Subrasante.



El Punto 1 de la zona antigua, refleja el valor más bajo de densidad seca (1708.83 kg/m^3) y simultáneamente el porcentaje de absorción más alto (20.33%), como se representa en la Figura 15. Esta alta absorción denota una estructura altamente porosa, con bajo grado de compactación, lo que puede comprometer la durabilidad del pavimento en ese sector.

La alta absorción del Punto 1 se relaciona estrechamente con sus resultados en el ensayo Proctor, donde también se obtuvo una humedad óptima elevada (13.12%) y baja masa volumétrica seca (1.70 T/m^3), confirmando su condición estructural deficiente. De manera similar, la alta densidad del Punto 4 coincide con su excelente porcentaje de compactación (95.15%), verificado en el ensayo de cono de arena y su rigidez elevada (GeoGauge: 12.5 MN/m). En contraste con el punto 6, correspondiente a la zona nueva, muestra una densidad seca de 1995.00 kg/m^3 y la absorción más baja (2.01%) de todos los puntos evaluados. Esto indica un adecuado control constructivo, con un material menos poroso y mejor comportamiento ante la humedad, lo que fortalece su estabilidad a largo plazo. A pesar de no tener los valores más altos de densidad, su equilibrio entre rigidez y baja absorción sugiere una ejecución reciente eficiente.

Asimismo, el punto 4 (zona antigua) es el único dentro de esta zona que presenta resultados similares a los de la zona nueva, con una alta densidad (2319.19 kg/m^3) y una absorción moderada (9.03%), lo que podría deberse a una mejor calidad puntual del suelo o un proceso constructivo más eficiente.

4.1.8 Ensayo Proctor Modificado

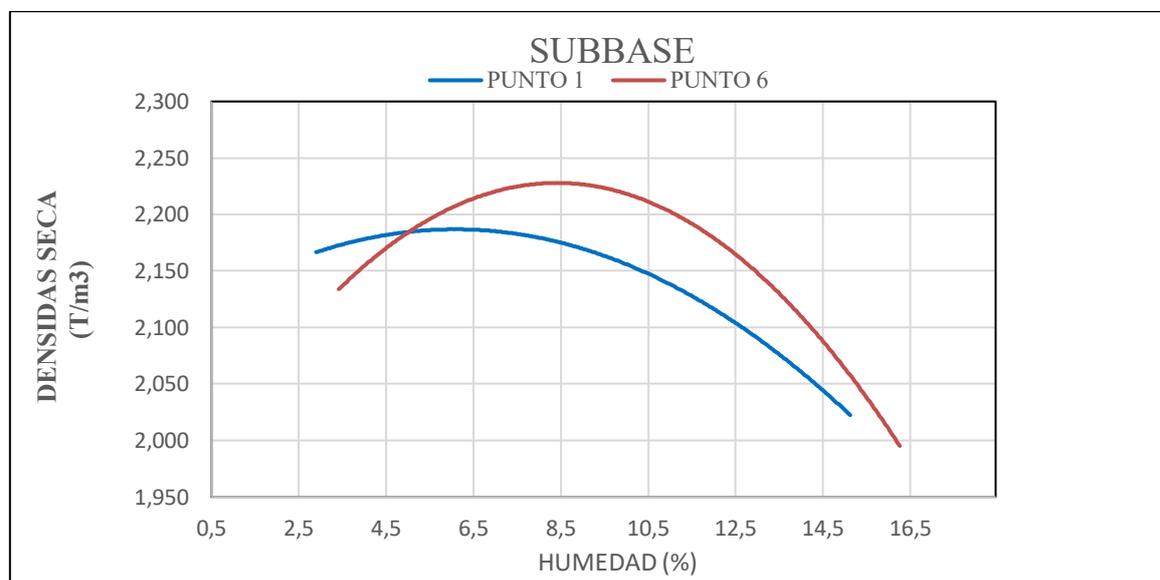
Tabla 16

Resumen de contenido de agua óptima y masa volumétrica.

Capa del Micro Pavimento	Puntos	Contenido de agua óptima, ω (%):	Masa volumétrica seca máxima, $\gamma_{dm\acute{a}x}$ (T/m ³):
SUBBASE	P1	2.54	2.19
	P6	7.76	2.22
	Promedio	5.15	2.11
	P1	13.12	1.70
SUBRASANTE	P2	9.15	1.78
	P3	3.53	2.03
	P4	10.41	2.03
	P5	3.35	2.03
	P6	3.96	2.04
	Promedio	7.25	1.93

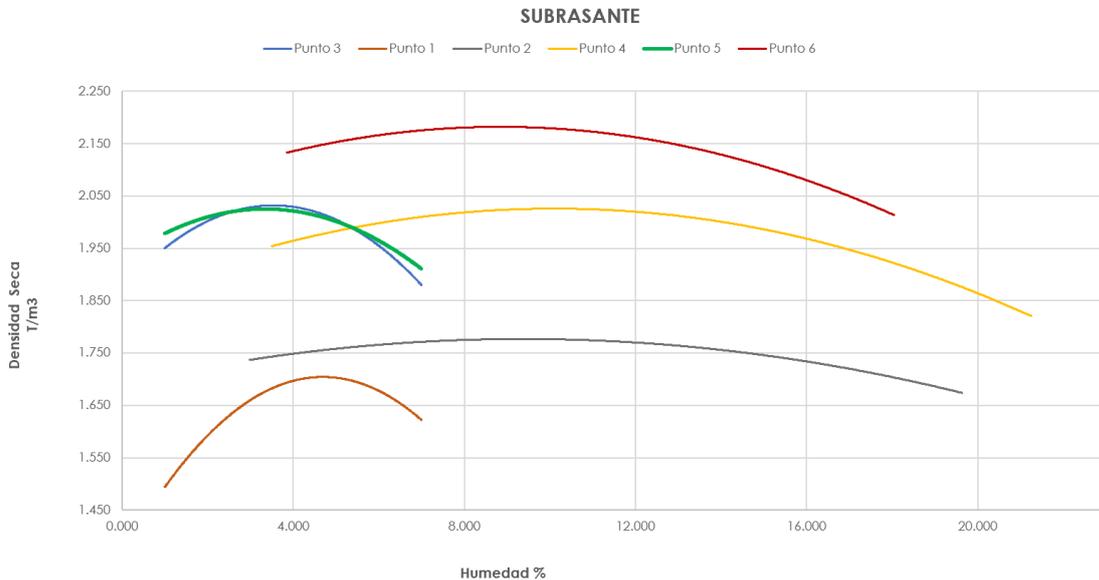
Nota: se presenta la tabla en donde se identificaron el grupo 1 de las calles con tratamiento superficial anterior al 2020.

Figura 22. Curvas de relación entre el contenido de humedad y la densidad seca de la subbase.



Nota: Las curvas ilustran cómo varía la densidad seca de la subbase con el contenido de humedad para dos puntos distintos. Se aprecia que cada punto tiene un contenido óptimo de humedad y una densidad máxima diferentes.

Figura 23. Curvas de relación entre el contenido de humedad y la densidad seca de la subrasante.



Nota: Las curvas muestran la variación de la densidad seca de la subbase en función del contenido de humedad para 6 puntos distintos, cada punto presenta un contenido óptimo de humedad y una densidad máxima específica.

En los datos de subbase se ve un contenido de agua óptimo promedio de 3.03 %, con valores individuales de 2.54 % en P1 y 3.53 % en P6 y densidad seca máxima promedio de 2.109 T/m³, con variaciones entre 2.186 T/m³ (P1) y 2.032 T/m³ (P6). Estos valores son característicos de materiales granulares gruesos de baja absorción, que requieren mínimos niveles de humedad para alcanzar su máxima compactación. La elevada densidad seca sugiere que el material posee una alta resistencia y baja deformabilidad, lo cual es adecuado para su función estructural como soporte del pavimento. Para la subrasante tenemos que el contenido de agua óptimo promedio fue de 7.18 %, con extremos de 13.12 % en P1 y mínimos de 3.35 % en P5. Y la densidad seca máxima promedio alcanzó 1.932 T/m³, con valores que oscilaron entre 1.700 T/m³ y 2.032 T/m³. Este material presenta una mayor sensibilidad al contenido de humedad de la subbase. En especial el punto 1, con un contenido de agua óptimo elevado, evidencia la presencia de materiales más finos o de mayor plasticidad, consistentes con los resultados de absorción y límites de Atterberg previamente obtenidos.

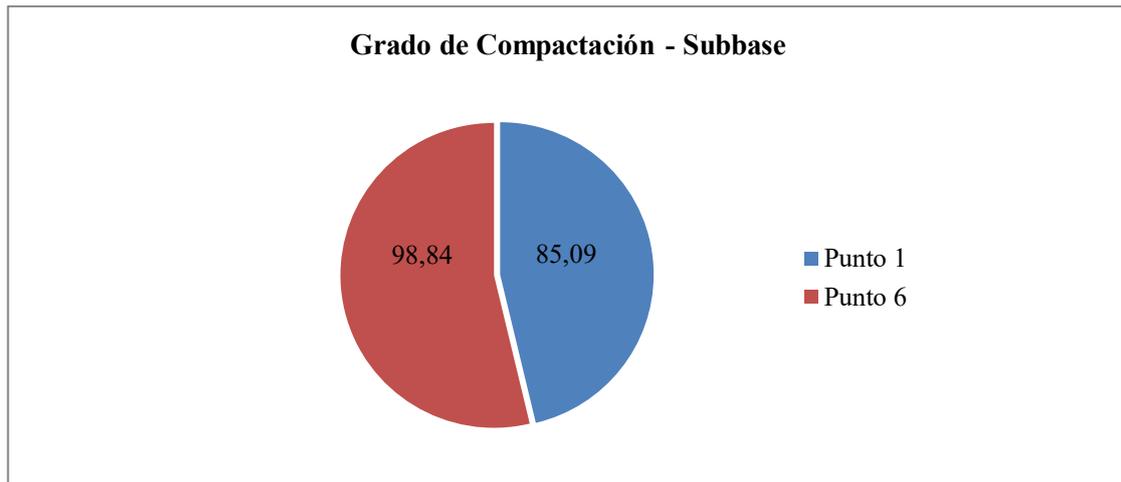
4.1.9 Cono de arena

Tabla 17

Resultado del grado de compactación, de la Subbase.

SUBBASE			
	Unidad	Punto 1	Punto 6
Peso de cono con arena M1	kg	4	4
Peso sobrante en el cono M2	Kg	0.143	0.08
Muestra de suelo M3	Kg	2.894	2.814
Peso de muestra seca M4	Kg	2.795	2.648
Humedad muestra	%	3.54	6.27
Densidad de arena de Otawwa gr/cm ³	g/cm ³	1.3	2.3
Volumen	cm ³	1.98	1.70
Densidad húmeda in situ	g/cm ³	1.46	1.65
Densidad seca in situ	g/cm ³	1.46	1.55
Porcentaje de compactación	%	85.09	98.84

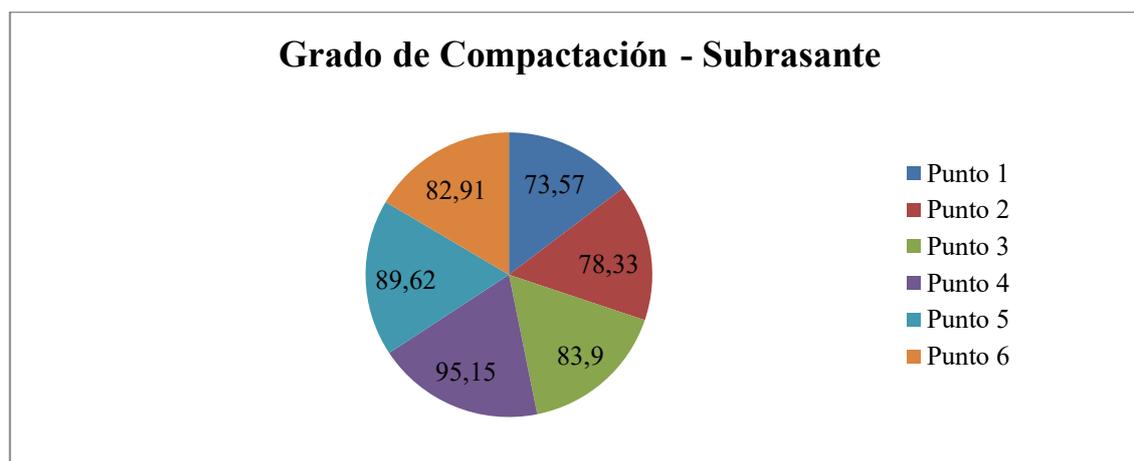
Figura 24. Grado de compactación en la subbase del micropavimento.



La figura muestra los resultados del ensayo de cono de arena conforme a la norma ASTM D1556, nos muestra una diferencia significativa entre los puntos evaluados, el punto 6 alcanza un 98.42% de compactación, cumpliendo con los requerimientos técnicos mínimos ($\geq 95\%$), mientras que el Punto 1 alcanza solo 56.70%, evidenciando una compactación deficiente. La densidad seca in situ más alta (1.55 g/cm^3) y la menor humedad (3.54%). Estos resultados indican que la subbase presenta zonas bien compactadas y otras con baja calidad estructural.

Tabla 18*Resultado del grado de compactación, de la Subrasante.*

SUBRASANTE							
	Unidad	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
Peso de cono con arena M1	g	4000	4000	4000	4000	4000	4000
Peso sobrante en el cono M2	g	2560	2720	2170	1630	2070	2340
Muestra de suelo M3	g	1862	1572	2303	3209	2388	2032
Peso de muestra seca M4	g	1482	1416	2143	3112	2311	1839
Humedad muestra	%	25.64	11.02	7.47	3.12	3.33	10.49
Densidad de arena de Otawwa gr/cm ³	g/cm ³	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Volumen	cm ³	1107.69	984.62	1407.69	1823.08	1484.62	1276.92
Densidad húmeda in situ	g/cm ³	1.68	1.60	1.64	1.76	1.61	1.59
Densidad seca in situ	g/cm ³	1.34	1.44	1.52	1.71	1.56	1.44
Porcentaje de compactación	%	73.57	78.33	83.90	95.15	89.62	82.91

Figura 25. *Distribución del grado de compactación en la subrasante del micropavimento.*

El volumen de suelo desplazado varió entre 984.62 cm³ (Punto 2) y 1823.08 cm³ (Punto 4), lo que sugiere diferencias en la compactación o en la profundidad alcanzada durante el ensayo. En cuanto a la densidad húmeda in situ, los valores se mantuvieron en un rango estrecho entre 1.59 g/cm³ (Punto 6) y 1.76 g/cm³ (Punto 4). No obstante, es en la densidad seca in situ donde se observaron diferencias más significativas, siendo el valor más bajo 1.34 g/cm³ (Punto 1) y el más alto 1.71 g/cm³ (Punto 4). Estas diferencias reflejan el grado de compactación logrado en cada punto. Por ejemplo, el Punto 4 se destacó por alcanzar un 95.15 % de compactación, cumpliendo con los estándares generalmente aceptados para capas de subrasante (>95 % en proyectos de infraestructura). Este punto también presentó la menor humedad natural (3.12 %), lo cual favorece la eficiencia de compactación y la estabilidad estructural.

En contraste, el Punto 1 mostró condiciones deficientes, con una compactación del 73.57 % y una humedad elevada (25.64 %), lo que podría deberse a un exceso de agua en el material, generando una estructura menos densa y potencialmente inestable. Este comportamiento podría reducir la capacidad de soporte de la subrasante y provocar deformaciones ante cargas repetidas.

4.2 Resultados características mecánicas.

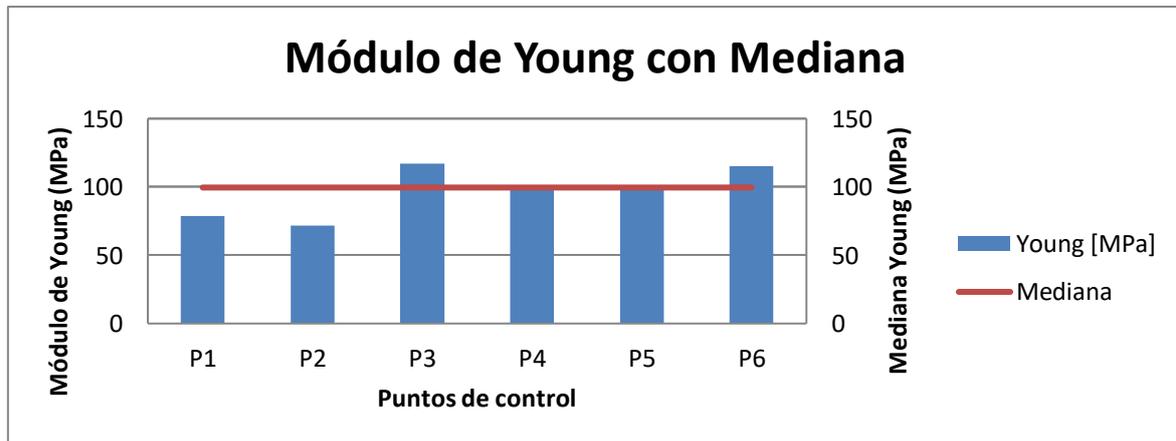
4.2.1 Ensayo Geo Gauge

Tabla19

Resultado de los módulos en la Superficie del micropavimento.

MICRO PAVIMENTO			
DATOS DE CAMPO DEL GEOGAUGE			
Puntos de control	Módulo		Desviación Estándar [-
	Rigidez [MN/m]	Young [MPa]	
P1	10.6	78.63	1.12
P2	9.69	71.83	4.39
P3	15.78	116.98	1.15
P4	13.59	100.77	1.36
P5	13.26	98.33	1.38
P6	15.56	115.35	1.75
Mediana	13.425	99.55	1.368

Figura 26. Relación entre el Módulo de Young en la superficie del Micropavimento



La Figura 26 muestra los resultados del módulo de Young evaluado con el equipo GeoGauge sobre la superficie de rodadura del micro pavimento, los valores obtenidos muestran una variación estructural significativa entre los sectores antiguos y el sector nuevo. Los puntos P1 y P2, pertenecientes al pavimento antiguo, presentan los valores más bajos del módulo de Young, con 78.63 MPa y 71.83 MPa respectivamente, ambos por debajo de la mediana. Esto sugiere una posible pérdida de rigidez estructural en estas zonas,

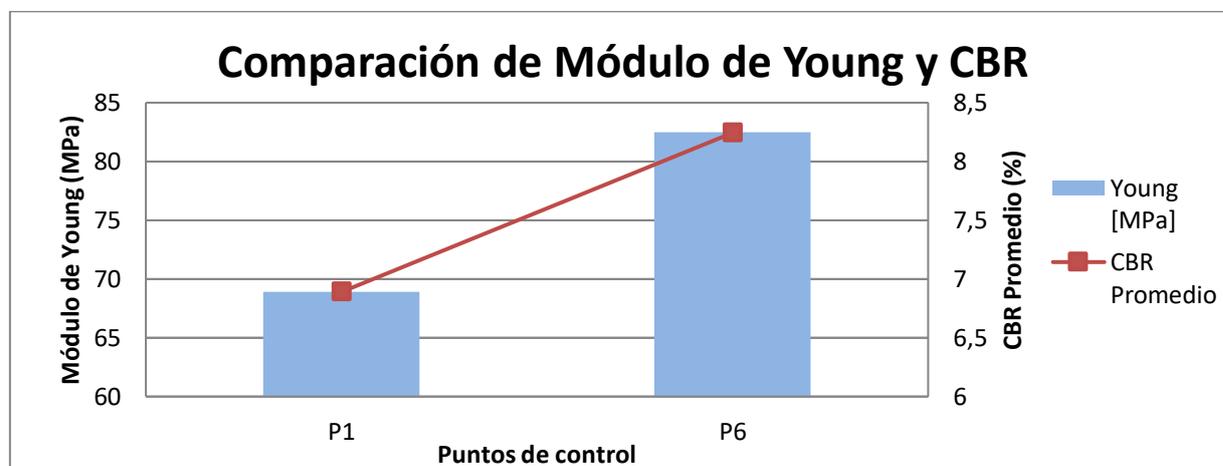
probablemente asociada a la edad del pavimento, deterioro superficial y condiciones de aplicación inicial deficientes. En contraste, los puntos P3, P4 y P5, aunque también corresponden a pavimento antiguo, alcanzan valores cercanos o superiores a la mediana, lo cual podría deberse a zonas de menor tránsito, mejor conservación o mejores condiciones iniciales de mezcla y colocación. El punto P6, correspondiente al micro pavimento nuevo, presenta un módulo de Young de 115.35 MPa, el segundo más alto del conjunto y claramente por encima de la mediana. Este resultado confirma que el micro pavimento recién aplicado presenta mayor rigidez superficial, indicando un mejor desempeño estructural en condiciones actuales.

La presencia de una mediana elevada en el conjunto de datos (99.55 MPa) indica que más de la mitad de los puntos presentan niveles aceptables de rigidez, sin embargo, los valores mínimos localizados en P1 y P2 deben considerarse como zonas críticas que podrían requerir mantenimiento o rehabilitación preventiva.

Tabla 20
Resultado del CBR en la Subbase.

SUBBASE DEL MICRO PAVIMENTO							
Puntos de control	DATOS DE CAMPO DEL GEOGAUGE			Desviación Estándar [-]	CÁLCULOS		
	Rigidez [MN/m]	Módulo Young [MPa]	Elasticidad [PSI]		%CBR Ecuación 1	%CBR Ecuación 3	%CBR Ecuación 4
P1	9.29	68.9	9968.74	1.75	5.51	6.89	8.27
P6	11.12	82.47	11932.11	1.49	6.59	8.25	9.89
Promedio	10.21	75.685	10950.42	1.624	6.055	7.57	9.08

Figura 27. Relación entre el Módulo de Young y el CBR Promedio en la Subbase del Micropavimento



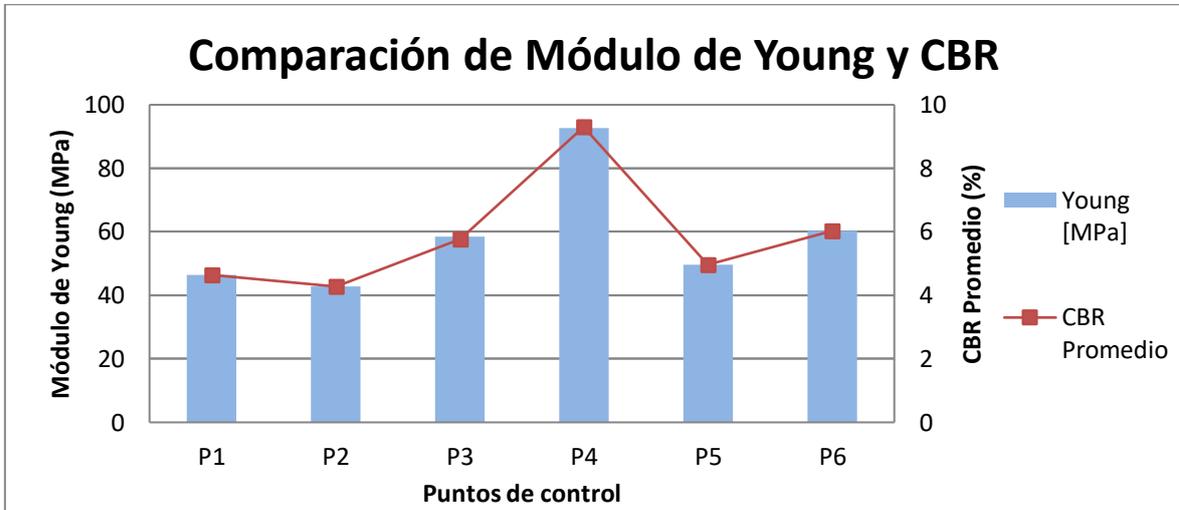
En términos de rigidez superficial, los valores del módulo de Young (68.9 MPa en P1 y 82.47 MPa en P6) son representativos y evidencian una buena capacidad de soporte, especialmente en el punto P6, donde también se observa el mayor valor de CBR promedio (calculado como 8.23%). Esto sugiere que en dicho sector la subbase posee una mayor resistencia estructural, siendo más competente para recibir y distribuir cargas sin sufrir deformaciones significativas. En la Figura 21 refuerza esta tendencia, mostrando una correlación positiva entre el módulo de Young y el CBR promedio, lo cual es coherente con el comportamiento mecánico esperado: a mayor rigidez, mayor capacidad portante. La representación gráfica facilita visualizar esta relación de forma clara, permitiendo identificar diferencias de desempeño entre los puntos muestreados.

No obstante, al considerar los resultados de granulometría previamente analizados, se advierte que, a pesar de estos buenos indicadores de rigidez, la subbase presenta una proporción elevada de partículas finas y una carencia de material grueso. Esta condición podría comprometer la estabilidad a largo plazo del micropavimento, ya que las capas con exceso de finos son más susceptibles a la retención de humedad, deformaciones plásticas y disminución progresiva de la capacidad de soporte bajo cargas cíclicas.

Tabla 21
Resultado del CBR en la Subrasante.

SUBRASANTE DEL MICRO PAVIMENTO							
DATOS DE CAMPO DEL GEOGAUGE				CÁLCULOS			
Puntos de control	Módulo			Desviación Estándar [-]	%CBR Ecuación 2	%CBR Ecuación 3	%CBR Ecuación 4
	Rigidez [MN/m]	Young [MPa]	Elasticidad [PSI]				
P1	6.3	46.5	6727.81529	1.1501	3.720	4.650	5.580
P2	5.77	42.77	6188.14323	1.13861	3.422	4.277	5.132
P3	7.89	58.51	8465.47253	1.14247	4.681	5.851	7.021
P4	12.5	92.68	13409.3316	1.06124	7.414	9.268	11.122
P5	6.71	49.72	7193.69841	1.22858	3.978	4.972	5.966
P6	8.1	60.32	8727.35093	1.1214	4.826	6.032	7.238
Promedio	7.878	58.417	8451.969	1.140	4.673	5.842	7.010

Figura 28. Relación entre el Módulo de Young y el CBR Promedio en la Subrasante del Micropavimento



Los valores obtenidos en la subrasante del micro pavimento arrojan que existe una correlación directa entre el módulo de Young y el CBR, lo cual confirma que, a mayor rigidez del suelo, mayor es su capacidad de soporte estimada. Sin embargo, se observa cierta variabilidad entre puntos, lo que sugiere la existencia de diferencias en la compactación, composición del material o condiciones de humedad entre sectores de la subrasante.

4.3 Resultados características hidráulicas

4.3.1 Ensayo de infiltración

Tabla 22

Datos de campo del ensayo de infiltración.

DATOS DE CAMPO			
Fecha:	Jueves, 6 de febrero de 2025		
Ciudad:	Riobamba		
Lugar:	Barrio El Batan		
Clima:	Soleado	Estado de la vía:	Bueno
Coordenada del punto:	ESTE		762188
	NORTE		9798987
	ALTITUD		3057
INTERVALO		TIEMPO (Horas)	h (cm)
-	10:30 a. m.	0 horas	10
10:30 a. m.	11:30 a. m.	1 horas	10.5
11:30 a. m.	12:30 p. m.	2 horas	11.5
12:30 p. m.	01:30 p. m.	3 horas	12
01:30 p. m.	02:30 p. m.	4 horas	13
02:30 p. m.	04:30 p. m.	6 horas	15
04:30 p. m.	06:30 p. m.	8 horas	16
06:30 p. m.	08:30 p. m.	10 horas	17.5

Observaciones: Al realizar el ensayo en el punto de estudio se colocó el infiltrómetro a 1 m del borde de la vía donde la capa de rodadura se encuentra en buenas condiciones.

En la tabla 22 se exhibe los resultados que se obtuvo durante 8 horas de ensayo para el punto 5 el cual tenía una baja capacidad de infiltración del suelo, se registró la altura del agua en intervalos regulares, la columna de agua aumentó progresivamente desde 10.0 cm a las 10:30 a.m. hasta 17.5 cm a las 8:30 p.m. Este comportamiento puede estar influenciado por la compactación del material, el tipo de suelo y la presencia de capas.

Tabla 23

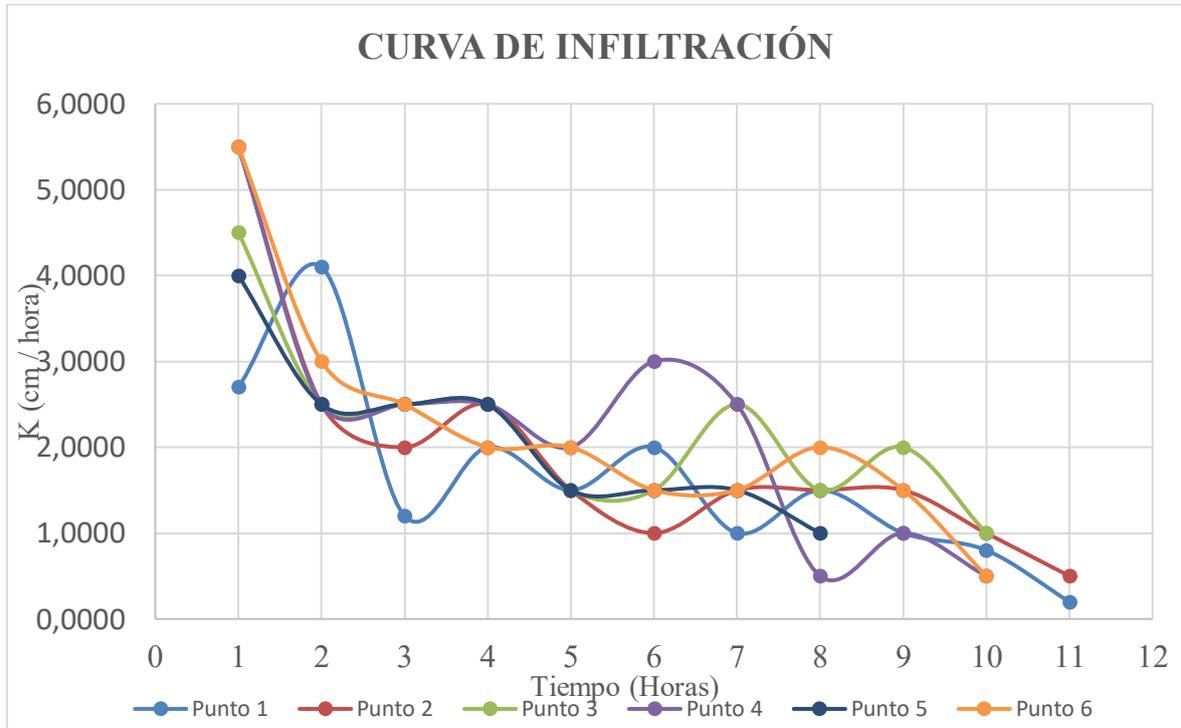
Resultado de infiltración.

Puntos de control	Fracción de infiltración [%]	Coefficiente de escurrimiento C [%]
Punto 1	35.3%	64.7%
Punto 2	40.2%	59.8%
Punto 3	43.1%	56.9%
Punto 4	44.1%	55.9%
Punto 5	33.3%	66.7%
Punto 6	43.1%	66.7%
Promedio	39.2%	60.8%
Mínimo	33.3%	55.9%
Máximo	44.1%	66.7%

En la tabla se exhiben los valores de infiltración que varían entre 33.3% y 44.1%, mientras que el coeficiente de escurrimiento se encuentra entre 55.9% y 66.7%. De esta manera, se evidencia una relación inversa entre ambos parámetros: a menor infiltración, mayor escurrimiento. El promedio indica una tendencia hacia superficies parcialmente impermeables, lo cual es característico del micropavimento. El Punto 5 se destaca como el más impermeable con un coeficiente de escurrimiento del 66.7%, mientras que los Puntos 3, 4 y 6 presentan una mejor capacidad de infiltración, superando el 43%.

4.3.2 Curvas de infiltración

Figura 29. Curvas de relación entre el contenido de humedad y la densidad seca de la subrasante.



Dentro de la gráfica podemos observar que Punto 4 presenta la mejor capacidad de infiltración ya que se mantiene los valores de K (coeficiente de infiltración en cm/hora) más altos de manera sostenida durante varias horas, lo cual sugiere una mayor permeabilidad en esa zona, posiblemente por micro fisuras o deterioro del sellado del micro pavimento. En cambio, el Puntos 5 y 6 muestran los valores más altos de escurrimiento, lo que sugiere una menor capacidad de absorción del agua, ya sea por mayor compactación superficial, sellado más reciente o acumulación de partículas finas que bloquean los poros.

4.4 Discusión

Los resultados obtenidos en esta investigación permiten establecer diferencias significativas entre las características físicas, mecánicas e hidráulicas de los micropavimentos nuevos y antiguos evaluados en la ciudad de Riobamba. El análisis granulométrico de la subbase evidenció que los pavimentos nuevos de la zona nueva, presentan una curva granulométrica más controlada, con un mejor cumplimiento de los rangos recomendados por la ISSA (International Slurry Surfacing Association) y las especificaciones del MTOP, mientras que en los pavimentos antiguos se observó una mayor

dispersión en la distribución de partículas, especialmente en los tamices inferiores, lo cual sugiere una pérdida progresiva de material fino y el envejecimiento del material.

De acuerdo con la normativa MOP-001-F-2002 del Ministerio de Obras Públicas del Ecuador, una subbase granular Clase 1 debe tener un límite líquido $\leq 25\%$, un índice de plasticidad $\leq 6\%$ y un CBR $\geq 30\%$. A pesar de que en los resultados cumplen con los límites de plasticidad, la SP, indican una mala graduación que pueden disminuir la capacidad de soporte y la estabilidad de la estructura del pavimento. El análisis de la subrasante registró una composición de 81.05% de arena, 13.90% de grava, clasificándose la subrasante como una arena poco graduada con limo y grava SP.

En cuanto a la capacidad estructural, los ensayos de campo con cono de arena arrojaron resultados heterogéneos. Para la subrasante, el Punto 4 fue el único que alcanzó el 95.15% de compactación, cumpliendo con los criterios mínimos ($\geq 90\%$ según MTOP y AASHTO T99/T180). Sin embargo, la mayoría de los puntos presentaron valores inferiores, como el Punto 1 con 73.57%, lo cual indica una compactación deficiente que puede generar asentamientos y deformaciones a corto plazo. Para la subbase, el Punto 6 logró una compactación óptima del 98.84%, mientras que el punto 1 solo alcanzó el 85.09%, situándose por debajo de lo recomendado para capas granulares.

Complementariamente, el ensayo con GeoGauge permitió estimar la rigidez dinámica de la subrasante, cuyos valores variaron entre 5.77 y 12.5 MN/m, siendo el Punto 4 el más rígido. Este mismo punto presentó además el mayor módulo de Young (92.68 MPa) y el valor más alto de CBR estimado (11.12%), lo cual confirma su mayor capacidad estructural frente a esfuerzos verticales. En contraste, el Punto 2 reflejó baja rigidez y CBR, reforzando la necesidad de intervenciones específicas en dicha zona. Comparando estos resultados con la tesis de Yunga (2023) se observa una coherencia en la utilización del GeoGauge para evaluar la rigidez de la subrasante. En ambos casos, los valores más altos de rigidez y CBR se asociaron con zonas de mejor comportamiento estructural, también cabe mencionar que la estabilidad aquí mejora con la estabilización de cal. Al constatar los resultados obtenidos en micropavimentos que oscilan entre 71.83 MPa (P2) y 116.98 MPa estos resultados con investigaciones previas, como la tesis desarrollada por Pinargote (2022) sobre la calle Tungurahua, donde se aplicó GeoGauge sobre pavimentos flexibles, se registraron módulos de entre 70 y 110 MPa, resultados similares a los obtenidos en esta investigación. Asimismo, Mendoza et al. (2020) reportaron en mezclas densas en calientes

módulos de hasta 130 MPa, lo cual valida el uso del GeoGauge como herramienta confiable para diagnosticar el estado superficial del pavimento.

Al comparar con resultados de otras investigaciones, El trabajo de investigación de Arevalo & Maila (2025) nos indica que la fracción de infiltración promedio apenas fue del 0.8% y el coeficiente de escurrimiento superó el 98%, se evidencia que el comportamiento de los micro pavimentos analizados en este estudio difiere considerablemente. Esto se debe a que el micro pavimento el cual no presenta una capa asfáltica continua y tienen mayor susceptibilidad a porosidad e infiltración, a diferencia de los pavimentos completamente impermeabilizados evaluados en otras tesis. Además, muchos de nuestros puntos no tienen capas estructurales completas, lo cual facilita el paso del agua hacia el terreno.

Este comportamiento encuentra paralelo en el estudio realizado en Italia por Rossetto et al. (2023), donde se evaluó un pavimento de rejilla de concreto con 15 años de uso sin mantenimiento. A pesar del tiempo transcurrido, se mantuvieron tasas de infiltración superiores a 1.62 mm/min, gracias a la existencia de un "sistema de suelo vivo": raíces, microorganismos y actividad biológica que impedían la colmatación completa. Esta condición natural ayudó a conservar la funcionalidad hidráulica del sistema, aspecto que puede ser comparable con lo observado en puntos del micro pavimento local que conservan estructura porosa y niveles aceptables de infiltración, especialmente donde hay menor compactación superficial. Por otro lado, el estudio de Alemania desarrollado por Lucke & Dierkes (2015) plantea un enfoque más técnico e innovador: se diseñó un nuevo sistema de pavimento Inter trabado permeable para cumplir con normas que limitan el ancho de juntas. Se utilizó un material de relleno de alta capacidad filtrante y resistencia, que además contribuye a la eliminación de contaminantes. Las pruebas en campo demostraron que, con un diseño y selección de materiales adecuados, es posible mantener una alta infiltración aún bajo condiciones reguladoras estrictas. Esto resalta la importancia del diseño estructural y de materiales en el rendimiento hidráulico, lo cual se alinea con lo observado en el Punto 6, que tuvo una infiltración eficiente gracias a una estructura completa y posiblemente mejor control constructivo.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se comparo las características de micro pavimentos antiguos y nuevos esto permitió identificar diferencias significativas en los aspectos físicos, mecánicos e hidráulicas. Los micro pavimentos nuevos mostraron mejor desempeño, en el análisis granulométrico se identificó un predominio de arenas finas y escasa presencia de gravas, lo que debilita la estructura del material y lo hace más susceptible a deformaciones bajo carga. El punto 1 siendo este un micro pavimento de zona antigua tiene una estructura completa con cama de arena, subbase y subrasante, mientras que el punto 6 presenta una estructura más robusta incluyendo pavimento flexible. En cambio, los puntos 2,3,4 y 5 solo cuentan con micro pavimentos sobre subrasante, lo que limita su capacidad estructural y aumenta el riesgo de fallas prematuras.

Los datos obtenidos tanto en campo como en laboratorio para la subbase y subrasante muestran una buena coherencia entre los ensayos realizados. En la subrasante, el contenido óptimo de agua fue del 7.25%, y la densidad seca máxima alcanzó 1.93 T/m³. Los puntos con mayor absorción, como el Punto 1 (20.33%), mostraron una baja densidad y compactación. En contraste, el Punto 4, que tenía una menor absorción (9.03%) y una mayor densidad (2119.19 kg/m³), logró la mejor compactación con un 95.15%. En cuanto a la subbase, con un contenido de agua promedio del 5.15% y una densidad seca máxima de 2.11 T/m³, también se notaron diferencias. El Punto 1, que presentó una baja absorción (3.31%), solo alcanzó un 85.09% de compactación, mientras que el Punto 6, a pesar de su alta absorción (10.04%), logró un impresionante 98.84% gracias a un proceso constructivo adecuado. Esto pone de manifiesto que la calidad en la ejecución puede superar las limitaciones del material.

Los datos evaluados tanto en campo como en laboratorio para la subbase y subrasante revelan información clave que permite establecer la coherencia entre los distintos ensayos. Para la subrasante, el contenido de agua optimo promedio fue del 7.25%, con una masa volumétrica seca máxima de 1.93T/m³. Estos valores se relacionan con la alta absorción observada en ciertos puntos, como el punto 1 (20.33%) y el punto 4 (9.03%). Estos niveles elevados de absorción indican una importante porosidad interna y presencia de materiales finos, lo que afecta negativamente la densidad alcanzada y la estabilidad estructural. En contraste, el punto 4, con una menor absorción (9.03%) y una densidad seca e 2119.19.

Aunque este resultado podría parecer contradictorio, sugiere que, a pesar de una mayor absorción del material, una adecuada ejecución del proceso constructivo con control de humedad y correcta aplicación de capas puede compensar las limitaciones físicas del material.

Por otro lado, las alturas promediadas obtenidas en macro textura se encuentran entre 1.2 y 1.8 mm, valores que son indicativos de superficies con texturas finas a moderadas. Estos niveles de macro textura son consistentes con las características esperadas en micro pavimentos, favoreciendo propiedades adecuadas de fricción superficial bajo condiciones normales de operación.

Se valoraron las características hidráulicas de los micro pavimentos antiguos y nuevos. Estos resultados reflejan que, aunque en ciertos sectores el micro pavimento permite una infiltración alta, también existe áreas con comportamiento de riesgo prematuro. En el punto 1, que posee una estructura más completa, el ensayo de infiltración se prolongó durante 11 horas, obteniéndose un coeficiente de infiltración K inicial de 2.7 cm/h que luego fue descendiendo hasta 0.2 cm/h, con una fracción de infiltración del 35.3% y un coeficiente de escurrimiento $C = 64.7\%$. Esto evidencia que, a pesar de la presencia de capas, el comportamiento hidráulico se vio limitado por la compactación superficial o la alta presencia de finos. A comparación del punto 6, correspondiente al micro pavimento nuevo que sí cuenta con estructura completa (micro pavimento, pavimento flexible, subbase y subrasante), presentó una infiltración acumulada de K 5.5 cm/h, con un coeficiente de infiltración estable de 56.9%, dando a entender que este punto gracias a la presencia de una estructura más definida se encuentra un mejor equilibrio en la infiltración y escurrimiento.

Dentro de los resultados obtenidos del presente estudio, se obtuvo un coeficiente promedio de 60.5% para los micro pavimentos analizados. Si bien el micro pavimento no es exactamente equivalente a un pavimento asfáltico tradicional, ambos comparten características estructurales y funcionales similares, por lo que pueden ser considerados parte de la misma familia. Actualmente, la normativa ecuatoriana establece para pavimentos asfálticos en buenas condiciones un coeficiente de escurrimiento mínimo de 0.85 y máximo de 0.90, valores significativamente más altos que el observado en este estudio. Este hallazgo evidencia que el micro pavimento presenta una mayor capacidad de infiltración y menor escurrimiento superficial, posiblemente debido a su textura más abierta y estructura porosa. Este estudio aporta un insumo valioso para la actualización y revisión de los coeficientes

establecidos en la normativa nacional, especialmente en lo que respecta a superficies alternativas como esta.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda que cualquier aplicación de micro pavimento en obras futuras contemple un diseño estructural completo, evitando la colocación directa sobre la subrasante. La ausencia de capas como la subbase o cama de arena, detectada en varios puntos analizados, puede comprometer el desempeño a largo plazo del pavimento. Este aspecto abre la posibilidad de desarrollar estudios de modelación estructural para micro pavimentos con y sin capas intermedias.

Se recomienda trabajar en propuestas normativas o guías técnicas adaptadas al contexto local que regulen el diseño, aplicación y evaluación de micro pavimentos. Este puede ser un eje central para futuras investigaciones institucionales que involucren no solo ingeniería civil, sino también políticas públicas en infraestructura.

Implementar sistemas de drenaje superficial y subsuperficial adecuados, especialmente en zonas donde se identifiquen coeficientes de escurrimiento superiores al 70 %, para evitar acumulaciones de agua que afecten la estructura.

Se recomienda como investigaciones futuras la aplicación de rejuvenecedores de asfaltos en micro pavimentos antiguos para contrastar su desgaste

BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO M-145. (1997). *Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway*.
- Arevalo, E., & Maila, E. (2025). *Características físico-mecánicas e hidráulicas del pavimento rígido valoradas con equipos eléctricos en la Av. Edelberto Bonilla Oleas en Riobamba*. Universidad Nacional de Chimborazo.
- ASTM D1556. (2000). *Método de Ensayo Estándar para Determinar la Densidad y Peso Unitario del Suelo en el Sitio por el Método del Cono de Arena*.
- ASTM D1557. (2012). *Métodos de prueba estándar para las características de compactación de suelo en laboratorio utilizando esfuerzo modificado modificado (56.000 (56.000 pies-lbf pies-lbf / pie (2700 kN-m / m))*.
- ASTM D3385-03. (2003). *Tasa de infiltración de suelos en el campo utilizando un infiltrometro de doble anillo*.
- Barrionuevo Aldaz, L. Guillermo. (2022). *DISEÑO DEL MICROPAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMERO, CON AGREGADO PROCEDENTE DE LA CANTERA CALAGUA DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL, PROVINCIA DE BOLIVAR*.
- Barrionuevo, L. (2012). *DISEÑO DEL MICROPAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMERO, CON AGREGADO PROCEDENTE DE LA CANTERA CALAGUA DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL, PROVINCIA DE BOLIVAR* [Universidad Central del Ecuador]. https://core.ac.uk/download/pdf/71898275.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Castro Cabeza, A. P. (2018). *INVESTIGACIÓN SOBRE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO 100% RECICLADAS CON ADICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS*.
- Cepeda, M. E., & Rosero, R. S. (2024). *Evaluación de las características hidráulicas y físicas del pavimento rígido en la Avenida 9 de Octubre ubicada en la ciudad de Riobamba*. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/12448>
- Chávez-Negrete, C., Espinosa-Arreola, J. de J., Alarcón-Ibarra, J., & Arreygue-Rocha, J. E. (2016). Colapso por humedecimiento en los terraplenes de la autopista Páztcuaro-Uruapan. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 17(2), 201–210. <https://doi.org/10.1016/j.riit.2016.06.005>
- Concrelab. (2020). *Ensayo de densidad de campo y proctor para tu proyecto*. 2020.

- Cruz Tenas, M. A. (2023). *Incorporacion de residuos plasticos al asfalto*.
- Ecuatoriana Vial, N. (2013). *MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS DEL ECUADOR SUBSECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE*.
- ELQUI Pavimentos. (2024). *Micropavimento: La Innovación en la Construcción de Caminos*.
- Espinoza, C. (2023). *Análisis de los tipos de micropavimento como alternativa de uso en la conservación vial de la provincia del Azuay* [Universidad Católica de Cuenca]. <https://dspace.ucacue.edu.ec/server/api/core/bitstreams/01d83f62-f556-41ce-af72-62573e4ca504/content>
- Freire, E., & Quizhpi, M. (2022). *DISEÑO Y COMPARACIÓN DE PROPIEDADES DE UN MICROPAVIMENTO CON ASFALTO EMULSIONADO MODIFICADO CON POLÍMEROS Y ASFALTO EMULSIONADO MODIFICADO CON RESINA DE POLIURETANO*.
- Hicks, G., Lane, L., & Cheng, D. (2019). *Manual for Cape Seals*.
- Ho Nguyen, D., Quoc Nguyen, P., Ur Rehman, R., Kim, J. F., & Seon Ahn, H. (2024). Optimizing the effect of micro-surface on the thermal hydraulic performance of plate heat exchanger. *Applied Thermal Engineering*, 239, 122172. <https://doi.org/10.1016/J.APPLTHERMALENG.2023.122172>
- INEN 691. (1982). *DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO METODO DE CASA GRANDE*.
- INVIAS. (2018). *Manual de Diseno Geometrico de Carreteras*.
- ISSA. (2010). *ISSA A143 NORMA DE RENDIMIENTO RECOMENDADA PARA MICRO PAVIMENTACIÓN I. ALCANCE*.
- ISSA. (2020). *Guía de rendimiento recomendada para micropavimentos*. www.slurry.org
- Loayza, N. (2023). *Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del micropavimento con adición de fibra de vidrio* [Universidad Señor Sipan]. <https://orcid.org/0000-0001-9630-7936>
- Lucke, T., & Dierkes, C. (2015). ADDRESSING THE DEMANDS OF THE NEW GERMAN PERMEABLE PAVEMENT DESIGN GUIDELINES AND THE HYDRAULIC BEHAVIOUR OF A NEW PAVING DESIGN. *Journal of Engineering Science and Technology Special Issue on ACEE*, 14–28.

- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2013). *Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12*. Norma Ecuatoriana NEVI-12. (2013). *MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS DEL ECUADOR SUBSECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE*.
- NTE INEN 690. (1982). *Determinación del contenido de agua metodo del secado al horno*. <https://es.scribd.com/document/396351819/Nte-Inen-690>
- NTE INEN 696. (2011). *INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN STANDARD TEST METHOD FOR SIEVE ANALYSIS OF FINE AND COARSE AGGREGATES. AND COARSE AGGREGATES. First Edition First Edition*.
- NTE INEN 856. (2010). *Determinación de la densidad, densidad relativa (Gravedad específica) y absorción del árido fino*.
- NTE INEN 857. (2010). *INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN*.
- MOP Obras Publicas, M. DE. (2003). *ESPECIFICACIONES GENERALES ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES DE CAMINOS Y PUENTES*.
- Ospino Carbonell, R. H. (2019). *Análisis de daño por causa del envejecimiento y auscultación en estructuras de pavimentos flexibles en las ciudades de Santa marta y Barranquilla entre los años 2012-2017*.
- Palominio, M., & Rodriguez, E. (2017). *Importancia en la selección de criterios de diseño en el desempeño de micropavimentos aplicado al proeycto vial Conococha-Recuay* [Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <http://hdl.handle.net/10757/622453>
- Palomino, M. V., & Rodriguez, E. F. (2017). *IMPORTANCIA EN LA SELECCIÓN DE CRITERIOS DE DISEÑO EN EL DESEMPEÑO DE MICROPAVIMENTOS APLICADO AL PROYECTO VIAL CONOCOCHA – RECUAY*. <http://hdl.handle.net/10757/622453>
- Pinargote, J. (2022). *Evaluación de la capa de rodadura de pavimento flexible de la calle Tungurahua del tramo Montúfar hasta la calle Colón del cantón Jipijapa 0+000 hasta 0+635*. Universidad Estatal del Sur de Manabi.
- Prefectura de Chimborazo. (2022, April 29). *Inauguramos el asfaltado de las vías internas de los barrios El Batán y San José de Chibunga, beneficiando a 2 600*

personas que transitan por los 2.5 km... | By Prefectura de Chimborazo | Facebook.

https://www.facebook.com/100064868733302/videos/765102474486840/?__so__=permalink&locale=sw_KE&_rdr

Rojas Ruales, F., Romero Flores, P., & Vinuesa, C. (2014). *METODOLOGÍA DE DISEÑO DE MICROPAVIMENTO DE BAJO COSTO PARA SUELO TIPO LIMO ORGÁNICO ARENOSO (OL)*.

Rossetto, R., Lenti, A., Ercoli, L., Sebastiani, L., & Joodavi, A. (2023). Infiltration performance evaluation of a 15-year-old concrete grid paver parking area (Italy). *Blue-Green Systems*, 5(2), 294–305. <https://doi.org/10.2166/BGS.2023.043/1342260/BGS2023043.PDF>

Salazar Melendez, A., Hernandez, D., & De Leon Sierra, J. (2020). *Técnicas de Rehabilitación Superficial de Pavimentos Asfálticos*.

SERVIU METROPOLITANO. (2020). *CAP. N° 12-ESPECIFICACIONES TECNICAS DE MANTENIMIENTO Y RECONSTRUCCIÓN DE VÍAS (CONSERVACIÓN)*.

STATE OF CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. (2003). *FOG SEAL GUIDELINES STATE OF CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION*.

Toscano, L. (2014). *Diseño de Micro-pavimento aplicado como tratamiento superficial para el control de la Variación Térmica en el pavimento flexible de la vía PifoCusubamba, como parte del mantenimiento preventivo*. UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR.

Wilson, J., & Casas, C. (2015). *USO DE MICROPAVIMENTO PARA ADECUACIÓN DE VÍAS MUNICIPALES. MICROPAVEMENT USE IN MUNICIPAL ROADS*.

Yunga, A. (2023). *Mejora de la capacidad portante de la subrasante aplicando cal en vías de segundo orden del cantón Alausí*. Universidad Nacional de Chimborazo.

Zhuang, C. Y., Hao, Y., Ye, Y. L., & Guo, J. K. (2023). Research on strength formation mechanism and noise reduction characteristics of waste rubber powder micro-surfacing. *Case Studies in Construction Materials*, 19. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02293>

ANEXOS

Anexo 1. Extracción de las muestras del suelo.



Anexo 2. Medición del espesor de las capas del suelo.



Anexo 3. Análisis granulométrico por tamizado.



Anexo 4. Ensayo limite liquido (Casa Grande) y ensayo de Plasticidad.



Anexo 5. Ensayo de absorción.



Anexo 6. Ensayo para determinar la gravedad específica (Peso específico).



Anexo 7. Ensayo de Proctor Modificado.



Anexo 8. Ensayo de Geogauge.



Anexo 9. Ensayo de Cono de arena.



Anexo 10. Ensayo de la mancha de arena.



Anexo 11. Ensayo de infiltración



Anexo 12. Clasificación de SUCS de la subbase punto 1.

MUESTRA 2 - PUNTO 1- ESTRATO B					
Procedencia del material:	Barrio El Batan		Peso Recipiente	4	[g]
Tipo de material:	SubBase de Micropavimento		Peso Recipiente + muestra Inicial	9882	[g]
Proyecto:	Trabajo de Titulación		Peso Muestra Inicial	9878.000	[g]
Beneficiario:	UNACH		Peso Muestra Final	9838.01	[g]
Calculistas:	Joel Garay - Ximena Suárez		% Error del Ensayo	0.40	

Abertura del Tamiz		Peso Retenido [g]
Tamiz (ASTM)	(mm)	
1 1/2"	38.1	0.00
1"	25	0.00
3/4"	19	421.00
1/2"	12.5	372.00
3/8"	9.5	250.00
No. 4	4.75	785.00
No. 10	2	1350.00
No. 40	0.425	2609.00
No. 100	0.15	2601.00
No. 200	0.075	963.62
Fondo		522.39

ENSAYO CORRECTO

CALCULOS					
Abertura del Tamiz	Peso Retenido [g]	Porcentaje Retenido %	Porcentaje Retenido Acumulado %	porcentaje Pasante %	
Tamiz (ASTM)	(mm)				
1 1/2"	38.1	0	0	100	
1"	25	0	0	100	
3/4"	19	417	4.238662087	4.23866209	95.7613379
1/2"	12.5	368	3.74059388	7.97925597	92.020744
3/8"	9.5	246	2.500505692	10.4797617	89.5202383
No. 4	4.75	781	7.938597338	18.418359	81.581641
No. 10	2	1346	13.6816287	32.0999877	67.9000123
No. 40	0.425	2605	26.47893222	58.5789199	41.4210801
No. 100	0.15	2597	26.39761496	84.9765349	15.0234651
No. 200	0.075	959.62	9.754208422	94.7307433	5.26925669
Fondo		518.39	5.269256689	100	0
Total		9838.01	100		

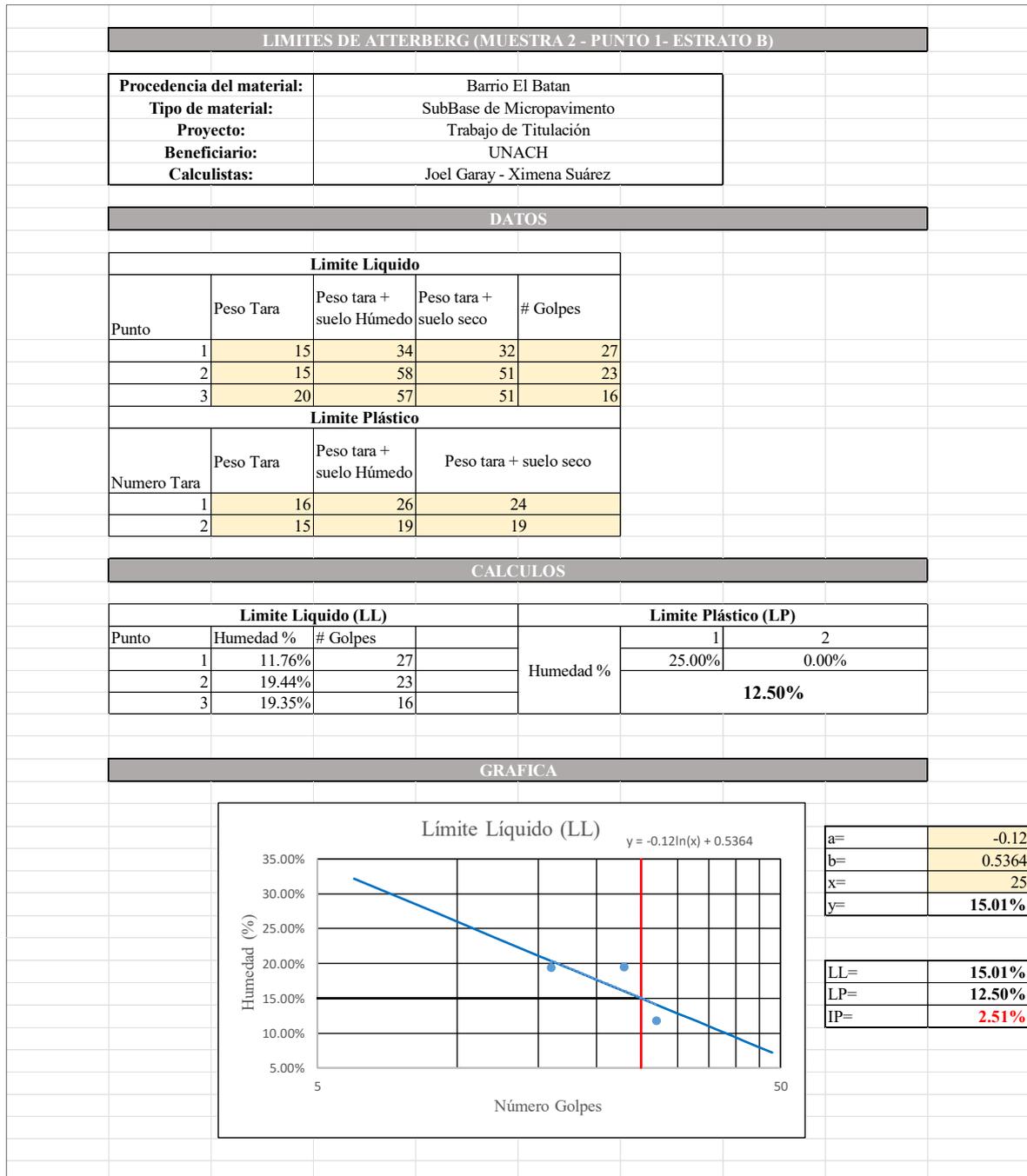
GRAFICA	
D10=	0.105
D30=	0.271
D60=	1.260

CURVA GRANULOMÉTRICA SUBBASE CLASE 1

— Curva granulométrica
 - - - Tamiz No. 4 (SUCS). Divide gravas de arenas
 - - - Tamiz No. 200 (SUCS). Divide limos de arenas
 — Lim. Inf
 — Series 11

Coeficientes	
Uniformidad Cu=	12.00
Curvatura Cc=	0.55
Clasificación SUCS	
%Finos pasa tamiz 200=	5.269
% Grava retenido tamiz 4=	18.418
%Arena=	76.312
Arena	S
Determinar Cu y Cc	
Utilizar carta de plasticidad	
Arena pobremente gradada y grava (SP)	

Anexo 13. Clasificación de SUCS de la subbase punto 1.



Anexo 14. Cálculos del ensayo de Proctor Subbase punto 1.

Punto 1 EB					
Muestra No.	1 EB				
Procedencia del Material	Batán				
Tipo de Material	Base de Micropavimento				
Diámetro Interno del Cilindro	10.16	[cm]			
Altura Interna del Cilindro	11.64	[cm]			
Volumen del Cilindro	943.69	[cm ³]			
Peso del Cilindro	3.710	[kg]			

Punto	Peso Cilindro + Suelo Compactado	Denominación de Tara	Peso de Tara	Peso Suelo Húmedo + Tara	Peso Suelo Seco + Tara
[-]	[kg]	[-]	[gr]	[gr]	[gr]
1	5.800	3F	14.60	61.00	59.90
		E5	14.70	57.80	56.80
2	5.910	13J	14.30	41.00	39.50
		4A	14.30	36.00	34.70
3	5.930	4L	14.70	50.40	46.80
		E5	14.40	47.90	44.80
4	5.902	F	14.40	69.60	62.50
		E3	14.60	61.80	55.80

CALCULOS					
Punto	Peso Cilindro Proctor	Volumen del Cilindro Proctor	Peso Cilindro + Suelo Compactado	Peso del Suelo Compactado	Peso Especifico del Suelo Compactado Húmedo
[-]	[kg]	[cm ³]	[kg]	[kg]	[T/m ³]
1	3.710	943.692	5.800	2.090	2.2147
2	3.710	943.692	5.910	2.200	2.3313
3	3.710	943.692	5.930	2.220	2.3525
4	3.710	943.692	5.902	2.192	2.3228

Muestra	Denominación de Tara	Peso de Tara	Peso Suelo Húmedo + Tara	Peso Suelo Seco + Tara	Peso Suelo Seco	Peso del Agua	Porcentaje de Agua	Porcentaje Promedio de Agua	Peso Especifico del Suelo Compactado Seco
[-]	[-]	[gr]	[gr]	[gr]	[gr]	[gr]	[%]	[%]	[T/m ³]
1	3F	14.60	61.00	59.90	45.30	1.10	2.428	2.402	2.163
	E5	14.70	57.80	56.80	42.10	1.00	2.375		
2	13J	14.30	41.00	39.50	25.20	1.50	5.952	6.162	2.196
	4A	14.30	36.00	34.70	20.40	1.30	6.373		
3	4L	14.70	50.40	46.80	32.10	3.60	11.215	10.706	2.125
	E5	14.40	47.90	44.80	30.40	3.10	10.197		
4	F	14.40	69.60	62.50	48.10	7.10	14.761	14.662	2.026
	E3	14.60	61.80	55.80	41.20	6.00	14.563		

Anexo 15. Infiltración y escurrimiento punto 1.

DATOS DE CAMPO			
Fecha:	Martes, 23 de Enero de 2024		
Ciudad:	Riobamba- Chimborazo		
Lugar:	Barrio Batán		
Clima:	nublado	Estado de la vía:	Bueno
Coordenada del punto:		ESTE	761624
		NORTE	9811110
		ALTITUD	2680
INTERVALO		TIEMPO (Hora)	h (cm)
-	7:30 AM	0 Horas	10
7:30 AM	8:30 AM	1 Horas	12.7
8:30 AM	9:30 AM	1 Horas	16.8
9:30 AM	10:30 AM	1 Horas	18
10:30 AM	11:30 AM	1 Horas	20
11:30 AM	12:30 PM	1 Horas	21.5
12:30 PM	1:30 PM	1 Horas	23.5
1:30 PM	2:30 PM	1 Horas	24.5
2:30 PM	3:30 PM	1 Horas	26
3:30 PM	4:30 PM	1 Horas	27
4:30 PM	5:30 PM	1 Horas	27.8
4:00 PM	6:30 PM	1 Horas	28
Obvservaciones: Al realizar el ensayo en el punto de estudio se colocó el infiltrómetro en la capa de rodadura se encuentra en buenas condiciones.			