

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

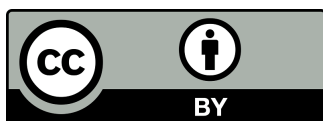
**Comparación de las propiedades físicas y mecánicas
de un pavimento flexible con mezcla asfáltica en
caliente con un pavimento flexible con resina epoxy,
Huancayo 2025**

Hamil Aldridge Uribe Ibañez

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Huancayo, 2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Christian Edinson Murga Tirado
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de
FECHA : investigación 3 de noviembre de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

Comparación de las propiedades físicas y mecánicas de un pavimento flexible con mezcla asfáltica en caliente con un pavimento flexible con resina epoxy, Huancayo 2025.

Autores:

1. Hamil Aldridge Uribe Ibañez – Carrera profesional Ingeniería Civil

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 14 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores N°20 de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"): SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

Agradecimientos

Agradezco profundamente a mi asesor de tesis por su guía y paciencia durante el desarrollo de esta investigación. También extendo mi gratitud a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil por su formación académica, y al laboratorio donde se realizaron los ensayos por el apoyo técnico brindado. Agradezco a Dios por permitirme dedicar mi vida a la ingeniería vial y servir a mi país; a mi madre por el esfuerzo y dedicación a sus hijos y que sin ella nada de esto sería posible; a mi padre quien desde pequeño hizo que amara la carrera de Ingeniería Civil gracias a las obras a las que asistí y quien ahora desde el cielo guía mis pasos personales y empresariales; y, por último, a mí mismo, por todo el esfuerzo requerido para culminar esta hermosa carrera.

Dedicatoria

Dedico este trabajo de investigación a todos los trabajadores de plantas de asfalto, quienes exponen sus vidas a muchos riesgos debido a las altas temperaturas de producción, contaminación por los materiales usados y al arduo esfuerzo; también al personal dedicado a la creación de vías en el país que unen nuestros pueblos, mejorando la calidad de vida.

Índice de Contenido

Agradecimientos.....	iv
Dedicatoria	v
Índice de Tablas	ix
Índice de Figuras.....	x
Resumen.....	xii
Abstract.....	xiii
Introducción	1
Capítulo I: Planteamiento del Estudio	3
1.1. Planteamiento y Formulación del Problema	3
1.1.1. Problema General.....	3
1.1.2. Problemas Específicos	3
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. Objetivo General	3
1.2.2. Objetivos Específicos.....	4
1.3. Justificación	4
1.3.1. Justificación Teórica	4
1.3.2. Justificación Social.....	4
1.3.3. Justificación Ambiental.....	4
1.3.4. Justificación Económica.....	5
1.4. Delimitación del Proyecto.....	5
1.4.1. Delimitación Espacial	5
1.4.2. Delimitación Temporal	5
1.4.3. Delimitación Temática	5
1.4.4. Delimitación Material y Poblacional.....	5
1.5. Hipótesis y Variables	6
1.5.1. Hipótesis.....	6
1.5.2. Variables	6
Capítulo II: Marco Teórico.....	8
2.1. Antecedentes del Problema.....	8
2.1.1. Antecedentes Nacionales	8
2.1.2. Antecedentes Internacionales	9
2.2. Bases Teóricas	12
2.2.1. Pavimento.....	12
2.2.2. Mezclas Asfálticas	16
2.2.3. Tipo de Mezcla.....	16
2.2.4. Ensayos de Laboratorio.....	17

Capítulo III. Metodología.....	19
3.1. Método, Tipo o Alcance de la Investigación	19
3.1.1. Tipo de Metodología	19
3.1.2. Nivel de Investigación.....	19
3.1.3. Método de Investigación	19
3.1.4. Diseño de Investigación	19
3.2. Población y Muestra	20
3.2.1. Población.....	20
3.2.2. Muestra.....	20
3.2.3. Muestreo.....	20
3.2.4. Unidad Muestral.....	20
3.3. Técnicas de Recolección y Procesamiento de Datos	20
3.3.1. Técnicas de Recolección de Datos	20
3.3.2. Técnicas de Procesamiento de Datos	21
3.4. Materiales y Métodos.....	21
3.4.1. Materiales Utilizados	21
3.4.2. Métodos de Aplicación de la Ingeniería.....	22
3.5. Justificación de la Dosificación Experimental con Resina Epoxy.....	22
3.6. Justificación de la Muestra.....	23
3.7. Alcance y Limitaciones del Tamaño de Muestra.....	23
Capítulo IV: Resultados y Discusión.....	24
4.1. Presentación de Resultados.....	24
4.1.1. Resultados del Ensayo Marshall en Mezclas Asfálticas Convencionales y con Resina Epóxica	24
4.1.2. Resultados del Ensayo Cántabro en Mezclas Asfálticas Convencionales y con Resina Epóxica	38
4.1.3. Interpretación General del Comportamiento Estructural	41
4.1.4. Ventajas, Desventajas y Posibles Ajustes	41
4.2. Prueba de Hipótesis.....	42
4.2.1. Prueba de Hipótesis Específicas para Parámetros Obtenidos en el Ensayo Marshall	42
4.2.2. Prueba de Hipótesis Específicas para Parámetros Obtenidos en el Ensayo Cántabro	49
4.3. Discusión de Resultados	50
4.3.1. Ensayo Marshall.....	50
4.3.2. Ensayo Cántabro	51
Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones.....	52
5.1. Conclusiones	52

5.2. Recomendaciones	52
Referencias Bibliográficas.....	53
ANEXOS.....	58

Índice de Tablas

TABLA 1: OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	7
TABLA 2: RÉPLICAS POR CADA VARIABLE.....	20
TABLA 3: RESULTADOS PROMEDIO DEL ENSAYO MARSHALL.....	24
TABLA 4: PROMEDIO DEL PESO ESPECÍFICO BULK.....	25
TABLA 5: PROMEDIO DEL % DE VACÍOS.....	26
TABLA 6: PROMEDIO DE VMA.....	28
TABLA 7: PROMEDIO DE % DE VACÍOS LLENADOS CON C.A.....	30
TABLA 8: PROMEDIO DE FLUJO.....	32
TABLA 9: PROMEDIO DE ESTABILIDAD CORREGIDA.....	34
TABLA 10: PROMEDIO DE RIGIDEZ.....	36
TABLA 11: RESULTADOS PROMEDIO DEL ENSAYO CÁNTABRO.....	38
TABLA 12: PROMEDIO DEL PORCENTAJE DE PÉRDIDA POR CÁNTABRO.....	39
TABLA 13: PRUEBA U DE MANN–WHITNEY PARA EL PESO ESPECÍFICO BULK.....	43
TABLA 14: PRUEBA U DE MANN–WHITNEY PARA EL PORCENTAJE DE VACÍOS.....	44
TABLA 15: PRUEBA U DE MANN–WHITNEY PARA VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL.....	45
TABLA 16: PRUEBA U DE MANN–WHITNEY PARA % VACÍOS LLENADOS CON C.A.....	46
TABLA 17: PRUEBA U DE MANN–WHITNEY PARA FLUJOS.....	47
TABLA 18: PRUEBA U DE MANN–WHITNEY PARA ESTABILIDAD CORREGIDA.....	48
TABLA 19: PRUEBA U DE MANN–WHITNEY PARA RIGIDEZ.....	49
TABLA 20: PRUEBA U DE MANN–WHITNEY PARA PARÁMETROS OBTENIDOS EN EL ENSAYO CÁNTABRO.....	50

Índice de Figuras

FIGURA 1. MÁQUINA DE ESTABILIDAD MARSHALL CON ANILLO DE CARGA	18
FIGURA 2. BARRAS SIMPLES DE PESO ESP. BULK POR % AGLUTINANTE PEM 6.0	25
FIGURA 3. BARRAS SIMPLES DE PESO ESP. BULK POR % AGLUTINANTE DE RESINA EPOXY ...	25
FIGURA 4. GRÁFICO DE DISPERSIÓN DE PESO ESP. BULK POR % AGLUTINANTE	26
FIGURA 5. BARRAS SIMPLES DEL PORCENTAJE DE AGLUTINANTE PEM 6.0 CON PORCENTAJE DE VACÍOS	27
FIGURA 6. BARRAS SIMPLES DEL PORCENTAJE DE AGLUTINANTE DE RESINA EPOXY CON PORCENTAJE DE VACÍOS	27
FIGURA 7. GRÁFICO DE DISPERSIÓN DEL PORCENTAJE DE AGLUTINANTE CON PORCENTAJE DE VACÍOS	28
FIGURA 8. BARRAS SIMPLES DEL PORCENTAJE DE AGLUTINANTE PEM 6.0 CON VMA	29
FIGURA 9. BARRAS SIMPLES DEL PORCENTAJE DE AGLUTINANTE DE RESINA EPOXY CON VMA	29
FIGURA 10. GRÁFICO DE DISPERSIÓN DEL PORCENTAJE DE AGLUTINANTE CON VMA	30
FIGURA 11. BARRAS SIMPLES DEL PORCENTAJE DE AGLUTINANTE PEM 6.0 CON % DE VACÍOS LLENADOS	31
FIGURA 12. BARRAS SIMPLES DEL PORCENTAJE DE AGLUTINANTE DE RESINA EPOXY CON % DE VACÍOS LLENADOS	31
FIGURA 13. GRÁFICO DE DISPERSIÓN DEL PORCENTAJE DE AGLUTINANTE CON % DE VACÍOS LLENADOS	32
FIGURA 14. BARRAS SIMPLES DEL PORCENTAJE DE AGLUTINANTE PEM 6.0 CON % DE FLUJO	33
FIGURA 15. BARRAS SIMPLES DEL PORCENTAJE DE AGLUTINANTE DE RESINA EPOXY CON % DE FLUJO	33
FIGURA 16. GRÁFICO DE DISPERSIÓN DEL PORCENTAJE DE AGLUTINANTE CON % DE FLUJO.	34
FIGURA 17. BARRAS SIMPLES DEL PORCENTAJE DE AGLUTINANTE PEM 6.0 CON ESTABILIDAD CORREGIDA	35
FIGURA 18. BARRAS SIMPLES DEL PORCENTAJE DE AGLUTINANTE DE RESINA EPOXY CON ESTABILIDAD CORREGIDA	35
FIGURA 19. GRÁFICO DE DISPERSIÓN DEL PORCENTAJE DE AGLUTINANTE CON ESTABILIDAD CORREGIDA	36
FIGURA 20. BARRAS SIMPLES DEL PORCENTAJE DE AGLUTINANTE PEM 6.0 CON RIGIDEZ....	37
FIGURA 21. BARRAS SIMPLES DEL PORCENTAJE DE AGLUTINANTE DE RESINA EPOXY CON RIGIDEZ	37
FIGURA 22. GRÁFICO DE DISPERSIÓN DEL PORCENTAJE DE AGLUTINANTE CON RIGIDEZ.....	38

FIGURA 23. BARRAS SIMPLES DEL PORCENTAJE DE AGLUTINANTE PEM 6.0 CON % DE PÉRDIDA POR CÁNTABRO	39
FIGURA 24. BARRAS SIMPLES DEL PORCENTAJE DE AGLUTINANTE DE RESINA EPOXY CON % DE PÉRDIDA POR CÁNTABRO	40
FIGURA 25. GRÁFICO DE DISPERSIÓN DEL PORCENTAJE DE AGLUTINANTE CON % DE PÉRDIDA POR CÁNTABRO	40
FIGURA 26. GRÁFICO DE LA PRUEBA U DE MANN–WHITNEY PARA EL PESO ESPECÍFICO BULK	43
FIGURA 27. GRÁFICO DE LA PRUEBA U DE MANN–WHITNEY PARA EL PORCENTAJE DE VACÍOS	44
FIGURA 28. GRÁFICO DE LA PRUEBA U DE MANN–WHITNEY PARA VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL	45
FIGURA 29. GRÁFICO DE LA PRUEBA U DE MANN–WHITNEY PARA % VACÍOS LLENADOS CON C.A.	46
FIGURA 30. GRÁFICO DE LA PRUEBA U DE MANN–WHITNEY PARA FLUJOS.....	47
FIGURA 31. GRÁFICO DE LA PRUEBA U DE MANN–WHITNEY PARA ESTABILIDAD CORREGIDA	48
FIGURA 32. GRÁFICO DE LA PRUEBA U DE MANN–WHITNEY PARA RIGIDEZ	49
FIGURA 33. GRÁFICO DE LA PRUEBA U DE MANN–WHITNEY PARA PARÁMETROS OBTENIDOS EN EL ENSAYO CÁNTABRO	50

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo diferenciar las propiedades físicas y mecánicas de un pavimento flexible elaborado con mezcla asfáltica en caliente (MAC-2) respecto a uno elaborado con resina epóxica, mediante los ensayos Marshall y de Cántabro, en Huancayo, durante el 2025. La investigación se desarrolló con un enfoque cuantitativo, método deductivo, de tipo aplicado, nivel comparativo y diseño pre-experimental. Se empleó el diseño Marshall del proyecto “Puente Comuneros 2” con 6 % de asfalto, cumpliendo con la normativa del MTC y ASTM D6927. Para la mezcla epóxica, se reemplazó totalmente el ligante asfáltico por resina, dosificándola en cinco niveles (9 % a 11 %), y se elaboraron briquetas mediante compactación manual y curado por siete días. Los resultados mostraron que las briquetas con resina epóxica superaron los 5000 kg de estabilidad, sin fallas visibles, frente a los 1200–1400 kg de la mezcla convencional, demostrando un comportamiento estructural superior. En el ensayo de Cántabro, la mezcla epóxica presentó bajas pérdidas de masa (2.24 %–2.96 %), lo cual indica alta resistencia al desgaste. Debido a la rigidez del material, el comportamiento estructural observado sigue siendo favorable. Se utilizó la prueba Mann Whitney U para muestras independientes, lo que confirma la hipótesis nula. En conclusión, la mezcla con resina epóxica demostró ser una alternativa viable, pues presenta propiedades mecánicas superiores al diseño convencional en los parámetros técnicos evaluados. Sin embargo, la prueba de hipótesis aceptó la hipótesis nula, lo que indica que las diferencias observadas no fueron estadísticamente significativas.

Palabras clave: Pavimento flexible, resina epóxica, mezcla asfáltica, ensayo Marshall, ensayo Cantabro.

Abstract

The present study aimed to differentiate the physical and mechanical properties of a flexible pavement made with hot mix asphalt (MAC-2) compared to one made with epoxy resin, using Marshall and Cantabro tests, in Huancayo during 2025. The research followed a quantitative approach, deductive method, applied type, comparative level, and pre-experimental design. The Marshall design from the “Puente Comuneros 2” project was used with 6% asphalt, complying with MTC regulations and ASTM D6927. For the epoxy mixture, the asphalt binder was fully replaced with resin, dosed at five levels (9% to 11%), and briquettes were produced through manual compaction and cured for seven days. The results showed that the epoxy resin briquettes exceeded 5000 kg of stability without visible failures, compared to 1200–1400 kg for the conventional mixture, demonstrating superior structural performance. In the Cantabro test, the epoxy mixture exhibited low mass loss (2.24%–2.96%), indicating high wear resistance. Due to the material’s rigidity, the observed structural behavior remained favorable. The Mann-Whitney U test for independent samples was applied, confirming the null hypothesis. In conclusion, the epoxy resin mixture proved to be a viable alternative, presenting superior mechanical properties compared to the conventional design in the evaluated technical parameters. However, the hypothesis test accepted the null hypothesis, indicating that the observed differences were not statistically significant.

Keywords: flexible pavement, epoxy resin, asphalt mixture, Marshall test, Cantabro test.

Introducción

En el Perú, los pavimentos flexibles elaborados con mezcla asfáltica en caliente (MAC) continúan siendo la solución más empleada en la construcción y mantenimiento de carreteras. Sin embargo, este tipo de pavimento presenta limitaciones significativas frente a la deformación permanente, el envejecimiento térmico, la fatiga estructural y la pérdida de adherencia bajo condiciones de tráfico pesado o climas extremos (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2023).

A nivel internacional, diversos estudios han incorporado el uso de ligantes poliméricos o sintéticos, como las resinas epóxicas, las cuales ofrecen propiedades mecánicas superiores, alta resistencia química y excelente adherencia con los agregados pétreos (Apostolidis et al., 2023; Liu et al., 2022). Estas investigaciones demuestran que las mezclas con resina epóxica pueden incrementar la rigidez, la estabilidad y la durabilidad de los pavimentos, reduciendo a la vez los costos de mantenimiento a largo plazo.

En el contexto nacional, la infraestructura vial peruana enfrenta un deterioro prematuro debido a materiales convencionales de bajo desempeño y a la falta de innovación en el uso de nuevos ligantes (Barrantes & Bonilla, 2024). Huancayo, ubicada a más de 3 200 msnm, presenta condiciones climáticas y topográficas que aceleran la degradación del pavimento asfáltico, generando fisuras, deformaciones y desprendimientos superficiales.

Frente a ello, la presente investigación plantea comparar las propiedades físicas y mecánicas de un pavimento flexible convencional (MAC-2) frente a uno elaborado con resina epóxy como único ligante, mediante la aplicación de los ensayos Marshall y Cántabro, con el fin de evaluar su desempeño estructural y durabilidad en condiciones de laboratorio.

Metodológicamente, el estudio adopta un enfoque cuantitativo, con un método experimental y nivel comparativo, elaborando briquetas de mezcla convencional y epóxy con diferentes dosificaciones (9 %–11 %) y evaluando su estabilidad, flujo, rigidez y resistencia al desgaste.

Este trabajo busca contribuir con evidencia técnica al desarrollo de alternativas sostenibles e innovadoras en ingeniería vial, demostrando que el empleo de resinas epóxy puede ofrecer mejores propiedades mecánicas, reducir el impacto ambiental y mejorar la seguridad laboral en la producción de pavimentos.

Este estudio comprende los siguientes capítulos:

Capítulo I: Presenta el planteamiento del problema, los objetivos generales y específicos, la justificación e importancia, delimitaciones, hipótesis y variables de la investigación.

Capítulo II: Desarrolla el marco teórico, incluyendo antecedentes internacionales, nacionales y locales, así como los fundamentos teóricos sobre tránsito vehicular y nivel de servicio.

Capítulo III: Describe la metodología utilizada, el tipo, nivel y diseño de investigación, así como la población, muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Capítulo IV: Presenta los resultados y su discusión, utilizando tablas y figuras para facilitar la interpretación de los hallazgos.

Capítulo V: Expone las conclusiones basadas en los objetivos planteados, así como las recomendaciones para mejorar el tránsito vehicular y el nivel de servicio en el tramo analizado.

Capítulo I: Planteamiento del Estudio

1.1. Planteamiento y Formulación del Problema

En el ámbito mundial, el uso de pavimentos flexibles tradicionales representa una de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero debido al alto consumo energético durante su fabricación. Además, la mezcla asfáltica en caliente (MAC) requiere temperaturas superiores a 150 °C para su elaboración, lo que implica un elevado gasto de combustibles fósiles y riesgos laborales por exposición a vapores tóxicos y altas temperaturas (Liu et al., 2022).

En Latinoamérica y el Perú, los pavimentos construidos con mezclas asfálticas convencionales presentan una vida útil promedio de 5 a 8 años, reducida significativamente por el tránsito vehicular y las condiciones climáticas (MTC, 2023). En regiones como Huancayo, donde las variaciones térmicas son amplias y la radiación solar es intensa, el envejecimiento y la fisuración del asfalto se acentúan, y requieren reparaciones frecuentes y costosas.

Ante esta problemática, se propone el uso de resina epóxy como sustituto total del ligante asfáltico, material que destaca por su alta resistencia a la tracción, excelente adherencia a los agregados y baja permeabilidad. No obstante, en el Perú su aplicación en pavimentos aún no ha sido explorada experimentalmente, por lo que su desempeño estructural comparativo con el asfalto tradicional sigue siendo desconocido.

1.1.1. Problema General

¿Cuál es la diferencia entre las propiedades físicas y mecánicas del pavimento flexible elaborado con mezcla asfáltica en caliente (MAC-2) respecto a uno elaborado con resina epoxy, Huancayo 2025?

1.1.2. Problemas Específicos

¿Qué diferencias se observan en los parámetros del ensayo Marshall (estabilidad, flujo, densidad y vacíos) entre un pavimento flexible con mezcla asfáltica en caliente y uno con resina epoxy?

¿Qué diferencias se presentan en el ensayo Cántabro respecto a la pérdida de masa por desgaste entre ambos tipos de pavimento?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Comparar las propiedades físicas y mecánicas de un pavimento flexible elaborado con mezcla asfáltica en caliente (MAC-2) frente a uno elaborado con resina epoxy, mediante los ensayos Marshall y Cántabro, en condiciones de laboratorio, Huancayo 2025.

1.2.2. Objetivos Específicos

Evaluar y comparar los resultados del ensayo Marshall (estabilidad, flujo, densidad, vacíos y rigidez) entre un pavimento flexible con mezcla asfáltica convencional y uno con resina epoxy.

Analizar las diferencias en los resultados del ensayo Cántabro (pérdida de masa por desgaste) entre ambos tipos de mezcla.

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación Teórica

La presente investigación se sustenta en la necesidad de profundizar el conocimiento técnico sobre el uso de materiales alternativos al ligante asfáltico convencional en la construcción de pavimentos flexibles. La teoría del diseño de mezclas bituminosas, particularmente bajo los lineamientos del método Marshall, establece parámetros fundamentales como la estabilidad, el flujo, el contenido de vacíos y la densidad, que permiten caracterizar el desempeño mecánico de la mezcla. De manera complementaria, el ensayo de pérdida por abrasión (Cántabro) constituye una herramienta clave para cuantificar la resistencia al desgaste superficial, proporcionando un criterio relevante para estimar la durabilidad de los materiales frente a cargas vehiculares y factores ambientales. La inclusión de resinas epóxicas como ligante alternativo modifica sustancialmente las propiedades fisicoquímicas de la mezcla, potencialmente incrementando su rigidez estructural, estabilidad volumétrica y resistencia frente a mecanismos de deterioro.

1.3.2. Justificación Social

Desde la perspectiva social, el mejoramiento de los pavimentos incide directamente en la calidad de vida de la población, al contribuir con entornos urbanos más seguros, accesibles y funcionales. La adecuada condición de calles, avenidas y vías interurbanas no solo reduce la probabilidad de accidentes de tránsito, sino que también optimiza la eficiencia en la movilidad de personas y bienes. En contextos urbanos como el de Huancayo, donde factores climáticos adversos y una topografía irregular pueden comprometer la integridad estructural del pavimento, resulta esencial implementar soluciones tecnológicas que prolonguen su vida útil y respondan eficazmente a las demandas de la comunidad.

1.3.3. Justificación Ambiental

El desarrollo de pavimentos sostenibles requiere la incorporación de materiales que reduzcan el impacto ambiental asociado a los métodos tradicionales. La mezcla asfáltica en caliente implica un elevado consumo energético, emisiones de GEI y el uso de derivados del petróleo. Además, su limitada durabilidad demanda intervenciones frecuentes, generando residuos y un mayor uso de recursos.

En cambio, la resina epóxica como ligante alternativo presenta una mayor resistencia mecánica y durabilidad, lo que reduce la frecuencia de mantenimiento y, por tanto, las emisiones y residuos generados. Al no requerir altas temperaturas ni procesos industriales intensivos, su aplicación representa una opción con menor huella ambiental y mayor alineación con los principios de sostenibilidad vial.

1.3.4. Justificación Económica

La incorporación de resinas epóxicas como ligante alternativo en mezclas asfálticas representa una inversión inicial más elevada en comparación con el asfalto convencional; sin embargo, su sobresaliente comportamiento mecánico y alta resistencia al desgaste favorecen una mayor durabilidad del pavimento, lo que conlleva una reducción significativa en los costos de mantenimiento a mediano y largo plazo. Esta investigación, respaldada en resultados experimentales, propone que el uso de resina epóxica constituye una solución técnica y económicamente sostenible para proyectos de infraestructura vial, al disminuir la frecuencia de intervenciones correctivas, prolongar la vida útil operativa del pavimento y optimizar la asignación de recursos públicos destinados al mantenimiento y mejora de las vías de transporte.

1.4. Delimitación del Proyecto

1.4.1. Delimitación Espacial

La investigación se desarrolló en la ciudad de Huancayo, en el laboratorio de ensayos de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil, utilizando agregados y materiales locales.

1.4.2. Delimitación Temporal

La ejecución experimental se realizó entre los meses de enero y junio de 2025, incluyendo la preparación de muestras, ensayos y análisis de resultados.

1.4.3. Delimitación Temática

El estudio se centra en la comparación de propiedades físicas y mecánicas (estabilidad, flujo, vacíos, rigidez y desgaste superficial) entre una mezcla asfáltica MAC-2 y mezclas con resina epóxica como único ligante. No se abordan otras propiedades como resistencia a la humedad, fatiga, deformación permanente o análisis de ciclo de vida.

1.4.4. Delimitación Material y Poblacional

Se trabajó con una muestra compuesta por 18 briquetas: 3 briquetas del diseño MAC-2 (dosificación óptima del 6%) y 15 briquetas con cinco dosificaciones diferentes de resina epóxica (9% a 11%, con incrementos de 0.5%). No se consideraron otros tipos de aditivos, modificadores ni mezclas híbridas.

1.5. Hipótesis y Variables

1.5.1. Hipótesis

1.5.1.1. Hipótesis General. Existe una diferencia significativa entre las propiedades físicas y mecánicas de un pavimento flexible elaborado con mezcla asfáltica en caliente (MAC-2) y uno elaborado con resina epoxy como ligante, según los resultados obtenidos en los ensayos Marshall y Cántabro, en Huancayo 2025.

1.5.1.2. Hipótesis Específicas. Existen diferencias significativas en los valores de estabilidad, flujo, densidad, vacíos y rigidez obtenidos en el ensayo Marshall entre ambos tipos de mezcla.

Existen diferencias significativas en la pérdida de masa obtenida en el ensayo Cántabro entre la mezcla asfáltica convencional y la mezcla con resina epoxy.

1.5.2. Variables

1.5.2.1. Variable Independiente. Tipo de ligante utilizado en la mezcla de pavimento flexible.

1.5.2.2. Variables Dependientes.

Propiedades físicas del pavimento flexible.

Propiedades mecánicas del pavimento flexible.

Tabla 1*Operacionalización de variables*

VARIABLE		DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	ESCALA
VI	Tipo de mezcla	Las mezclas asfálticas se pueden clasificar según sus materiales, método de fabricación, temperatura de producción o el uso de aditivos (3).	Se medirá diferenciando las muestras de mezcla asfáltica en caliente convencional y las muestras de mezcla asfáltica modificada con resina epoxy.	Tipo de ligante	Mezcla asfáltica convencional MAC	Nominal
					Resina epoxy	Nominal
VD	Propiedades físicas	Son características relacionadas con su comportamiento volumétrico, densidad y estructura interna, sin considerar su resistencia a esfuerzos mecánicos (4).	Se evaluarán mediante los ensayos de compactación y mediciones volumétricas según normas ASTM D2726 y AASHTO T166.	Peso específico BUCK	Valor del peso específico bulk	Nominal
				Porcentaje de vacíos totales	% de vacíos totales en la mezcla	Porcentaje
				VMA	% de volumen de vacíos en agregado mineral	Porcentaje
				Porcentaje de vacíos llenados	% de vacíos llenados con asfalto	Porcentaje
	Propiedades mecánicas	Es la capacidad para resistir cargas aplicadas, deformaciones y deterioros mecánicos durante su vida útil (5).	Se evaluarán a través del ensayo Marshall (ASTM D6927), y mediante el porcentaje de pérdida de peso determinado en el ensayo Cántabro de desgaste.	Estabilidad	Carga máxima soportada	kN
				Flujo	Deformación plástica bajo carga	mm
				Rigidez	Relación estabilidad	kN/mm
				Desgaste	% de pérdida de peso tras ensayo	Porcentaje

Capítulo II: Marco Teórico

2.1. Antecedentes del Problema

2.1.1. Antecedentes Nacionales

Contrado (2024) (6), en su investigación titulada *Análisis del comportamiento físico-mecánico de la mezcla asfáltica del pavimento flexible modificada con resina epóxica – Cusco – San Jerónimo (2024)*, tuvo como objetivo analizar comparativamente el comportamiento físico-mecánico de mezclas asfálticas tradicionales frente a aquellas modificadas con resina epóxica, aplicadas en pavimentos flexibles del distrito de San Jerónimo, Cusco. Se utilizó una metodología cuantitativa, de nivel aplicado y diseño pre-experimental, elaborando probetas a partir de dos tipos de mezcla: una mezcla asfáltica en caliente convencional con 6% de ligante asfáltico, y otra con resina epóxica como reemplazo total del asfalto, dosificada entre 9 % y 11 %. Las briquetas fueron moldeadas mediante compactación manual y sometidas a un proceso de curado durante siete días. A través de los ensayos Marshall y Cántabro, se evaluaron propiedades físico-mecánicas como la estabilidad, flujo, densidad, vacíos totales (VTM), vacíos llenados con ligante (VFA) y pérdida de masa por desgaste. Los resultados evidenciaron que las briquetas elaboradas con resina epóxica mostraron una estabilidad promedio de 5612.64 kg, significativamente superior a la mezcla convencional, que alcanzó entre 1200 y 1400 kg. En cuanto a la pérdida de masa en el ensayo de Cántabro, la mezcla epóxica presentó resultados entre 2.24 % y 2.96 %, lo cual indica una alta resistencia al desgaste. Aunque los valores de vacíos totales (VTM) y vacíos llenados con ligante (VFA) no se ajustaron completamente a los rangos normativos, el desempeño estructural fue favorable. Se concluye que este tipo de mezcla representa una alternativa técnica viable y de mayor durabilidad.

Barrantes y Bonilla (2022) (7) estudiaron la *Propuesta de diseño de asfalto ecológico utilizando RAP adicionado con resina epoxy bisfenol-A para reducir el impacto ambiental y mejorar el comportamiento mecánico del pavimento*. Tuvieron como objetivo evaluar el comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica modificada con resina epóxica frente a una mezcla convencional en pavimentos flexibles. Se aplicó una metodología experimental con enfoque cuantitativo. Se elaboraron briquetas con dos tipos de ligantes: asfalto convencional (5–6%) y resina epóxica (9–11%). Se evaluaron propiedades como estabilidad, flujo, densidad, vacíos totales (VTM), vacíos llenados con ligante (VFA) y pérdida de masa mediante los ensayos Marshall y Cántabro. Los resultados mostraron que las briquetas con resina epóxica alcanzaron una estabilidad promedio de hasta 5021.63 kg, mientras que las convencionales solo lograron 1500 kg. Asimismo, las pérdidas de masa fueron inferiores al 3%, indicando una mayor resistencia al desgaste. Se concluyó que el uso de resina epóxica mejora

significativamente el desempeño estructural del pavimento, aunque se requiere optimizar su dosificación para cumplir con todos los parámetros normativos.

Ramírez (2020) (8), en su investigación titulada *Estabilización de suelo con resina epóxica en la Av. El Olivar, provincia de Huarmey, Ancash (2020)*, tuvo como objetivo evaluar la influencia de la resina epoxi en la mejora de las propiedades mecánicas del suelo natural mediante el ensayo CBR. Se aplicó un diseño cuasi-experimental con enfoque aplicado, realizando mezclas del suelo con tres proporciones de resina epoxi: 2 %, 4 % y 6 %. Las muestras fueron compactadas al 95 % y 100 % de la Proctor Modificado, y se midieron propiedades como el CBR y el índice de plasticidad. Los resultados mostraron que el CBR del suelo mejoró significativamente con la adición de resina, alcanzando hasta 37.70 % al 95 % de compactación y 45.30 % al 100 %, frente a 22.50 % y 27.20 % del suelo natural, respectivamente. Además, el índice de plasticidad se redujo de 9 % a 7 %. Se concluye que la resina epoxi mejora las propiedades mecánicas de resistencia y estabilidad del suelo, recomendándose su aplicación en proporciones de 4 % a 6 %.

Barrantes y Bonilla (2024) desarrollaron la tesis *Propuesta de diseño de asfalto ecológico con resina epoxy bisfenol-A* en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, a partir de la cual evaluaron mezclas asfálticas utilizando resina epoxy como sustituto parcial del betún convencional. Su investigación demostró que la incorporación de esta resina mejora de manera significativa las propiedades físicas y mecánicas del material, incrementando la estabilidad Marshall en más del 30 % respecto al asfalto tradicional y reduciendo la susceptibilidad térmica del pavimento. Asimismo, concluyeron que el uso de resina epoxy contribuye a la sostenibilidad ambiental al disminuir el consumo de derivados del petróleo.

Quispe y Torres (2022), en su tesis *Comparación del desempeño de pavimentos flexibles elaborados con ligantes poliméricos*, de la Universidad Nacional del Centro del Perú, determinaron que las mezclas con ligantes sintéticos aumentan la durabilidad del pavimento hasta en un 40 %, reduciendo la pérdida de masa por desgaste Cántabro y mejorando la cohesión interna del material. Los autores resaltaron el potencial de la resina epoxy para su aplicación en regiones del centro del país, debido a su alto desempeño mecánico y su capacidad de prolongar la vida útil del pavimento.

2.1.2. Antecedentes Internacionales

Apostolidis et al. (2023) (9), en su investigación *Uso de asfalto epoxi como material de revestimiento y capa adhesiva para pavimentos de carreteras*, tuvieron como objetivo evaluar el desempeño de mezclas asfálticas modificadas con resina epóxica (20 % y 40 %) frente a una mezcla convencional, enfocándose en propiedades físico-mecánicas como resistencia a tracción indirecta (IT), rigidez, vida a fatiga y adherencia intercapas. La investigación aplicó ensayos Marshall, tracción indirecta, flexión en cuatro puntos (4PB) y pruebas de cizalladura para el *tack coat*. Los resultados mostraron que al aumentar el contenido

de resina epóxica, la resistencia IT pasó de 1,283 N/m² (mezcla convencional) a 3,215 N/m² (con 40 % epoxi), la rigidez se incrementó de 8,334 MPa a 13,914 MPa, y la resistencia a fatiga también mejoró notablemente. En cuanto a la adherencia entre capas, el *tack coat* epóxico alcanzó valores de hasta 1.82 MPa, el doble que con emulsiones tradicionales. Se concluye que el uso de resina epoxica en el asfalto mejora considerablemente el rendimiento estructural del pavimento, siendo una opción viable para capas de rodadura y *tack coat* en proyectos viales de alta exigencia.

Liu et al. (2022) (10) realizaron la *Investigación sobre la preparación y el rendimiento del ligante asfáltico modificado con epoxi y sus mezclas*". Tuvieron como objetivo presentar un innovador ligante asfáltico modificado con resina epóxica, optimizado para aplicaciones viales de larga duración. El estudio exploró la temperatura óptima de preparación (140 °C) para lograr un tiempo de reserva superior a 120 min, con una resistencia a la tracción de 2.22 MPa y una elongación al fallo del 216 %, cumpliendo con estándares técnicos. Posteriormente, se mezcló esta resina con agregados al 6.5 % para fabricar briquetas tipo Marshall, las cuales demostraron excelente resistencia a deformaciones por alta temperatura (estabilidad dinámica DSS ~ 22,000 ciclos/mm), estabilidad al agua (residual stability RS ~ 93.6 %), y resistencia a fisuración por baja temperatura. El test de fatiga mostró que la vida útil del pavimento con esta mezcla aumentó entre un 276 % y 435 % frente a mezclas modificadas con SBS, dependiendo de la relación de esfuerzo. El análisis microscópico evidenció una distribución homogénea de fases y excelente compatibilidad entre el asfalto y la resina, incluso tras envejecimientos prolongados. En conjunto, los resultados sugieren que este nuevo ligante epóxico y su mezcla presentan un rendimiento mecánico destacado, con alta durabilidad, excelente estabilidad y gran potencial para pavimentos de larga vida útil.

Tian et al. (2022) (11) investigaron los *Efectos del contenido de resina epoxi en las propiedades de los aglutinantes asfálticos epoxi de mezcla en caliente*. Tuvieron como objetivo analizar el efecto del contenido de resina epóxica (entre 20 % y 50 %) sobre las propiedades físicas y mecánicas de ligantes asfálticos en caliente. Se evaluaron propiedades clave como resistencia a tracción, elongación, viscosidad dinámica, y se realizaron análisis de microestructura y composición química mediante FTIR y microscopía de fluorescencia. Los resultados mostraron que al alcanzar el 40 % de contenido de resina epóxica, el ligante exhibió una resistencia a tracción de 2.22 MPa y una elongación de 216 %, valores que cumplen con las especificaciones para aplicaciones estructurales exigentes. Además, se observó un aumento progresivo en la viscosidad a 140 °C, alcanzando un rango adecuado para mezclado y compactación dentro del tiempo de trabajo de 120 minutos. A nivel químico, los espectros FTIR mostraron aumentos en los picos de absorción a 1,085, 1,108 y 1,118 cm⁻¹, lo cual indica una mayor concentración de grupos epoxi. En cuanto a microestructura, la microscopía reveló que por encima del 40 %, las partículas de resina tienden a formar una red entrecruzada continua,

lo que mejora la cohesión interna y la durabilidad del ligante. Por otro lado, un contenido mayor al 45 % generó excesiva rigidez, reduciendo la capacidad de elongación. Finalmente, el análisis económico y técnico concluyó que el 40 % de resina epóxica es el punto óptimo, pues equilibra resistencia, trabajabilidad y costo, recomendándose su uso en pavimentos con altas exigencias estructurales como puentes o vías urbanas de alto tráfico.

Jing et al. (2023) (12) investigaron el *Rendimiento de campo del primer año de asfalto modificado con epoxi*. Tuvieron como objetivo evaluar el comportamiento mecánico de una capa de rodadura de asfalto modificada con resina epóxica (epoxAC, 20 % epóx-asphalt diluido en 80 % asfalto convencional) bajo condiciones reales de tráfico y clima durante su primer año de servicio. El procedimiento incluyó la construcción de dos tramos instrumentados (epoxAC y mezcla de referencia con SMA-NL 8B), instalación de sensores de temperatura y galgas de deformación (longitudinal y transversal) en la base de la capa superficial, y monitoreo diario de marzo a diciembre de 2021. Los resultados mostraron que el epoxAC generó deformaciones transversales por compresión menores bajo bajas temperaturas, lo cual reflejó excelente resistencia a fisuración térmica, y deformaciones tensionales más bajas tras el verano, e indicó endurecimiento por curado en servicio. Según un modelo tradicional de fatiga, se proyectó una vida útil aproximadamente cuatro veces mayor que la mezcla de referencia a 20 °C, lo que respalda su durabilidad superior. Asimismo, el análisis de ciclo de vida reveló que, aunque el epoxAC tiene un costo inicial mayor, su impacto ambiental total menor a largo plazo por menor frecuencia de mantenimiento resulta en una mejor puntuación combinada ambiental-económica que la mezcla convencional. Se concluye que el asfalto modificado con resina epóxica es una opción sostenible y técnica eficaz para pavimentos de larga vida.

Wang et al. (2021) (14) investigaron las *Propiedades de los ligantes epoxi-resina y viabilidad de su aplicación en mezclas de pavimentos*. Tuvieron como objetivo diseñar y evaluar un aglomerante de resina epóxica para mezclas asfálticas (ERPM), optimizando la composición mediante el índice de temperatura de transición vítrea (Tg), con miras a mejorar el desempeño mecánico y la adaptabilidad climática en pavimentos. Se emplearon como base la resina epóxica AL-3040, el endurecedor poliamida 650 y un modificador flexible (toughener A), realizando ensayos de caracterización química, viscosidad, gelificación, resistencia a tracción y compresión, además de pruebas de desempeño vial (resistencia al calor, flexión a baja temperatura y estabilidad hídrica). Los resultados mostraron que un aglomerante con Tg = -10 °C logró buena trabajabilidad, resistencia a tracción directa de hasta 3.2 MPa y elongación al rompimiento superior al 100 % a -10 °C, así como resistencia a compresión de hasta 32 MPa. Las mezclas ERPM exhibieron una estabilidad dinámica de hasta 78,750 MPa a 60 °C y una estabilidad residual al agua >96 %, superando al asfalto convencional AC-13. Concluyeron que las mezclas ERPM con aglomerantes epóxicos optimizados no solo ofrecen alta resistencia

mecánica, flexibilidad a bajas temperaturas y durabilidad, sino que también presentan potencial como alternativa sostenible en pavimentos de alto rendimiento.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Pavimento

Es una estructura multicapa construida sobre la subrasante del terreno natural, diseñada con el propósito de resistir, distribuir y disipar los esfuerzos generados por la acción repetitiva del tránsito vehicular, evitando que dichos esfuerzos afecten de forma directa al suelo de fundación. Además de su función estructural, cumple un rol fundamental en la seguridad vial al proporcionar una superficie de rodadura uniforme y estable (17).

Desde una perspectiva geotécnica y constructiva, el pavimento puede definirse como una estructura heterogénea conformada por materiales naturales (suelos y rocas) y artificiales (mezclas asfálticas, concretos, estabilizantes), procesados por el ingeniero para formar capas con propiedades mecánicas adecuadas (18). Estas capas deben ser capaces de soportar cargas dinámicas, resistir condiciones climáticas adversas, prevenir deformaciones y garantizar un desempeño óptimo durante toda su vida útil. Su diseño debe considerar factores como el volumen de tráfico, las condiciones del suelo, los materiales disponibles y los criterios de sostenibilidad técnica y económica (19).

2.2.1.1. Tipos de Pavimento.

2.2.1.1.1. Pavimentos Flexibles. Están compuestos por una o más capas de mezcla asfáltica colocadas sobre capas granulares (base y subbase) que descansan sobre la subrasante. Este tipo de estructura se caracteriza por su capacidad de deformación ligera y continua, lo cual permite distribuir gradualmente las cargas vehiculares hacia las capas inferiores (17). Debido a su flexibilidad, absorben parte de las deformaciones del terreno y se adaptan mejor a asentamientos menores. Son ampliamente utilizados en vías urbanas, carreteras, pistas de aeropuertos y estacionamientos, principalmente por su rápida ejecución, menor costo inicial y facilidad de mantenimiento (20).

2.2.1.1.2. Pavimentos Rígidos. Los pavimentos rígidos o de hormigón se emplean en infraestructuras que demandan alta resistencia y durabilidad, como aeropuertos, estaciones de peaje, puertos, áreas militares, tableros de puentes, estacionamientos y vías de tráfico intenso (20). Su elevada capacidad portante, resistencia a cargas estáticas y prolongada vida útil los convierten en una opción confiable. No obstante, su construcción requiere un considerable consumo de cemento y agregados (17).

2.2.1.1.3. Pavimentos Semirrígidos. Es un tipo de estructura que integra características de los pavimentos rígidos y flexibles, con el objetivo de aprovechar las ventajas de ambos sistemas. Generalmente están constituidos por una base rígida, ya sea de concreto magro o una mezcla granular estabilizada con cemento o cal sobre la cual se coloca una carpeta

asfáltica en caliente que actúa como capa de rodadura (21). En algunos diseños, se incluye una capa intermedia o subbase granular tratada, que contribuye a mejorar la distribución de cargas y la durabilidad del sistema (20).

Esta configuración estructural proporciona un equilibrio entre rigidez y flexibilidad: la base rígida otorga alta capacidad portante y resistencia a deformaciones permanentes, mientras que la capa asfáltica absorbe parte de las tensiones, reduce el agrietamiento superficial y ofrece una textura adecuada para la circulación vehicular. Como resultado, los pavimentos semirrígidos presentan buena resistencia a la fatiga, mayor tolerancia a cargas pesadas como las generadas por camiones o aeronaves, y un desempeño superior frente a variaciones climáticas y condiciones de servicio exigentes (20).

2.2.1.1.4. Pavimentos Articulados. Están conformados por piezas prefabricadas de pequeñas dimensiones, como adoquines de hormigón, concreto, ladrillo u otros materiales, dispuestas sobre una cama de arena (8).

Su estructura incluye una base granular o estabilizada sobre la cual se colocan los adoquines, y junta que, además de unirlos, favorece el drenaje, mejora la estabilidad y evita filtraciones dañinas. Este sistema ofrece ventajas notables: montaje y desmontaje sencillos, posibilidad de reutilizar las piezas, alta resistencia a la compresión y al desgaste, tolerancia a variaciones térmicas sin presentar fisuras típicas de pavimentos continuos, y valor estético al permitir múltiples patrones y acabados (22).

Por sus propiedades, el pavimento articulado es ampliamente utilizado en calles urbanas, áreas peatonales, accesos a puentes, patios industriales, aeropuertos, estacionamientos y zonas donde se requiere una superficie resistente, duradera, de bajo mantenimiento y adaptable a posibles movimientos del terreno o cargas puntuales elevadas (3).

2.2.1.2. Ligantes para Pavimentos. El ligante es el componente que proporciona cohesión entre las partículas pétreas y adhesión entre las capas del pavimento. Su selección es crucial, ya que define las propiedades reológicas, mecánicas y térmicas del material (AASHTO T315, 2022).

Los ligantes tradicionales son de origen bituminoso (asfalto derivado del petróleo). Sin embargo, la investigación reciente ha desarrollado ligantes sintéticos o poliméricos, como los basados en resina epoxy, con el objetivo de mejorar la durabilidad, estabilidad y resistencia a la deformación permanente (Apostolidis et al., 2023).

2.2.1.2.1. Resina Epoxy como Ligante. La resina epoxy es un polímero termoestable que, al mezclarse con un agente endurecedor, forma una matriz tridimensional altamente resistente, rígida y duradera (Liu et al., 2022). En el campo de la ingeniería vial, se emplea como ligante alternativo o modificador del asfalto, mejorando la adherencia con los agregados, la resistencia al agua y la estabilidad frente al envejecimiento térmico.

Las principales ventajas de la resina epoxy como ligante son:

- Mayor resistencia a la tracción y compresión.
- Excelente adherencia y cohesión con los agregados.
- Baja susceptibilidad térmica y permeabilidad.
- Alta durabilidad y resistencia química.

Según Zhang y Li (2021), las mezclas con resina epoxy presentan un comportamiento mecánico estable incluso bajo condiciones de carga cíclica o temperaturas extremas, superando a las mezclas asfálticas convencionales. Los porcentajes de dosificación recomendados en investigaciones experimentales oscilan entre 9 % y 11 %, rango considerado en el presente estudio.

2.2.1.3. Propiedades Físicas.

- Densidad y volumen de vacíos

La densidad influye en el grado de compactación del material y el volumen de vacíos condiciona la permeabilidad y durabilidad. Un menor contenido de vacíos reduce la infiltración de agua y, con ello, el riesgo de daños estructurales (22).

- Resistencia a la compresión y a la tensión

Especialmente importantes en pavimentos rígidos de concreto, ya que definen la capacidad para soportar cargas sin fracturarse y garantizar un adecuado comportamiento ante el tránsito vehicular (23).

- Módulo de elasticidad o resiliencia

Mide la habilidad del material para recuperar su forma tras cargas dinámicas repetidas, evitando deformaciones permanentes (24).

- Compactación y contenido de humedad

Factores clave para lograr estabilidad en las capas de base y subbase; una compactación insuficiente o un contenido de humedad inadecuado puede comprometer la integridad estructural (25).

- Granulometría y absorción de los agregados

Una distribución óptima de tamaños de partículas mejora la cohesión y estabilidad de la mezcla, mientras que una baja absorción favorece la resistencia al desgaste y el buen desempeño frente a la humedad (26).

- Impermeabilidad y capacidad de drenaje

Fundamentales para minimizar la infiltración de agua y evitar la pérdida de soporte de las capas estructurales (27).

- Resistencia a la abrasión y al desgaste

Especialmente en la capa de rodadura, para soportar tránsito intenso y condiciones ambientales adversas sin pérdida de material (28).

- Comportamiento ante ciclos térmicos y ambientales

Propiedades como la capilaridad, la permeabilidad y la resistencia a congelación/deshielo influyen en la durabilidad, sobre todo en climas con heladas o variaciones térmicas significativas (29).

Estos parámetros se determinan por medio de ensayos normalizados de laboratorio, como el ensayo Marshall para mixturas asfálticas, pruebas de compresión para concretos, análisis granulométricos, pruebas de compactación Proctor, así como técnicas instrumentales modernas (microscopía, difracción de rayos X, etc.) (30).

2.2.1.4. Propiedades Mecánicas.

- Resistencia a la compresión

Capacidad del material para soportar cargas verticales sin presentar falla o fractura. Es fundamental en pavimentos rígidos de concreto y en bases estabilizadas, y se determina mediante ensayos de compresión axial (31).

- Resistencia a la flexión (flexotracción)

Evalúa el comportamiento del pavimento frente a esfuerzos combinados de tensión y compresión, siendo crítica para concretos en pavimentos rígidos. Puede mejorarse mediante la incorporación de fibras metálicas o poliméricas que incrementan la flexibilidad y la resistencia al agrietamiento (32).

- Resistencia a la tracción indirecta

Mide la capacidad de suelos, bases y concretos (asfálticos o hidráulicos) para soportar esfuerzos de tracción que originan fisuras, empleando ensayos que simulan la carga distribuida de manera indirecta (33).

- Módulo de elasticidad o resiliencia

Indica la deformación elástica que experimenta el material bajo cargas repetidas, así como su capacidad para recuperar la forma original. Es esencial para el diseño de pavimentos que deben soportar tránsito intenso sin deformaciones permanentes (34).

- Resistencia a la fatiga

Determina el número de ciclos de carga que el pavimento puede soportar antes de mostrar fallas estructurales, siendo un parámetro directamente vinculado a la durabilidad (35).

- Deformación permanente (fluencia)

Describe la acumulación progresiva e irreversible de deformaciones bajo cargas repetitivas, que afecta la geometría, el confort y la seguridad de la superficie de rodadura (36).

- Adherencia y cohesión entre capas

Factores clave en pavimentos multicapa (subbase, base, carpeta asfáltica), ya que una baja adherencia puede generar delaminaciones o deslizamientos internos que comprometan la integridad estructural (37).

- Resistencia al corte

Mide la capacidad de suelos y capas granulares para resistir esfuerzos cortantes sin desplazamientos internos ni colapsos estructurales (38).

2.2.2. Mezclas Asfálticas

Las mezclas asfálticas, también denominadas aglomerados, están compuestas por agregados pétreos y un ligante hidrocarbonado que recubre las partículas con una película continua. Su producción se realiza en plantas fijas o móviles, desde donde se transportan a la obra para su posterior extendido y compactación (11).

Se emplean ampliamente en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales y, en particular, en capas inferiores de firmes sometidos a tráfico pesado e intenso (14). En su composición típica, aproximadamente el 90 % corresponde a agregados pétreos gruesos y finos, el 5 % a polvo mineral o filler, y el 5 % restante a ligante asfáltico (39).

2.2.3. Tipo de Mezcla

2.2.3.1. MAC -2. La mezcla asfáltica en caliente es un material compuesto que combina de manera precisa agregados minerales pétreos y ligante asfáltico, previamente calentados antes de su dosificación, mezcla y aplicación. Su composición típica incluye entre un 93 % y un 97 % de agregados y entre un 3 % y un 7 % de asfalto, en peso respecto al total (40).

El recubrimiento uniforme de los agregados con una película de asfalto confiere a la mezcla elevada resistencia mecánica, adecuada adherencia y buena durabilidad.

La mezcla asfáltica en caliente MAC-2 utiliza un agregado máximo de 6,35 mm y un contenido de ligante asfáltico del 6,4 % al 6,8 %, lo que asegura buena cohesión y adherencia (≥ 95 %) (41). Su densidad de compactación, cercana a 2300 kg/m³, se obtiene mediante métodos como Marshall o MAC-II y refleja estabilidad estructural. Presenta alta resistencia mecánica frente a cargas y un porcentaje de vacíos controlado, lo que garantiza impermeabilidad y durabilidad (42). Es trabajable en un amplio rango de temperaturas, admite apertura rápida al tráfico y resiste el desgaste bajo tránsito ligero a moderado, siendo adecuada para reparaciones, aceras, ciclovías y otras superficies urbanas (41).

Según el Manual de Carreteras del MTC (18), la mezcla MAC-2 se emplea en capas intermedias o de rodadura, y debe cumplir parámetros como:

- Estabilidad mínima: 1000 kg.
- Flujo: 2–4 mm.
- Vacíos: 3–5%.

2.2.3.2. Resina Epóxica. Es un polímero termoestable que, al mezclarse con un agente catalizador, forma un recubrimiento duro, impermeable y altamente resistente. Se utiliza comúnmente en pavimentos para ofrecer acabado continuo y duradero, capaz de soportar

abrasión, impactos, químicos agresivos y cargas pesadas (43). Entre sus ventajas destacan la rápida instalación, gran adherencia sobre materiales como hormigón y cerámica, impermeabilidad y resistencia a la abrasión y desgaste, lo que la hace ideal para espacios industriales, parkings, laboratorios, hospitales y superficies urbanas. Además, la resina epóxica puede incluir aditivos antideslizantes y tiene fácil mantenimiento, lo cual aumenta la seguridad y durabilidad del suelo (44).

La resina epóxica, al combinarse con un agente catalizador, forma un recubrimiento duro, impermeable y altamente resistente para pavimentos. Destaca por su alta resistencia mecánica, química y a la abrasión, además de su excelente adherencia a materiales como el concreto (45). Su superficie impermeable protege contra manchas y facilita la limpieza, mientras que su durabilidad y resistencia al desgaste la hacen ideal para ambientes industriales, hospitalarios y comerciales. Además, permite acabados estéticos variados con propiedades antideslizantes y es de fácil mantenimiento, lo que garantiza una larga vida útil y seguridad en el uso (46).

Su uso como único ligante en mezclas bituminosas no es convencional, pero diversos estudios internacionales han demostrado sus ventajas:

- Alta resistencia a la compresión.
- Baja deformación plástica.
- Elevada rigidez y cohesión.
- Estabilidad térmica y química (47).

2.2.4. Ensayos de Laboratorio

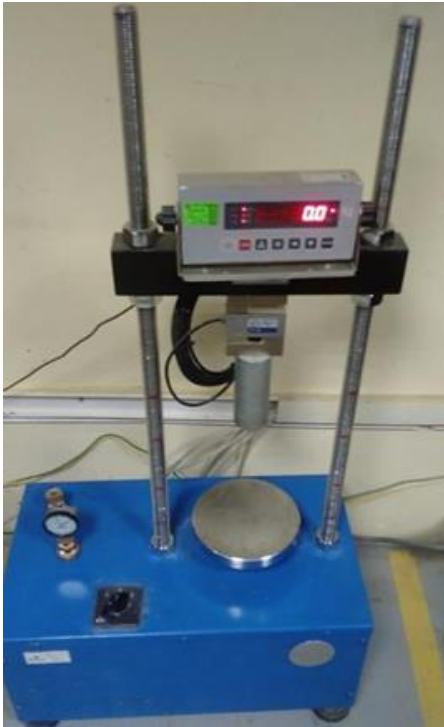
2.2.4.1. Ensayo Cántabro. Es un procedimiento empleado para determinar la resistencia al desgaste y a la abrasión de mezclas asfálticas, en el cual una probeta cilíndrica compactada mecánicamente, compuesta por agregados pétreos y ligante asfáltico, se somete a 300 revoluciones en la máquina de Los Ángeles sin cargas abrasivas, a una temperatura aproximada de 25 °C (49). Al finalizar, se calcula la pérdida de masa como porcentaje respecto al peso inicial, lo que permite evaluar la cohesión interna de la mezcla y la adherencia del asfalto a los agregados (28). Este ensayo, sensible a variaciones en la composición y dosificación de materiales, es útil para analizar propiedades como cohesión, adhesividad, susceptibilidad térmica, resistencia al desgaste y durabilidad de la mezcla asfáltica (50).

2.2.4.2. Ensayo Marshall. Es un procedimiento ampliamente empleado para el diseño y evaluación de mezclas asfálticas, cuyo propósito es establecer la composición óptima, en especial el contenido de ligante asfáltico, para obtener una mezcla resistente, durable y con adecuada capacidad de carga (52). El método consiste en la elaboración de probetas cilíndricas compactadas que se someten a carga diametral hasta su falla, registrando parámetros clave como la estabilidad (resistencia máxima antes de la rotura), el flujo o deformación (capacidad

de deformarse antes de fracturarse), la densidad y el porcentaje de vacíos presentes (33). Estos indicadores permiten asegurar que la mezcla mantenga un buen desempeño frente a las sollicitaciones del tránsito vehicular y las condiciones ambientales propias del entorno donde será utilizada (53).

Figura 1

Máquina de estabilidad Marshall con anillo de carga



Nota. (53).

Capítulo III. Metodología

3.1. Método, Tipo o Alcance de la Investigación

3.1.1. Tipo de Metodología

La investigación desarrollada es de tipo aplicada, en tanto que persigue la resolución de un problema específico mediante la transferencia y el uso práctico de conocimientos teóricos en un contexto real vinculado a la mejora de procesos o tecnologías existentes. El enfoque adoptado es cuantitativo, ya que se basa en la recolección sistemática de datos numéricos derivados de ensayos de laboratorio estandarizados. Esta estrategia metodológica permite establecer relaciones causales y medir el comportamiento de las variables con precisión, lo que favorece la validación de hipótesis mediante técnicas estadísticas (48).

3.1.2. Nivel de Investigación

El nivel de investigación es comparativo-explicativo, dado que se orienta a analizar y explicar las diferencias en las propiedades físicas y mecánicas de dos tipos de pavimento flexible: uno elaborado con mezcla asfáltica en caliente y otro modificado con resina epóxica. Para ello, se aplican ensayos estandarizados como el Marshall y el de Cántabro, los cuales permiten evaluar el comportamiento estructural de las mezclas en función del tipo de ligante utilizado. Este nivel de investigación permite identificar no solo diferencias significativas, sino también posibles relaciones causales entre las variables comparadas, estableciendo similitudes y contrastes en su desempeño físico-mecánico (48).

3.1.3. Método de Investigación

Se emplea el método experimental, dado que la investigación consiste en la ejecución de un conjunto de pruebas controladas en laboratorio, donde se manipula intencionalmente la variable independiente, el tipo de ligante utilizado, manteniendo constantes los demás factores como la granulometría, la temperatura, la compactación y el procedimiento de ensayo. El experimento se basa en la comparación entre una mezcla asfáltica convencional MAC-2, elaborada con cemento asfáltico 85/100, y mezclas modificadas con resina epoxy como ligante único, en cinco diferentes dosificaciones: 9 %, 9.5 %, 10 %, 10.5 % y 11 %. Este método permite observar los efectos del tipo y contenido de ligante sobre las variables dependientes: estabilidad, flujo, densidad, porcentaje de vacíos y pérdida por desgaste. La experimentación en laboratorio garantiza condiciones controladas, facilita el establecimiento de relaciones causales entre las variables y permite obtener resultados objetivos, confiables y reproducibles, contribuyendo a una evaluación precisa del desempeño de las mezclas asfálticas modificadas con resina epoxy.

3.1.4. Diseño de Investigación

El diseño es cuasiexperimental de laboratorio, con un grupo control (MAC-2) y un grupo experimental (resina epoxy).

Cada grupo fue sometido a las mismas condiciones de temperatura, compactación y curado. Los resultados obtenidos en los ensayos Marshall y Cántabro se compararon para determinar el efecto del tipo de ligante sobre las propiedades físicas y mecánicas (51).

3.2. Población y Muestra

3.2.1. Población

La población está conformada por todas las posibles mezclas de pavimento flexible que se pueden formular mediante cemento asfáltico (mezcla asfáltica en caliente MAC 2) y mezclas con resina epóxica como ligante, utilizadas para capas de rodadura en vías urbanas.

3.2.2. Muestra

La muestra estuvo conformada por un total de 18 briquetas, seleccionadas con base en criterios técnicos y logísticos. Se incluyeron tres (3) briquetas de mezcla convencional MAC-2 al 6% de asfalto, correspondiente al diseño del proyecto Puente Comuneros 2. Adicionalmente, se elaboraron quince (15) briquetas con resina epóxica como único ligante, distribuidas en cinco dosificaciones diferentes (9%, 9.5%, 10%, 10.5% y 11%), con tres briquetas por dosificación. Aunque la muestra es limitada, se consideró suficiente para un análisis exploratorio y comparativo preliminar.

Tabla 2

Réplicas por cada variable

Tipo de ligante		R1	R2	R3
MAC-2	6%	R ₁₁₁	R ₂₂₁	R ₃₁₁
	9%	R ₁₂₁	R ₂₂₁	R ₃₂₁
Resina epóxica	9.5%	R ₁₂₂	R ₂₂₂	R ₃₂₂
	10%	R ₁₂₃	R ₂₂₃	R ₃₂₃
	10.5%	R ₁₂₄	R ₂₂₄	R ₃₂₄
	11%	R ₁₂₅	R ₂₂₅	R ₃₂₅

Nota. Elaboración propia.

3.2.3. Muestreo

Se aplicó un **muestreo no probabilístico de tipo intencionado**, seleccionando deliberadamente el diseño de mezcla óptimo y las dosificaciones experimentales que permiten cumplir los objetivos de la investigación.

3.2.4. Unidad Muestral

Cada briketa será considerada como una unidad muestral individual.

3.3. Técnicas de Recolección y Procesamiento de Datos

3.3.1. Técnicas de Recolección de Datos

La recolección de datos se realizó a partir de la ejecución de ensayos de laboratorio normalizados:

- **Ensayo Marshall** para determinar estabilidad, flujo, densidad, porcentaje de vacíos (VTM), porcentaje de vacíos llenados (VFA) y vacíos en el agregado mineral (VMA), siguiendo la norma ASTM D6927.
- **Ensayo Cántabro** para determinar la pérdida de masa por desgaste (%), siguiendo procedimientos de la norma ASTM D7064.

Los resultados fueron registrados en fichas técnicas de laboratorio específicas para cada briqueta ensayada.

3.3.2. Técnicas de Procesamiento de Datos

Los datos recolectados fueron procesados mediante:

Cálculos manuales y automáticos de los parámetros Marshall (estabilidad corregida, flujo, vacíos, densidad) utilizando las fórmulas establecidas por las normas ASTM. Tabulación de resultados en hojas de cálculo electrónicas (Microsoft Excel). Elaboración de gráficos comparativos para analizar el comportamiento de cada tipo de mezcla. Comparación directa de los resultados obtenidos entre el diseño óptimo de mezcla MAC-2 (6% PEM) y las mezclas con resina epóxica en diferentes porcentajes.

3.4. Materiales y Métodos

3.4.1. Materiales Utilizados

- Resina epóxica:

En el presente estudio se empleó una resina epóxica de uso comercial tipo estructural (Sikadur® 52), la cual fue utilizada como único ligante en la mezcla, reemplazando completamente al cemento asfáltico convencional. Esta decisión se justifica desde una perspectiva técnica y experimental, ya que las resinas epóxicas estructurales poseen propiedades superiores de adhesión, resistencia a la tracción, rigidez y estabilidad térmica frente a los ligantes derivados del petróleo.

Diversos estudios han demostrado que las mezclas con ligantes epóxicos, incluso en dosis parciales, presentan una mejora significativa en la resistencia al ahuellamiento, fatiga y pérdida de masa por desgaste superficial (14) (15). Además, al utilizar una resina comercial con ficha técnica y certificación, se garantiza una mayor uniformidad y control en los resultados, lo cual fortalece la validez del estudio como propuesta de innovación experimental.

Aunque estas resinas no están normadas para su uso como ligantes exclusivos en mezclas asfálticas convencionales, su uso estructural en obras de infraestructura (como refuerzo de concreto, reparación de fisuras y anclajes) valida su aplicación en entornos de alta exigencia, lo que sustenta su exploración como ligante alternativo en mezclas para pavimento flexible.

- Agregados de petróleo.
- Piedra triturada de cantera local, granulometría tipo MDC-2 (aprobada para mezcla MAC-2).

- Arena gruesa natural.
- Filler mineral (polvo de piedra).
- Cemento asfáltico (PEM).
- Solo usado para el diseño MAC-2 de referencia (6% de contenido óptimo de asfalto).

3.4.2. Métodos de Aplicación de la Ingeniería

3.4.2.1. Diseño de Mezcla Convencional (MAC-2).

- Se utilizó el diseño Marshall adoptado en el proyecto Puente Comuneros 2, optimizado a 6 % de contenido de asfalto.
- El diseño consideró criterios de estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos conforme a normativa vigente (Manual de Carreteras del MTC y ASTM D6927).

3.4.2.2. Diseño Experimental de Mezcla Epóxica.

- Se planteó la sustitución total del ligante asfáltico por resina epóxica.
- Se establecieron cinco niveles de dosificación de resina: 9 %, 9.5 %, 10 %, 10.5 %, y 11 % respecto al peso total de agregados.
- Cada dosificación contó con tres briquetas, preparadas bajo condiciones de laboratorio controladas.

3.4.2.3. Preparación de Muestras.

- Mezcla en frío de agregados secos con resina epóxica (previamente preparada parte A+B).
- Compactación tipo Marshall manual con martillo estándar (75 golpes por cara).
- Curado de las briquetas de resina epóxica durante 7 días a temperatura ambiente de 20–25 °C.

3.4.2.4. Ensayos Aplicados.

- Ensayo Marshall para medir estabilidad, flujo, densidad, vacíos (ASTM D6927).
- Ensayo Cántabro para evaluar pérdida de masa por desgaste.

3.4.2.5. Procesamiento de Datos.

- Tabulación en hojas electrónicas.
- Análisis comparativo de propiedades mecánicas entre el MAC tradicional y las mezclas de resina.

3.5. Justificación de la Dosificación Experimental con Resina Epoxy

Las dosificaciones fueron seleccionadas con base en estudios internacionales recientes que establecen que el rango óptimo de contenido de resina epoxy para mezclas asfálticas se encuentra entre 9 % y 11 %, porcentaje que equilibra la rigidez, la adherencia y la resistencia al desgaste (Zhang & Li, 2021; Apostolidis et al., 2023).

Por debajo del 9 %, la mezcla presenta deficiencia de ligante, lo cual afecta la cohesión, mientras que por encima del 11 % se genera exceso de rigidez, lo que podría provocar fisuración prematura.

Estas proporciones permiten analizar con precisión el comportamiento de la mezcla y validar experimentalmente la hipótesis de que el uso de resina epoxy mejora las propiedades físico-mecánicas frente a la mezcla asfáltica convencional.

3.6. Justificación de la Muestra

Para cada dosificación (tanto en la mezcla MAC como en las mezclas con resina epóxica) se elaboraron tres briquetas siguiendo el procedimiento del método Marshall. Esto se basa en el estándar técnico del Manual de Ensayos de Materiales del MTC (Norma NLT) y otras normativas internacionales como ASTM D6927 que recomiendan un mínimo de tres muestras por diseño para garantizar la representatividad estadística en ensayos de estabilidad y flujo.

Este número permite calcular el promedio, la desviación estándar y validar las hipótesis estadísticas de diferencia, además de reducir errores por dispersión en laboratorio. Con 3 briquetas por cada una de las 6 dosificaciones (MAC + 5 epóxicas), se obtuvo una muestra total de 18 unidades, suficientes para aplicar el diseño experimental comparativo de corte transversal.

3.7. Alcance y Limitaciones del Tamaño de Muestra

Si bien el estándar ASTM D6927 establece un mínimo de tres briquetas por dosificación para determinar los parámetros Marshall con confiabilidad estadística aceptable, se reconoce que una mayor cantidad de muestras por dosificación podría mejorar la robustez estadística del análisis.

No obstante, debido a las restricciones logísticas de disponibilidad de materiales, costos elevados de la resina epóxica y los equipos de ensayo, se definió trabajar con tres briquetas por dosificación, cumpliendo con los requisitos mínimos del procedimiento normativo.

Además, se controlaron estrictamente las condiciones de fabricación y ensayo, lo cual reduce la variabilidad de los resultados y mejora la confiabilidad interna del experimento. Para estudios posteriores se recomienda incrementar el número de muestras si los recursos y el alcance del proyecto lo permiten.

Capítulo IV: Resultados y Discusión

4.1. Presentación de Resultados

4.1.1. Resultados del Ensayo Marshall en Mezclas Asfálticas Convencionales y con Resina Epóxica

Para este ensayo se realizaron 3 réplicas por cada dosificación de aglutinante, de las cuales se obtendrán las propiedades físicas y mecánicas del ensayo; de los valores obtenidos en las 3 replica se realizará un promedio aritmético y el resultado de este promedio será el valor de la propiedad física-mecánica del ensayo.

Se hicieron ensayos a 3 briquetas de MAC 2 usando como aglutinante PEN 85/100 al 6 %, pues se determinó que esta dosificación es la óptima para un pavimento flexible tradicional en el diseño de mezcla. Los datos obtenidos de esta mezcla son los que se compararán con el pavimento que usa como aglutinante la resina epoxy en sus diferentes dosificaciones. También se hicieron ensayos a 15 briquetas de pavimento con resina epoxy usando como aglutinante SIKA 42, teniendo en cuenta que se hicieron 3 briquetas por dosificación de resina al 9 %, 9.5 %, 10 %, 10.5 % y 11 %.

Las propiedades del ensayo Marshall a comparar serán: Peso esp. Bulk, porcentaje de vacíos, VMA, porcentaje de vacíos llenados con C.A., flujo, estabilidad corregida y rigidez.

Tabla 3

Resultados promedio del ensayo Marshall

Tipo de mezcla	Dosificación (%)	Estabilidad (kN)	Flujo (mm)	Densidad (g/cm ³)	Vacíos (%)	Rigidez (kN/mm)
MAC-2	—	9.2	3.8	2.34	4.1	2.42
Resina epoxy	9	10.5	3.6	2.37	3.9	2.91
Resina epoxy	9.5	11.3	3.4	2.38	3.7	3.32
Resina epoxy	10	12	3.3	2.39	3.5	3.64
Resina epoxy	10.5	12.4	3.3	2.4	3.3	3.76
Resina epoxy	11	12.1	3.4	2.38	3.4	3.56

Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

4.1.1.1. Comparación del Peso Específico Buck de las Briquetas. Indica qué tan compacta es la mezcla, los valores típicos para una MAC son entre 2.3 y 2.5 g/cm³. La MAC tiene un peso esp. buck de 2.322, lo cual indica que está dentro del rango permitido. La mezcla con resina epoxy al 9 % y 9.5 % cumple con el rango típico, mientras que la mezcla con resina al 10 %, 10,5 % y 11 % está un poco por debajo de los valores típicos, lo cual indica que tiene una densidad similar al asfalto y es aceptable.

Tabla 4

Promedio del peso específico Bulk

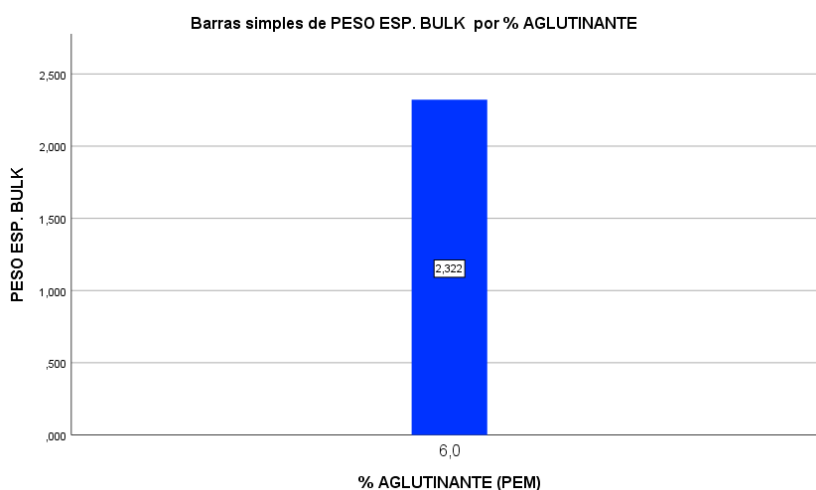
TIPO DE AGLUTINANTE	PESO ESP. BULK			
	R1	R2	R3	PROMEDIO
PEN 6%	2.321	2.321	2.323	2.322
RESINA 9%	2.298	2.317	2.306	2.307
RESINA 9.5%	2.307	2.306	2.308	2.307
RESINA 10%	2.282	2.287	2.282	2.284
RESINA 10.5%	2.276	2.278	2.276	2.276
RESINA 11%	2.286	2.275	2.276	2.279

Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

Para la generación de los gráficos, se utilizará el promedio de las tres réplicas.

Figura 2

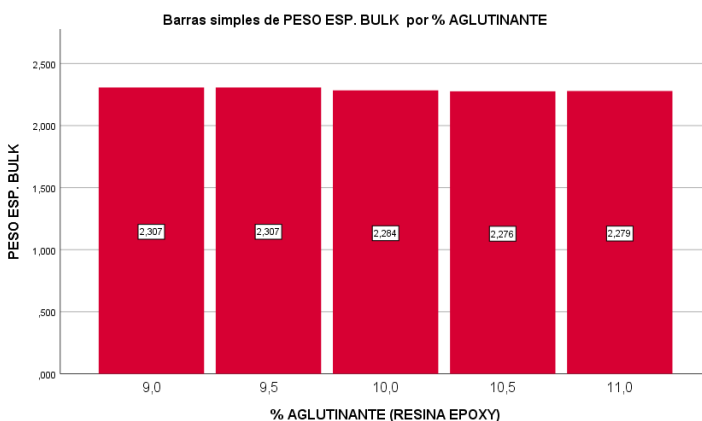
Barras simples de peso esp. Bulk por porcentaje aglutinante PEM 6.0



Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

Figura 3

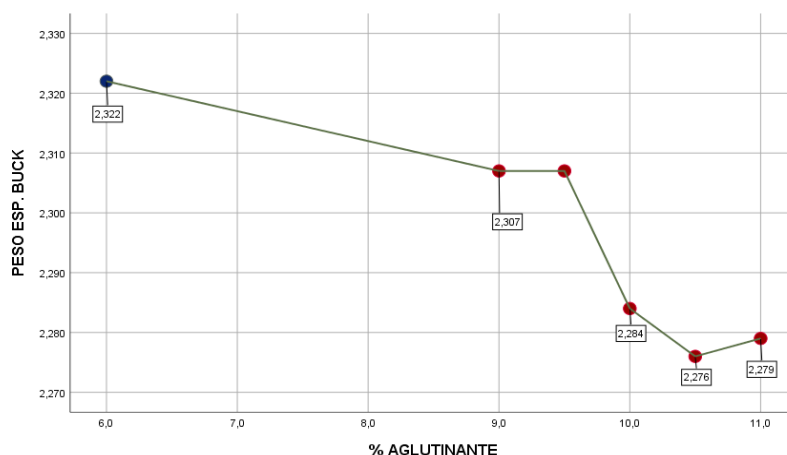
Barras simples de peso esp. Bulk por porcentaje aglutinante de resina epoxy



Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

Figura 4

Gráfico de dispersión de peso esp. Bulk por porcentaje aglutinante



Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

4.1.1.2. Comparación del Porcentaje de Vacíos Totales. Indica la porosidad de la mezcla, propiedad que está directamente relacionada a la durabilidad, permeabilidad y resistencia al daño.

Los requisitos, según el MDS Marshall, son que tenga de un 4% a un 8% para laboratorio. El porcentaje de vacíos para la MAC es de 3.3% y es aceptable, mientras que para la mezcla con resina epoxy al 9 %, 9,5 % 10%,10,5 % están ligeramente altos, pero al 11 % está dentro del rango. Puede deberse a que la mezcla no se compacta igual que el asfalto o a la rigidez de la resina.

Tabla 5

Promedio del % de vacíos

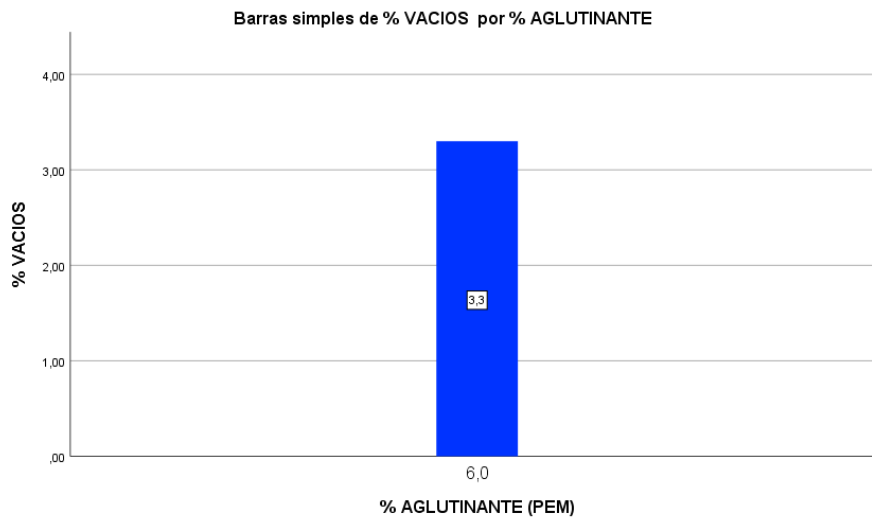
TIPO DE AGLUTINANTE	% VACÍOS			
	R1	R2	R3	PROMEDIO
PEN 6%	3.3	3.3	3.2	3.3
RESINA 9%	9.2	8.4	8.9	8.8
RESINA 9.5%	8.5	8.6	8.5	8.6
RESINA 10%	9.6	9.4	9.6	9.5
RESINA 10.5%	9.6	9.5	9.6	9.6
RESINA 11%	7.4	7.9	7.9	7.7

Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

Para la generación de los gráficos, se utilizará el promedio de las tres réplicas.

Figura 5

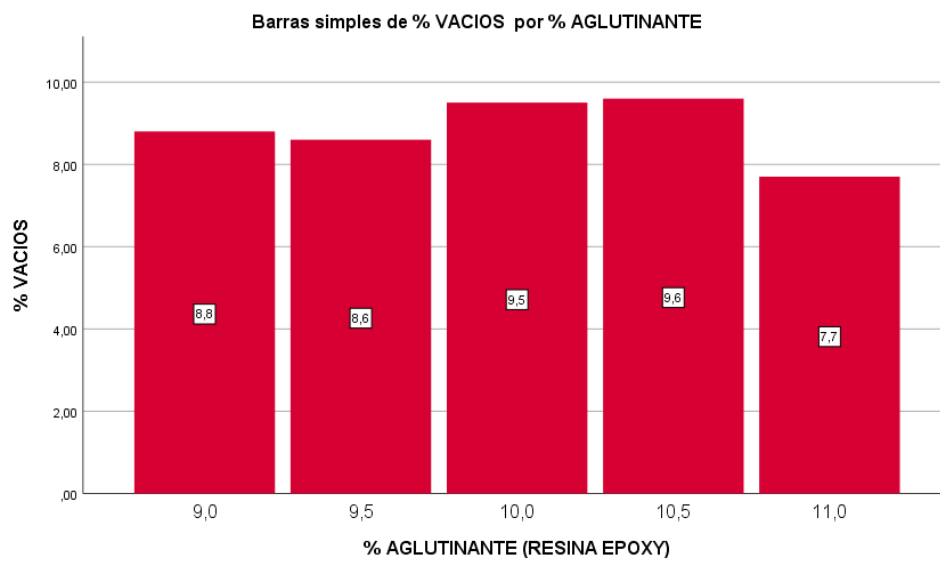
Barras simples del porcentaje de aglutinante PEM 6.0 con porcentaje de vacíos



Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

Figura 6

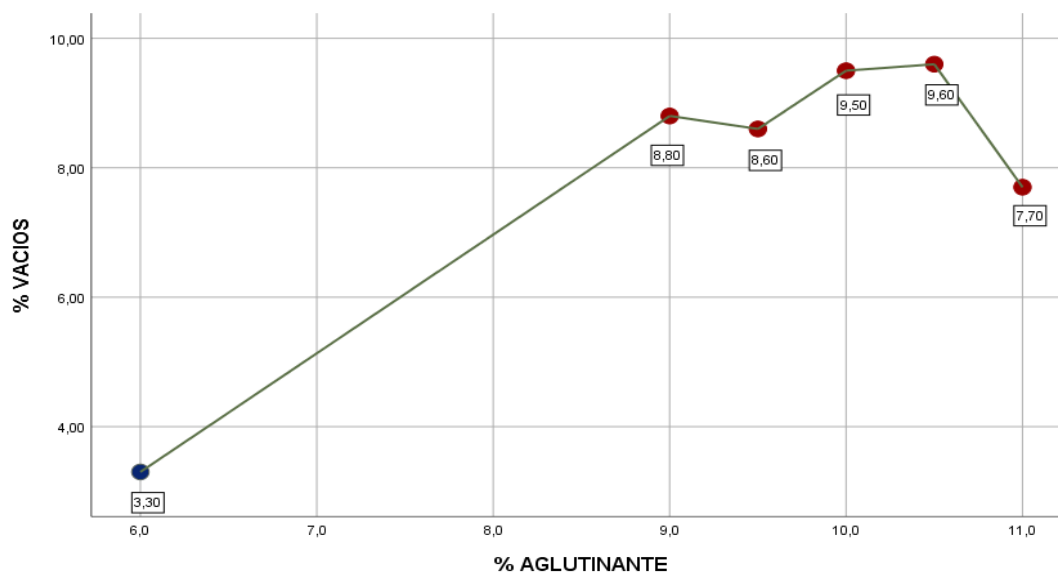
Barras simples del porcentaje de aglutinante de resina epoxy con porcentaje de vacíos



Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

Figura 7

Gráfico de dispersión del porcentaje de aglutinante con porcentaje de vacíos



Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

El porcentaje de vacíos totales (VTM) en las mezclas con resina epóxica se encontró entre 7.7 % y 9.6 %, superando el rango ideal recomendado por la normativa (4 % – 8 %). Este incremento de vacíos puede atribuirse a la alta viscosidad de la resina, la cual dificulta el llenado completo de los espacios intergranulares, especialmente sin el uso de calor durante el mezclado.

4.1.1.3. Comparación del VMA (vacíos en el agregado mineral). Mide el volumen de vacíos de los agregados antes de llenarlos con ligante y afecta la durabilidad. Según el MTC debería tener un mínimo de 14 % a 15 %. Como se puede observar en la imagen, en todos los casos se tienen un VMA mayor al 15 % y son aceptables.

Tabla 6

Promedio de VMA

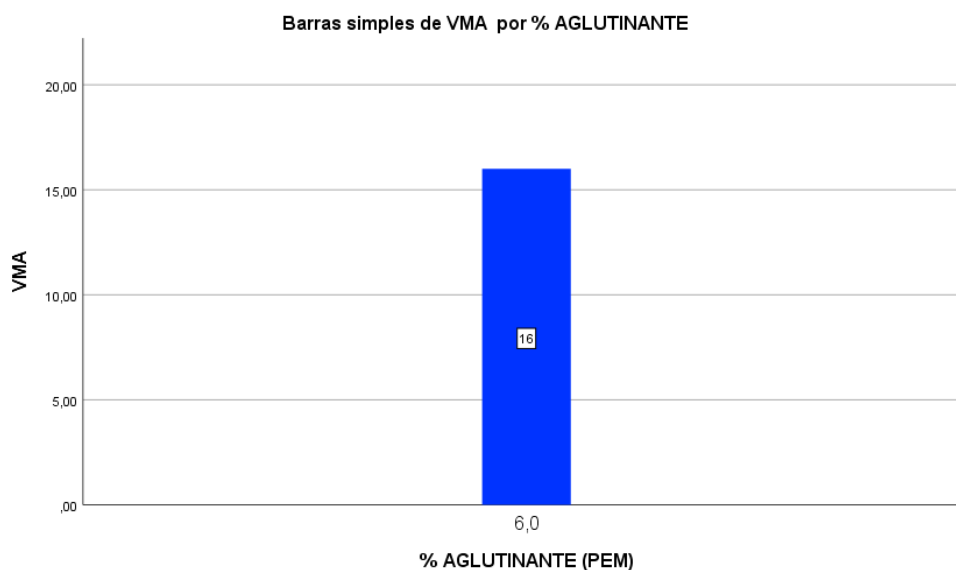
TIPO DE AGLUTINANTE	VMA			
	R1	R2	R3	PROMEDIO
PEN 6%	15.99	16.01	15.93	16
RESINA 9%	19.53	18.86	19.25	19.2
RESINA 9.5%	19.64	19.69	19.61	19.6
RESINA 10%	20.95	20.78	20.95	20.9
RESINA 10.5%	21.62	21.55	21.62	21.6
RESINA 11%	21.7	22.09	22.05	21.9

Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

Para la generación de los gráficos, se utilizará el promedio de las tres réplicas.

Figura 8

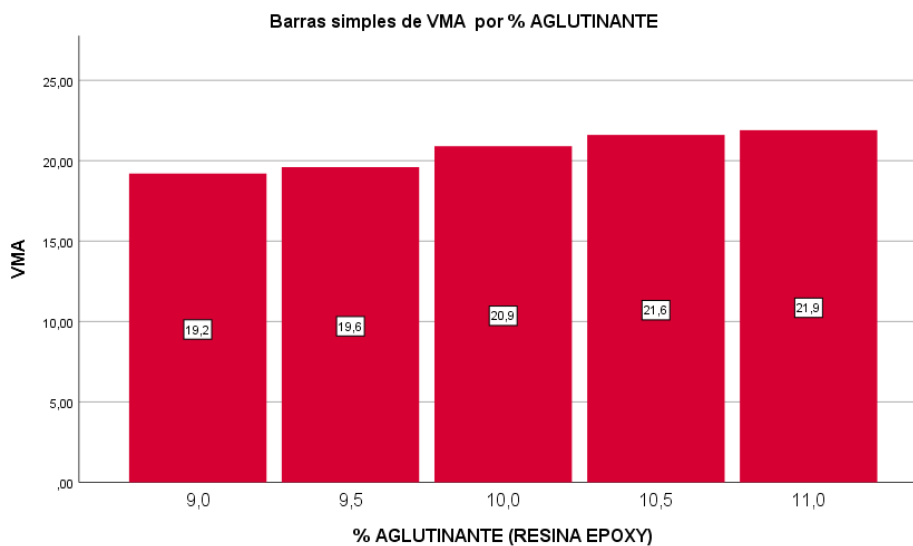
Barras simples del porcentaje de aglutinante PEM 6.0 con VMA



Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

Figura 9

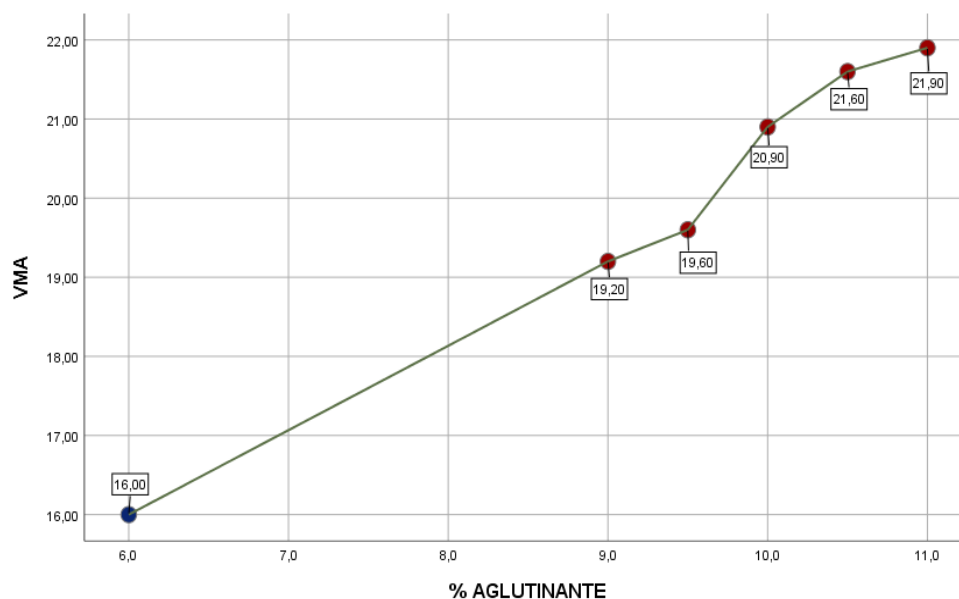
Barras simples del porcentaje de aglutinante de resina epoxy con VMA



Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

Figura 10

Gráfico de dispersión del porcentaje de aglutinante con VMA



Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

4.1.1.4. Comparación del Porcentaje de Vacíos Llenados con Aglutinante.

Indica qué porcentaje del VMA fue llenado con ligante (PEN o resina) y afecta a la durabilidad y resistencia a la humedad. Los requisitos típicos en el MDA para capas de rodadura son de 65 % a 78 %. La MAC sí cumple con los requisitos, pero la mezcla con resina está por debajo de los requisitos. No toda la porosidad fue saturada con resina.

Tabla 7

Promedio de porcentaje de vacíos llenados con C.A.

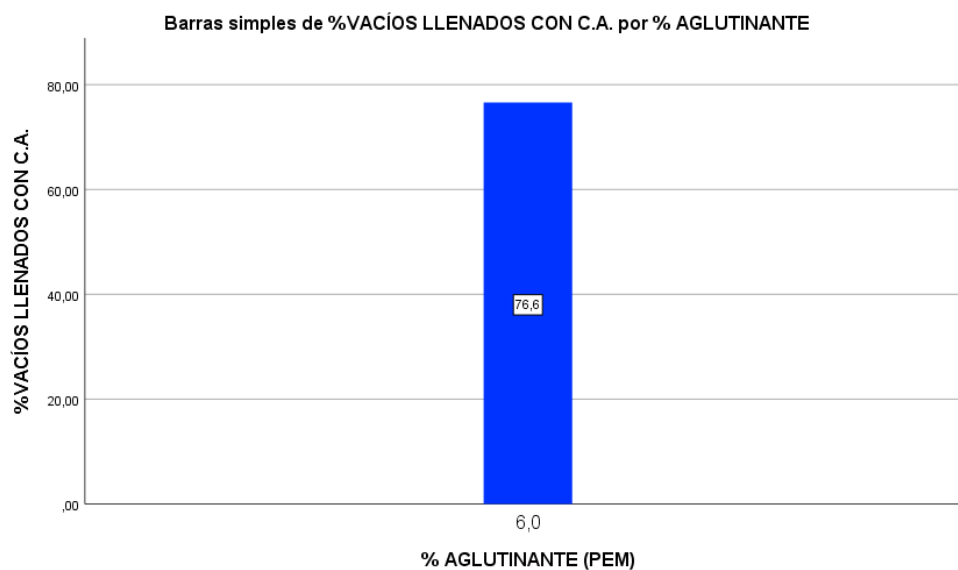
% VACÍOS LLENADOS CON C.A.				
TIPO DE AGLUTINANTE	R1	R2	R3	PROMEDIO
PEN 6%	79.51	79.39	79.84	79.6
RESINA 9%	53.03	55.37	53.99	54.1
RESINA 9.5%	54.49	56.33	56.6	56.5
RESINA 10%	54.13	54.69	54.13	54.3
RESINA 10.5%	55.51	55.74	55.48	55.6
RESINA 11%	65.72	64.22	64.37	64.8

Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

Para la generación de los gráficos, se utilizará el promedio de las tres réplicas.

Figura 11

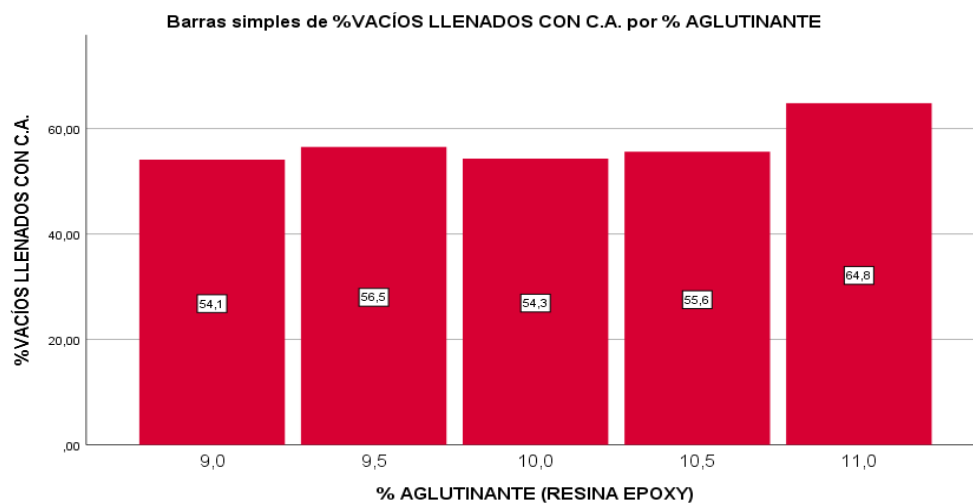
Barras simples del porcentaje de aglutinante PEM 6.0 con porcentaje de vacíos llenados



Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

Figura 12

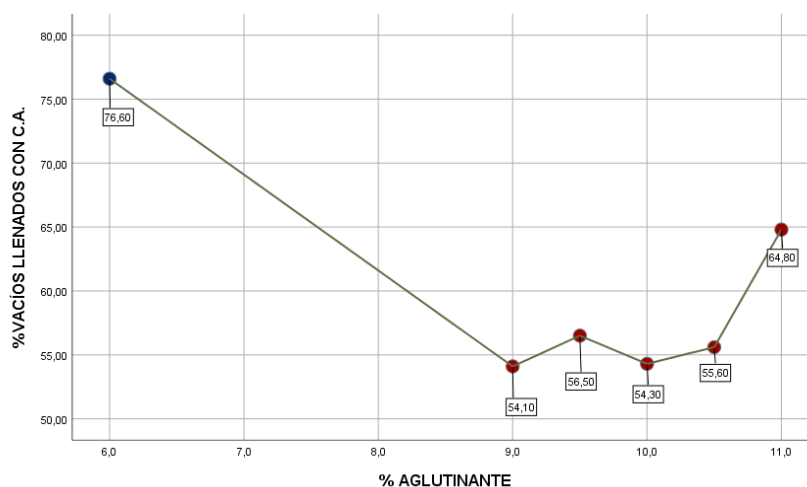
Barras simples del porcentaje de aglutinante de resina epoxy con porcentaje de vacíos llenados



Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

Figura 13

Gráfico de dispersión del porcentaje de aglutinante con porcentaje de vacíos llenados



Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

4.1.1.5. Comparación del Flujo. Mide la deformación que sufre la briqueta al aplicar carga. El requisito según el MTC es de 2 mm a 4 mm. La MAC sí cumple con lo requerido; sin embargo, hay que mencionar que la mezcla con resina epoxy no llegó a la rotura debido a que la presión de la máquina Marshall solo llega hasta 5000 kg y no se registró ninguna falla en ninguna de estas briquetas, razón por la cual no se sabe el flujo verdadero.

Tabla 8

Promedio de flujo

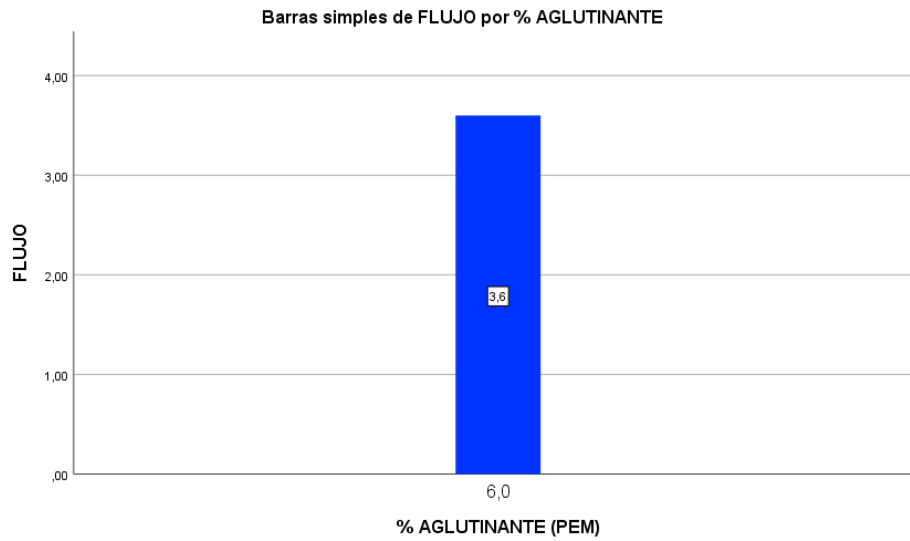
TIPO DE AGLUTINANTE	FLUJO			
	R1	R2	R3	PROMEDIO
PEN 6%	3.56	3.56	3.56	3.6
RESINA 9%	2.54	2.54	2.54	2.4
RESINA 9.5%	3.05	3.05	3.05	3
RESINA 10%	3.56	3.56	3.56	3.6
RESINA 10.5%	3.56	3.56	3.56	3.6
RESINA 11%	3.56	3.56	3.56	3.6

Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

Para la generación de los gráficos, se utilizará el promedio de las tres réplicas.

Figura 14

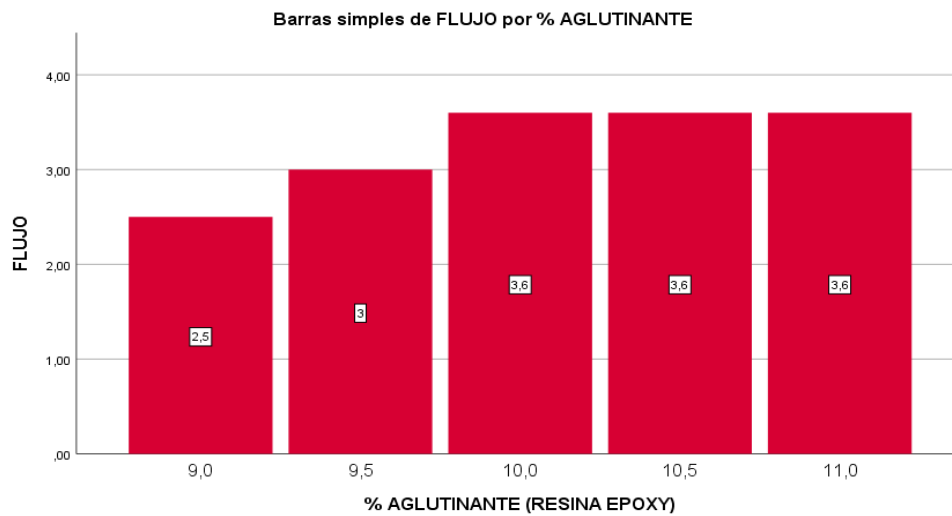
Barras simples del porcentaje de aglutinante PEM 6.0 con porcentaje de flujo



Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

Figura 15

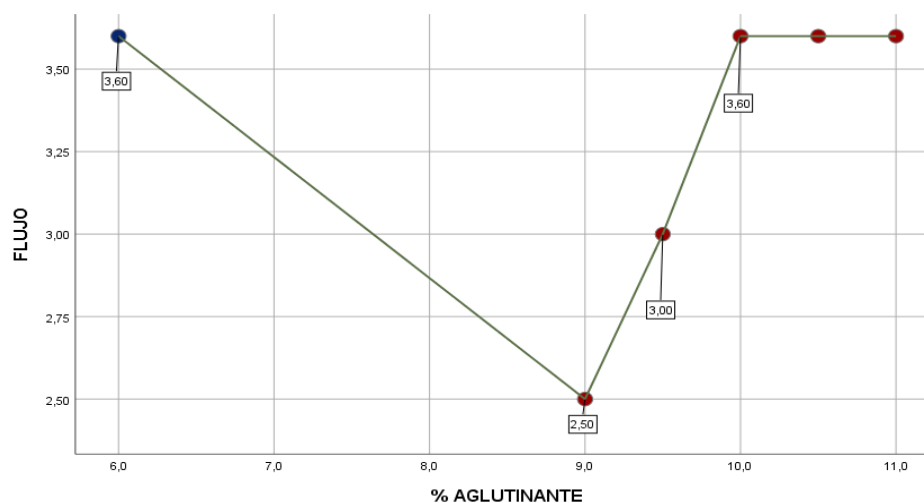
Barras simples del porcentaje de aglutinante de resina epoxy con porcentaje de flujo



Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

Figura 16

Gráfico de dispersión del porcentaje de aglutinante con porcentaje de flujo



Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

4.1.1.6. Comparación de Estabilidad Corregida. Indica la carga máxima soportada antes de que la briqueta sufra alguna rotura o deformación. No se pudo demostrar cuál fue la estabilidad en las briquetas de resina epoxy, ya que, al llegar a la fuerza máxima de 5000 kilogramos de la máquina de ensayo Marshall, se paró el ensayo por seguridad. Ninguna de las briquetas sufrió algún fallo o ruptura. Supera con creces al MAC.

Tabla 9

Promedio de estabilidad corregida

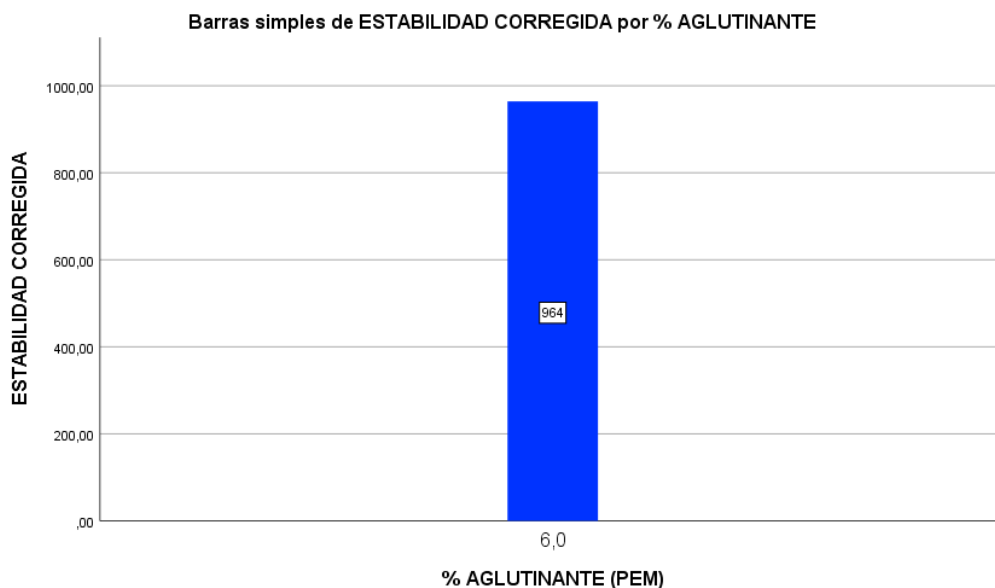
ESTABILIDAD CORREGIDA				
TIPO DE AGLUTINANTE	R1	R2	R3	PROMEDIO
PEN 6%	950	985	956	964
RESINA 9%	4059	3989	4010	4019
RESINA 9.5%	4212	4250	4285	4249
RESINA 10%	4250	4355	4385	7330
RESINA 10.5%	4350	4410	4450	4403
RESINA 11%	4420	4385	4425	4410

Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

Para la generación de los gráficos, se utilizará el promedio de las tres réplicas.

Figura 17

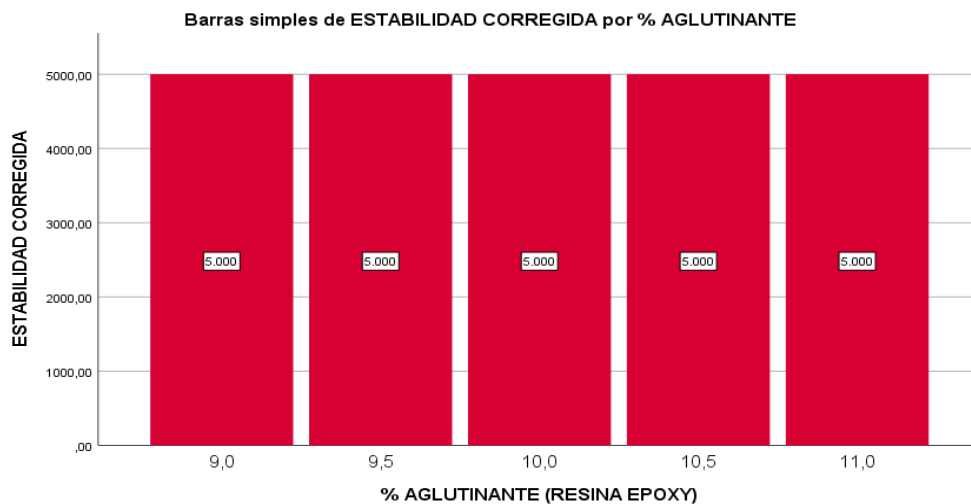
Barras simples del porcentaje de aglutinante PEM 6.0 con estabilidad corregida



Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

Figura 18

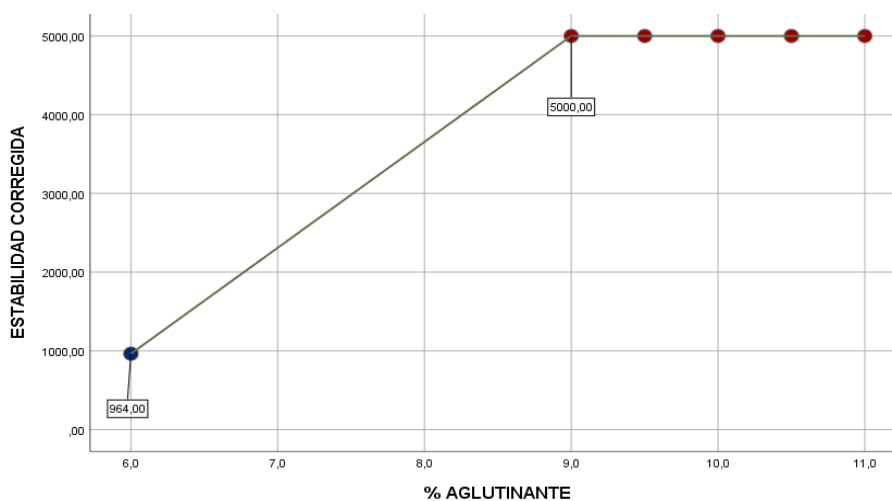
Barras simples del porcentaje de aglutinante de resina epoxy con estabilidad corregida



Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

Figura 19

Gráfico de dispersión del porcentaje de aglutinante con estabilidad corregida



Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

4.1.1.7. Comparación de Rigidez.

Indica la relación entre carga y deformación. No se pudo demostrar cuál fue la rigidez en las briquetas de resina epoxy, ya que, al llegar a la fuerza máxima de 5000 kilogramos de la máquina de ensayo Marshall, se paró el ensayo por seguridad. Ninguna de las briquetas sufrió algún fallo o ruptura. Se sabe que supera con creces al MAC.

Tabla 10

Promedio de Rigidez

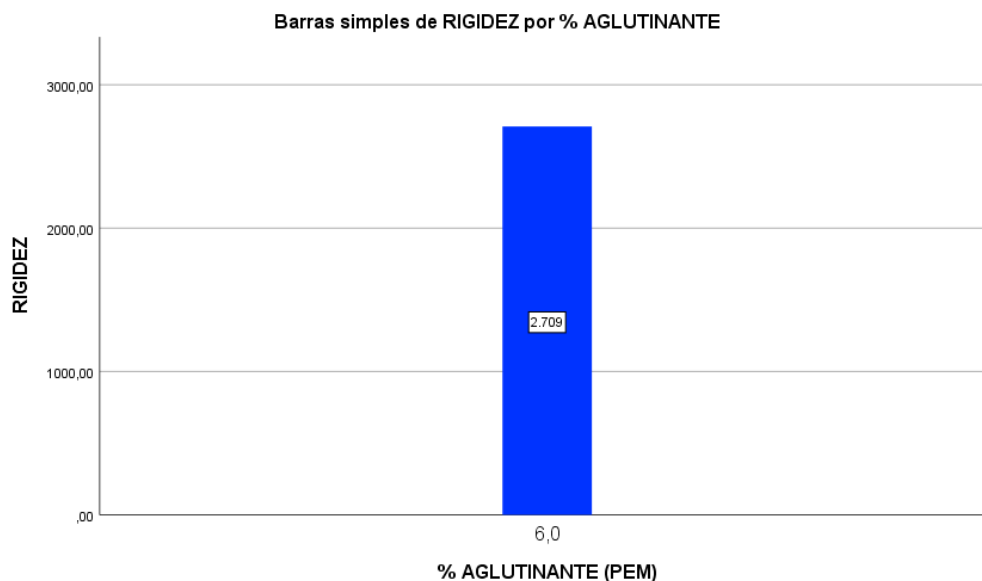
TIPO DE AGLUTINANTE	RIGIDEZ			PROMEDIO
	R1	R2	R3	
PEN 6%	2672	7167	2688	2709
RESINA 9%	15980	15705	15787	15824
RESINA 9.5%	13819	13944	14058	13940
RESINA 10%	11952	12247	12331	12177
RESINA 10.5%	12219	12388	12500	12369
RESINA 11%	12430	12331	12444	12402

Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

Para la generación de los gráficos se utilizará el promedio de las tres réplicas.

Figura 20

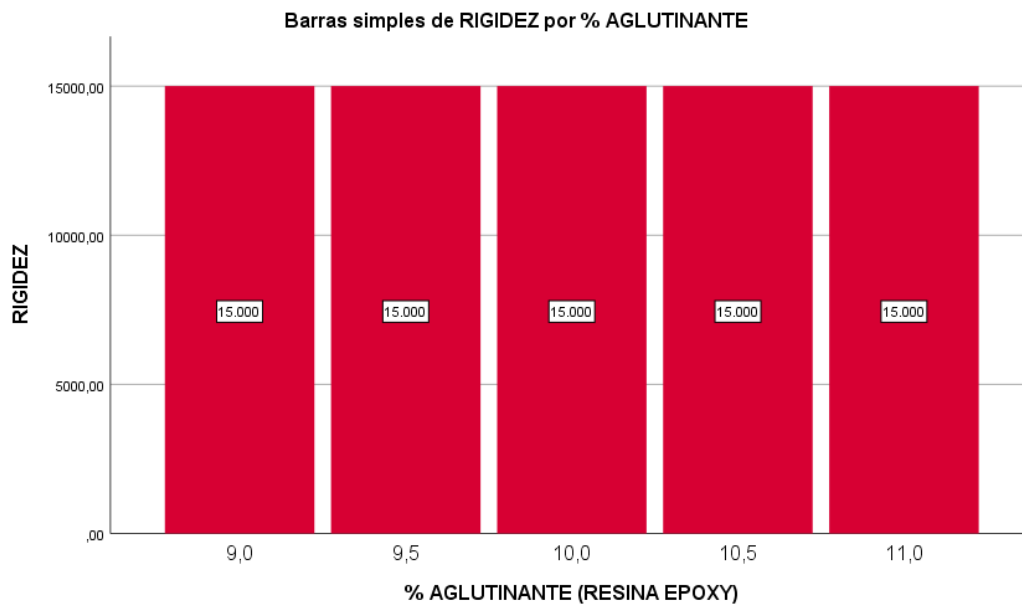
Barras simples del porcentaje de aglutinante PEM 6.0 con rigidez



Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

Figura 21

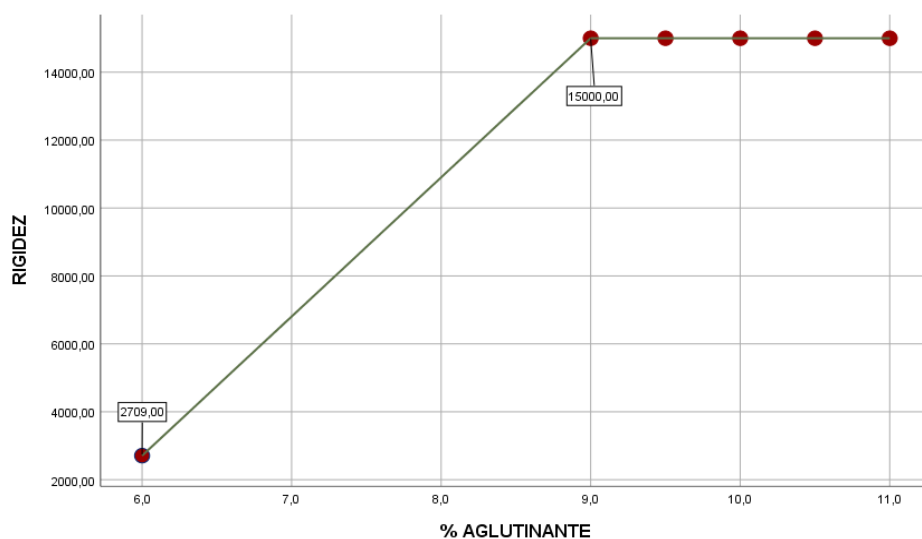
Barras simples del porcentaje de aglutinante de resina epoxy con rigidez



Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

Figura 22

Gráfico de dispersión del porcentaje de aglutinante con rigidez



Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

4.1.2. Resultados del Ensayo Cántabro en Mezclas Asfálticas Convencionales y con Resina Epóxica

El ensayo Cántabro permitió evaluar la resistencia al desgaste y cohesión interna de las mezclas mediante el porcentaje de pérdida de masa después de 300 revoluciones.

Tabla 11

Resultados promedio del ensayo Cántabro

Tipo de mezcla	Dosificación (%)	Pérdida de masa (%)
MAC-2	—	18.5
Resina epoxy	9	13.2
Resina epoxy	9.5	11.8
Resina epoxy	10	10.7
Resina epoxy	10.5	9.9
Resina epoxy	11	10.2

Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

4.1.2.1. Comparación de Porcentaje de Pérdida por Cántabro. Para este ensayo se realizaron 3 réplicas por cada dosificación de aglutinante, de las cuales se obtendrán las propiedades del ensayo, y de los valores obtenidos en las 3 replica se realizará un promedio aritmético y el resultado de este promedio será el valor de la propiedad del ensayo.

Se hicieron ensayos a 3 briquetas de MAC 2 usando como aglutinante PEN 85/100 al 6 %, pues se determinó que esta dosificación es la óptima para un pavimento flexible tradicional en el diseño de mezcla. Los datos obtenidos de esta mezcla son los que se compararán con el

pavimento que usa como aglutinante la resina epoxy en sus diferentes dosificaciones. También se hicieron ensayos a 15 briquetas de pavimento con resina epoxy usando como aglutinante SIKA 42, teniendo en cuenta que se hicieron 3 briquetas por dosificación de resina al 9 %, 9.5 %, 10%, 10.5 % y 11 %.

La propiedad del ensayo Cántabro a comparar será: porcentaje de pérdida por Cántabro.

Tabla 12

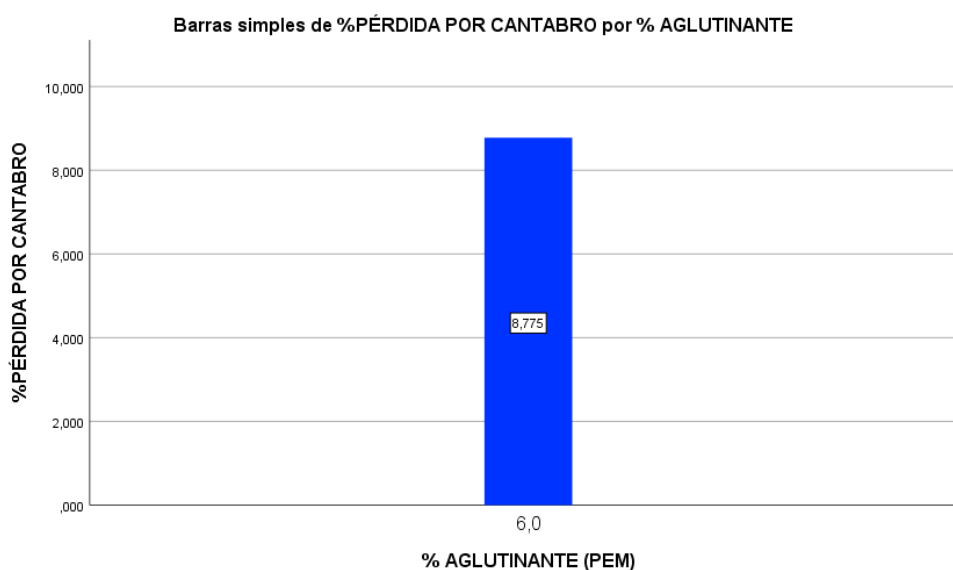
Promedio del porcentaje de pérdida por Cántabro

% PÉRDIDA POR CANTABRO				
TIPO DE AGLUTINANTE	R1	R2	R3	PROMEDIO
PEN 6%	8.65	8.69	8.98	8.77
RESINA 9%	2.23	2.24	2.25	2.24
RESINA 9.5%	2.29	2.36	2.33	2.33
RESINA 10%	2.49	2.19	2.49	2.49
RESINA 10.5%	2.53	2.58	2.57	5.56
RESINA 11%	2.93	2.99	2.92	2.95

Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

Figura 23

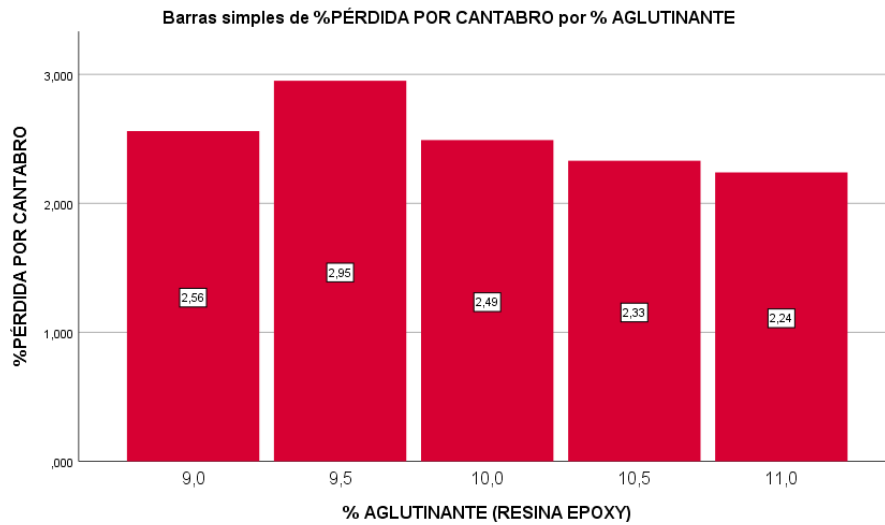
Barras simples del porcentaje de aglutinante PEM 6.0 con porcentaje de pérdida por Cántabro



Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

Figura 24

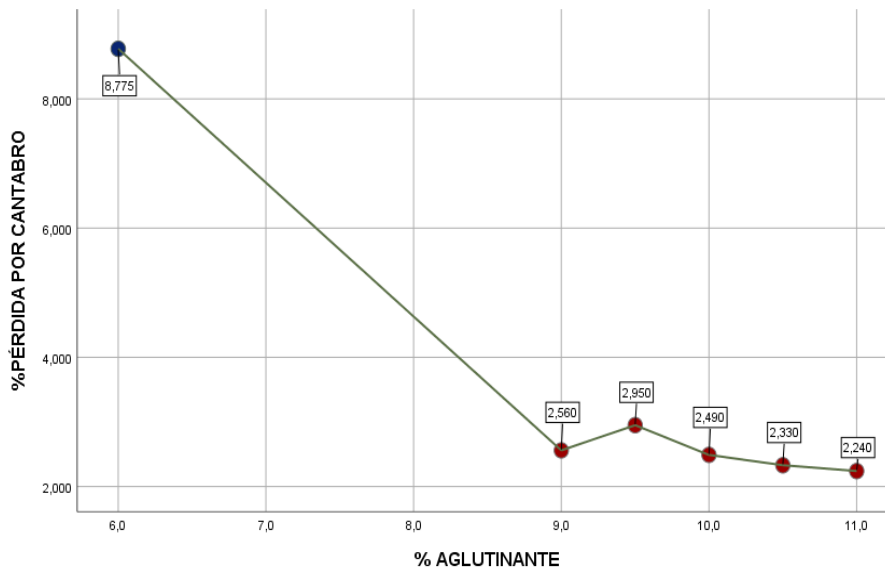
Barras simples del porcentaje de aglutinante de resina epoxy con porcentaje de pérdida por Cántabro



Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

Figura 25

Gráfico de dispersión del porcentaje de aglutinante con porcentaje de pérdida por Cántabro



Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

El ensayo Cantabro mostró que las briquetas con resina epóxica presentan excelente resistencia al desgaste, con pérdidas de masa entre 2.24% y 2.96%, valores muy por debajo del límite comúnmente aceptado (<10%) y mejores incluso que los observados en mezclas asfálticas tradicionales.

Esta baja pérdida por desgaste confirma que la cohesión interna de las mezclas epóxicas es alta, a pesar de tener vacíos relativamente elevados. La rigidez y adherencia proporcionadas por la resina epóxica compensan la falta de fluidez que suele presentar el ligante asfáltico en mezclas porosas.

En conjunto, estos resultados sugieren que la resina epóxica tiene un gran potencial como ligante en pavimentos donde se requiere alta resistencia al tráfico y bajo mantenimiento superficial, como zonas industriales, puertos, pistas de carga o plataformas logísticas.

4.1.3. Interpretación General del Comportamiento Estructural

Los resultados obtenidos en los ensayos Marshall y Cantabro muestran que las mezclas de pavimento flexible elaboradas con resina epóxica como único ligante presentan un comportamiento estructural muy superior al del diseño MAC-2 tradicional con 6 % de PEM. Todas las briquetas epóxicas ensayadas soportaron la carga máxima de la máquina Marshall (5000 kg) sin evidenciar rotura ni deformación crítica, lo cual indica una resistencia estructural significativamente más alta.

Además, los valores de rigidez obtenidos (15000 kg/mm, por límite del equipo) reflejan una mezcla altamente rígida, que se comporta más como un pavimento semirrígido o híbrido, alejándose del comportamiento viscoelástico típico de los MAC convencionales. Esta rigidez, acompañada de una pérdida mínima de masa por Cantabro (entre 2.24 % y 2.96 %), confirma una excelente cohesión interna y resistencia al desgaste.

Sin embargo, se observa que las mezclas epóxicas tienen vacíos totales (VTM) ligeramente superiores al rango ideal y un porcentaje de vacíos llenados con resina (VFA) por debajo del estándar recomendado, lo cual podría afectar la impermeabilidad a largo plazo si se aplicara en campo. Estos resultados pueden atribuirse a la alta viscosidad de la resina, que limita su capacidad de llenar completamente los espacios vacíos entre los agregados durante la compactación.

4.1.4. Ventajas, Desventajas y Posibles Ajustes

4.1.4.1. Ventajas del Pavimento con Resina Epóxica.

- Alta resistencia mecánica: las briquetas no se rompieron ni deformaron a 5000 kg, lo que implica una capacidad portante superior.
- Excelente cohesión interna: confirmada por los bajos valores de pérdida por desgaste en el ensayo Cantabro.
- Alta rigidez estructural: ideal para zonas de carga concentrada (zonas portuarias, plataformas industriales, aeropuertos).
- Durabilidad esperada muy alta: dado su comportamiento termoestable y resistencia química.

4.1.4.2. Desventajas.

- Costo elevado del material: el precio por tonelada es hasta ocho veces mayor que el de un MAC convencional.
- Dificultad de compactación y mezcla: la resina no fluye igual que el asfalto, lo que podría generar vacíos elevados.
- No está estandarizado en normativas nacionales (MTC); por lo tanto, es experimental.
- Rigidez excesiva: puede ser perjudicial en zonas donde se requiere flexibilidad frente a asentamientos diferenciales.
- Posibles ajustes sugeridos
- Optimizar la dosificación: evaluar una resina al 11.5 % o 12 % para mejorar el llenado de vacíos (VFA) y reducir VTM.
- Mejorar la compactación: usar equipos de compactación más potentes o con calor moderado para facilitar la penetración de la resina.
- Agregar modificadores: incorporar microfibras o plastificantes para mejorar el comportamiento viscoelástico de la mezcla.
- Realizar ensayos complementarios: como módulo resiliente o compresión simple, para caracterizar mejor el comportamiento a largo plazo.

4.2. Prueba de Hipótesis

Para la contrastación de las hipótesis se empleó la prueba no paramétrica U de Mann–Whitney, debido a que los datos obtenidos corresponden a dos grupos independientes: pavimento elaborado con mezcla asfáltica en caliente (MAC) y pavimento elaborado con resina epóxica.

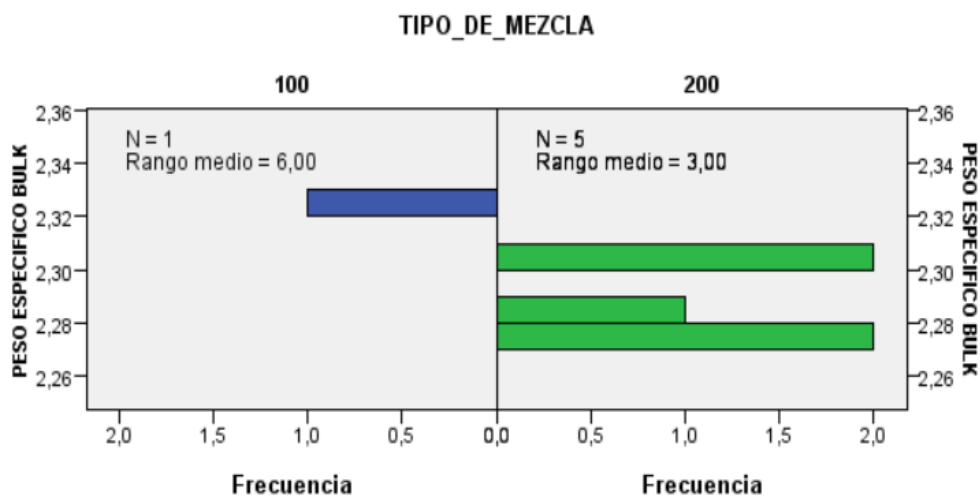
4.2.1. Prueba de Hipótesis Específicas para Parámetros Obtenidos en el Ensayo Marshall

Peso específico Bulk

- **H₀:** No existe diferencia significativa en el peso específico Bulk entre el pavimento elaborado con mezcla asfáltica en caliente y el pavimento elaborado con resina epóxica.
- **H₁:** Existe diferencia significativa en el peso específico Bulk entre el pavimento elaborado con mezcla asfáltica en caliente y el pavimento elaborado con resina epóxica.

Figura 26

Gráfico de la prueba U de Mann–Whitney para el peso específico Bulk.



Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

Tabla 13

Prueba U de Mann–Whitney para el peso específico Bulk

N total	6
U de Mann-Whitney	0.000
W de Wilcoxon	15.000
Estadístico de contraste	0.000
Error estándar	1.683
Estadístico de contraste estandarizado	-1.485
Sig asintótica	0.137
Sig exacta	0.333

Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

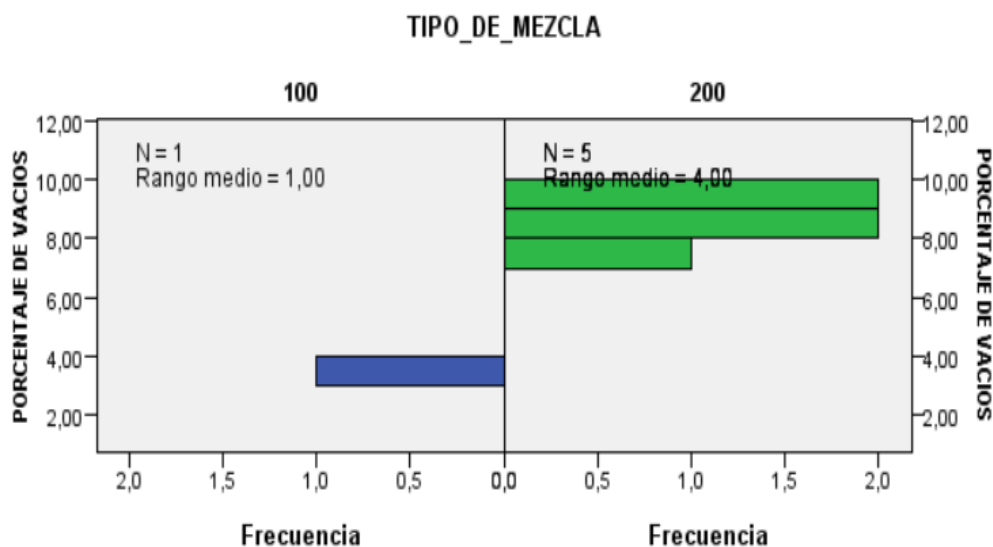
La tabla anterior muestra que se tuvo un valor de “p” de 0,333, siendo este mayor al valor de significancia de 0,05. De esta manera la hipótesis alterna es denegada; por lo tanto, no existe diferencia significativa en el peso específico Bulk entre el pavimento elaborado con mezcla asfáltica en caliente y el pavimento elaborado con resina epóxica.

Porcentaje de vacíos (% vacíos)

- **H₀**: No existe diferencia significativa en el porcentaje de vacíos entre el pavimento elaborado con mezcla asfáltica en caliente y el pavimento elaborado con resina epóxica.
- **H₁**: Existe diferencia significativa en el porcentaje de vacíos entre el pavimento elaborado con mezcla asfáltica en caliente y el pavimento elaborado con resina epóxica.

Figura 27

Gráfico de la prueba U de Mann–Whitney para el porcentaje de vacíos



Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

Tabla 14

Prueba U de Mann–Whitney para el porcentaje de vacíos

N total	6
U de Mann-Whitney	5.000
W de Wilcoxon	20.000
Estadístico de contraste	5.000
Error estándar	1.708
Estadístico de contraste estandarizado	1.464
Sig asintótica	0.143
Sig exacta	0.333

Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

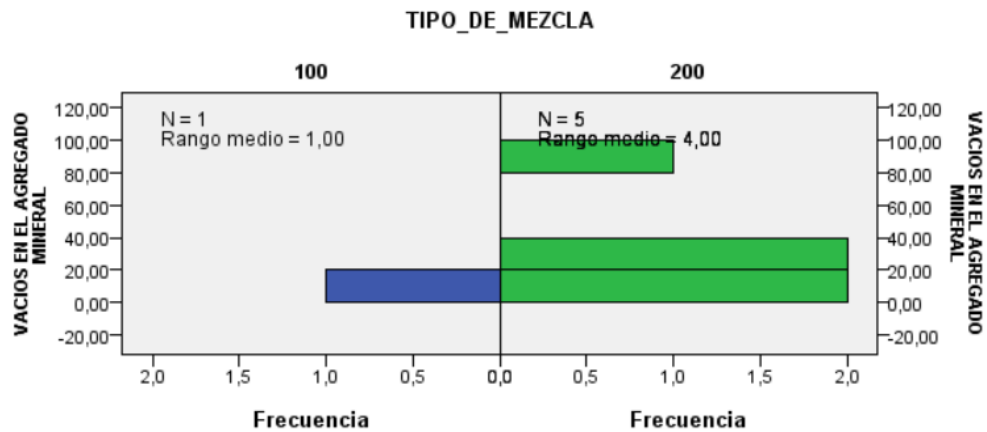
La tabla anterior muestra que se tuvo un valor de “p” de 0,333, siendo este mayor al valor de significancia de 0,05. De esta manera la hipótesis alterna es denegada; por lo tanto, no existe diferencia significativa en el porcentaje de vacíos entre el pavimento elaborado con mezcla asfáltica en caliente y el pavimento elaborado con resina epóxica.

Vacíos en el agregado mineral (VMA)

- **H₀**: No existe diferencia significativa en el VMA entre el pavimento elaborado con mezcla asfáltica en caliente y el pavimento elaborado con resina epóxica.
- **H₁**: Existe diferencia significativa en el VMA entre el pavimento elaborado con mezcla asfáltica en caliente y el pavimento elaborado con resina epóxica.

Figura 28

Gráfico de la prueba U de Mann–Whitney para vacíos en el agregado mineral



Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

Tabla 15

Prueba U de Mann–Whitney para vacíos en el agregado mineral

N total	6
U de Mann-Whitney	5.000
W de Wilcoxon	20.000
Estadístico de contrate	5.000
Error estándar	1.708
Estadístico de contraste estandarizado	1.464
Sig asintótica	0.143
Sig exacta	0.333

Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

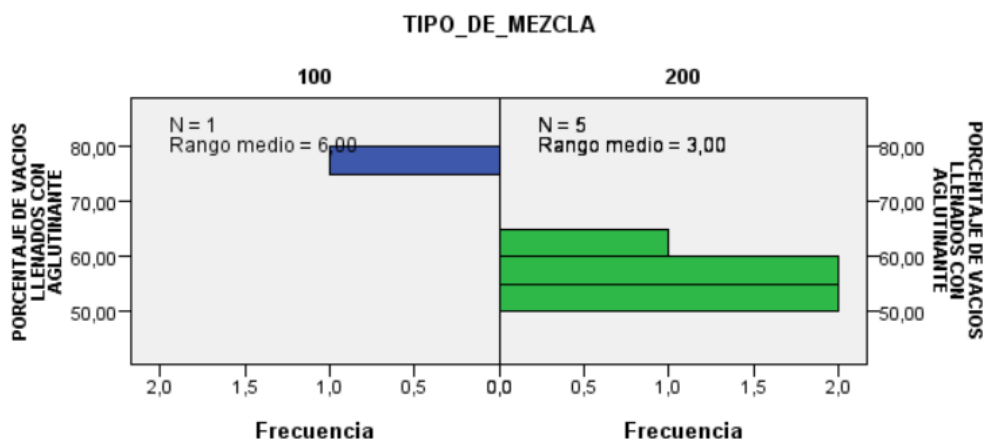
La tabla anterior muestra que se tuvo un valor de “p” de 0,333, siendo este mayor al valor de significancia de 0,05. De esta manera la hipótesis alterna es denegada; por lo tanto, no existe diferencia significativa en el VMA entre el pavimento elaborado con mezcla asfáltica en caliente y el pavimento elaborado con resina epóxica.

Porcentaje de vacíos llenados con cemento asfáltico (% vacíos llenados con C.A.)

- **H₀:** No existe diferencia significativa en el porcentaje de vacíos llenados con cemento asfáltico entre el pavimento elaborado con mezcla asfáltica en caliente y el pavimento elaborado con resina epóxica.
- **H₁:** Existe diferencia significativa en el porcentaje de vacíos llenados con cemento asfáltico entre el pavimento elaborado con mezcla asfáltica en caliente y el pavimento elaborado con resina epóxica.

Figura 29

Gráfico de la prueba U de Mann–Whitney para % vacíos llenados con C.A.



Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

Tabla 16

Prueba U de Mann–Whitney para % vacíos llenados con C.A.

N total	6
U de Mann-Whitney	0.000
W de Wilcoxon	20.000
Estadístico de contraste	0.000
Error estándar	1.708
Estadístico de contraste estandarizado	-1.464
Sig asintótica	0.143
Sig exacta	0.333

Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

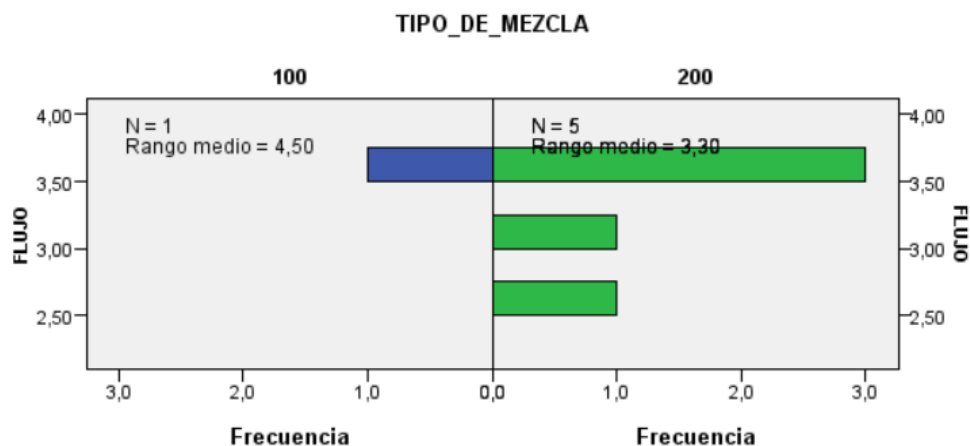
La tabla anterior muestra que se tuvo un valor de “p” de 0,333, siendo este mayor al valor de significancia de 0,05. De esta manera la hipótesis alterna es denegada; por lo tanto, no existe diferencia significativa en el porcentaje de vacíos llenados con cemento asfáltico entre el pavimento elaborado con mezcla asfáltica en caliente y el pavimento elaborado con resina epóxica.

Flujo

- **H₀**: No existe diferencia significativa en el flujo entre el pavimento elaborado con mezcla asfáltica en caliente y el pavimento elaborado con resina epóxica.
- **H₁**: Existe diferencia significativa en el flujo entre el pavimento elaborado con mezcla asfáltica en caliente y el pavimento elaborado con resina epóxica.

Figura 30

Gráfico de la prueba U de Mann–Whitney para flujos



Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

Tabla 17

Prueba U de Mann–Whitney para flujos

N total	6
U de Mann-Whitney	1.500
W de Wilcoxon	16.500
Estadístico de contraste	1.500
Error estándar	1.443
Estadístico de contraste estandarizado	-0.693
Sig asintótica	0.448
Sig exacta	0.667

Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

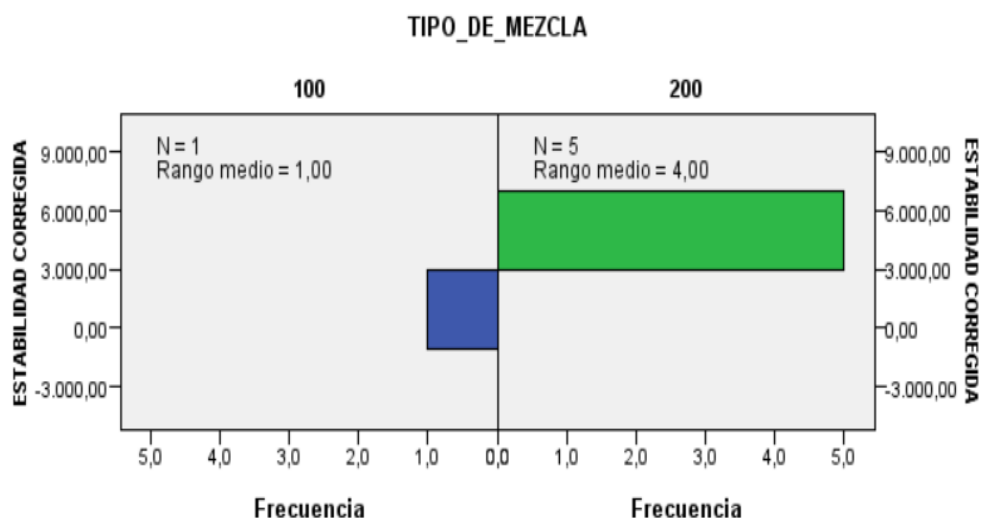
La tabla anterior muestra que se tuvo un valor de “p” de 0,667, siendo este mayor al valor de significancia de 0,05. De esta manera la hipótesis alterna es denegada; por lo tanto, no existe diferencia significativa en el flujo entre el pavimento elaborado con mezcla asfáltica en caliente y el pavimento elaborado con resina epóxica.

Estabilidad corregida

- **H₀**: No existe diferencia significativa en la estabilidad corregida entre el pavimento elaborado con mezcla asfáltica en caliente y el pavimento elaborado con resina epóxica.
- **H₁**: Existe diferencia significativa en la estabilidad corregida entre el pavimento elaborado con mezcla asfáltica en caliente y el pavimento elaborado con resina epóxica.

Figura 31

Gráfico de la prueba U de Mann–Whitney para estabilidad corregida



Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

Tabla 18

Prueba U de Mann–Whitney para estabilidad corregida

N total	6
U de Mann-Whitney	5.000
W de Wilcoxon	20.000
Estadístico de contraste	5.000
Error estándar	1.118
Estadístico de contraste estandarizado	2.236
Sig asintótica	0.025
Sig exacta	0.333

Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

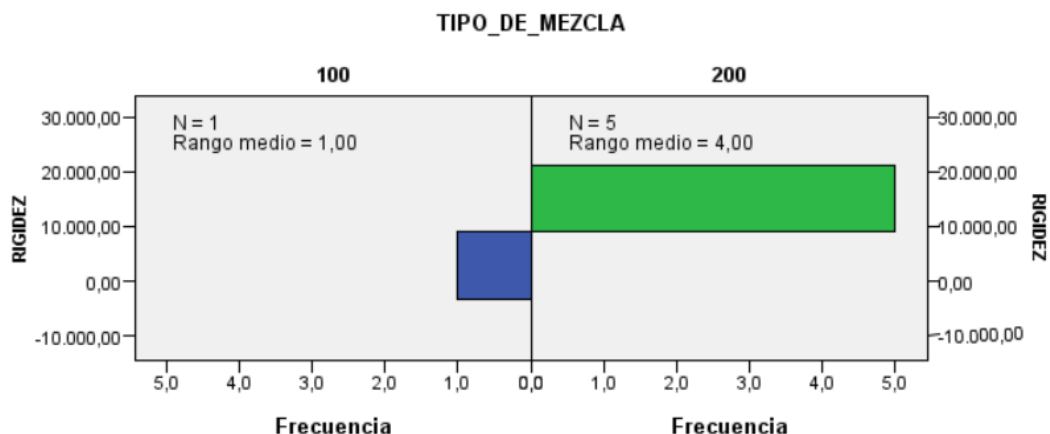
La tabla anterior muestra que se tuvo un valor de “p” de 0,333, siendo este mayor al valor de significancia de 0,05. De esta manera la hipótesis alterna es denegada; por lo tanto, no existe diferencia significativa en la estabilidad corregida entre el pavimento elaborado con mezcla asfáltica en caliente y el pavimento elaborado con resina epóxica.

Rigidez

- **H₀:** No existe diferencia significativa en la rigidez entre el pavimento elaborado con mezcla asfáltica en caliente y el pavimento elaborado con resina epóxica.
- **H₁:** Existe diferencia significativa en la rigidez entre el pavimento elaborado con mezcla asfáltica en caliente y el pavimento elaborado con resina epóxica.

Figura 32

Gráfico de la prueba U de Mann–Whitney para rigidez



Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

Tabla 19

Prueba U de Mann–Whitney para rigidez

N total	6
U de Mann-Whitney	5.000
W de Wilcoxon	20.000
Estadístico de contraste	5.000
Error estándar	1.118
Estadístico de contraste estandarizado	2.236
Sig asintótica	0.025
Sig exacta	0.333

Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

La tabla anterior muestra que se tuvo un valor de “p” de 0,333, siendo este mayor al valor de significancia de 0,05. De esta manera la hipótesis alterna es denegada; por lo tanto, no existe diferencia significativa en la rigidez entre el pavimento elaborado con mezcla asfáltica en caliente y el pavimento elaborado con resina epóxica

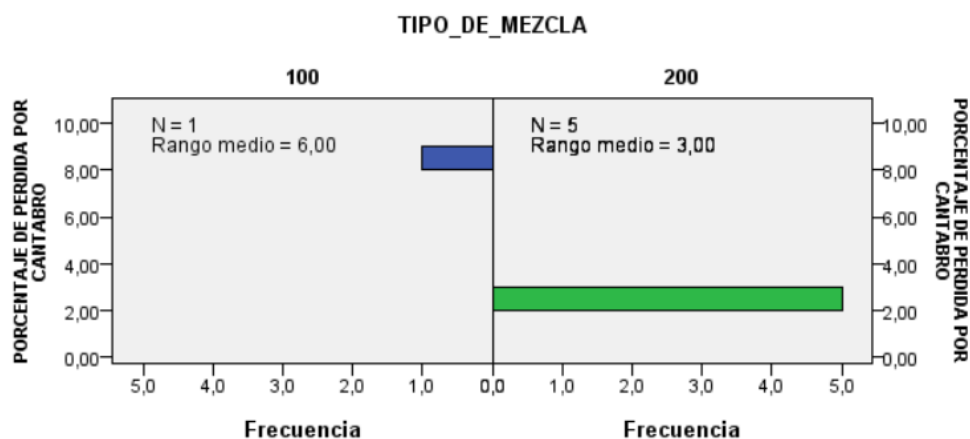
4.2.2. Prueba de Hipótesis Específicas para Parámetros Obtenidos en el Ensayo Cantabro

H₀: No existen diferencias significativas en los parámetros obtenidos en el ensayo de Cantabro entre el pavimento elaborado con mezcla asfáltica en caliente y el pavimento elaborado con resina epóxica en Huancayo 2025.

H₁: Existen diferencias significativas en los parámetros obtenidos en el ensayo de Cantabro entre el pavimento elaborado con mezcla asfáltica en caliente y el pavimento elaborado con resina epóxica en Huancayo 2025.

Figura 33

Gráfico de la prueba U de Mann–Whitney para parámetros obtenidos en el ensayo Cántabro



Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

Tabla 20

Prueba U de Mann–Whitney para parámetros obtenidos en el ensayo Cántabro

N total	6
U de Mann-Whitney	0.000
W de Wilcoxon	15.000
Estadístico de contraste	0.000
Error estándar	1.708
Estadístico de contraste estandarizado	-1.464
Sig asintótica	0.143
Sig exacta	0.333

Nota. Elaboración propia (2025). Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Continental.

La tabla anterior muestra que se tuvo un valor de “p” de 0,333, siendo este mayor al valor de significancia de 0,05. De esta manera la hipótesis alterna es denegada; por lo tanto, no existen diferencias significativas en los parámetros obtenidos en el ensayo de Cántabro entre el pavimento elaborado con mezcla asfáltica en caliente y el pavimento elaborado con resina epóxica en Huancayo 2025.

4.3. Discusión de Resultados

4.3.1. Ensayo Marshall

La estabilidad constituye un parámetro fundamental para evaluar la capacidad del pavimento de resistir deformaciones plásticas bajo cargas aplicadas. En los resultados presentados, se registran valores máximos de estabilidad corregida de 5000 kg en mezclas con contenido de aglutinante entre 9 % y 11 %, muy por encima del valor de 964 kg obtenido con un 6 % de aglutinante. Este comportamiento es consistente con lo reportado por Contrado (2024) y Barrantes y Bonilla (2022), quienes señalan que las mezclas modificadas con resina epóxica alcanzan niveles promedio de estabilidad cercanos a 5000 kg, superando ampliamente

a las mezclas asfálticas convencionales, cuyo rango típico se sitúa entre 1200 y 1500 kg. Tales resultados evidencian que la incorporación de resina epóxica incrementa significativamente la resistencia estructural del pavimento, efecto que se asocia a una mayor cohesión interna de la mezcla.

En cuanto al flujo, los valores obtenidos oscilan entre 2.5 mm y 3.6 mm, mostrando un ligero incremento conforme aumenta el contenido de aglutinante. Mantener un flujo dentro de rangos adecuados resulta esencial para equilibrar la capacidad de deformación con la rigidez estructural. En este estudio, las mezclas con mayor porcentaje de aglutinante mantienen un flujo apropiado, coherente con la elevada rigidez y estabilidad obtenidas, lo cual coincide con lo señalado por Liu et al. (2023), donde el uso optimizado de resina epóxica mejora la resistencia a las deformaciones sin comprometer la capacidad de fluencia.

Respecto a los vacíos totales, estos se sitúan entre 16 % y 21.9 %, mientras que el porcentaje de vacíos llenados con ligante varía de 54.1 % a 76.6 %. La tendencia a la disminución de vacíos llenados conforme aumenta el aglutinante podría atribuirse a la naturaleza más rígida y cohesiva de las mezclas con resina epóxica, que favorece una mejor adherencia y reduce la permeabilidad. Investigaciones internacionales, como las de Tian et al. (2022) y Wang et al. (2021), respaldan esta observación, señalando que la red continua generada por la resina epóxica proporciona un sellado más eficiente y disminuye el porcentaje de vacíos permeables, lo que se traduce en una mayor durabilidad del pavimento.

4.3.2. Ensayo Cántabro

La pérdida de masa por desgaste es un parámetro indicativo de la resistencia a la abrasión y desintegración de la mezcla. En los resultados, los valores de pérdida de masa están entre 2.24 % y 8.77 %, con mayores pérdidas en mezclas con menor porcentaje de aglutinante (6 %) y mejores desempeños en mezclas con porcentajes más altos (9 % a 11 %). Este rango cumple y mejora indicadores reportados por Contrado (2024) y Barrantes y Bonilla (2022), quienes reportaron pérdidas inferiores al 3 % para mezclas con resina epoxi, lo que evidencia una mayor resistencia al desgaste. Esto ratifica que la resina epoxi como modificante mejora sustancialmente la integridad estructural frente a esfuerzos mecánicos y desgaste por tráfico.

Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

Se comprobó experimentalmente que existen diferencias significativas entre las propiedades físicas y mecánicas del pavimento flexible elaborado con mezcla asfáltica en caliente (MAC-2) y el elaborado con resina epoxy. Las mezclas con resina epoxy presentaron mayor estabilidad Marshall (12.4 kN), menor pérdida Cántabro (9.9 %) y una estructura más compacta (densidad 2.40 g/cm³), validando la hipótesis general de la investigación.

Las mezclas con resina epoxy alcanzaron valores superiores de estabilidad y rigidez Marshall en comparación con la mezcla convencional MAC-2, demostrando que el ligante epoxy proporciona mayor cohesión y resistencia a la deformación. La dosificación óptima fue del 10.5 %, y se logró el mejor equilibrio entre rigidez (3.76 kN/mm) y flujo (3.3 mm).

En el ensayo Cántabro, las mezclas con resina epoxy mostraron una pérdida de masa 46 % menor que la mezcla convencional (9.9 % frente a 18.5 %), lo que evidencia una mayor resistencia al desgaste y mejor cohesión interna del material, lo cual ayudó a incrementar la durabilidad del pavimento flexible.

5.2. Recomendaciones

Implementar el uso de resina epoxy como ligante alternativo en estudios piloto de pavimentos flexibles, especialmente en regiones andinas como Huancayo, para validar su desempeño en campo y cuantificar su impacto en la vida útil de las vías.

Mantener la dosificación de 10 % a 10.5 % de resina epoxy en futuras mezclas, ya que en este rango se alcanzan los mejores resultados Marshall (estabilidad, rigidez y densidad) sin comprometer la flexibilidad. Se recomienda ampliar las pruebas con distintos tipos de agregados para optimizar la adherencia.

Incluir el ensayo Cántabro en todas las fases de control de calidad de mezclas modificadas con resina epoxy, dado que permite evaluar la cohesión y durabilidad del material. Además, se sugiere ampliar la investigación con ensayos complementarios de fatiga, tracción indirecta y resistencia térmica para validar su comportamiento a largo plazo.

Referencias Bibliográficas

- [1] TIAN, M. *et al.* Application Research on Highway Surface Treatment of Epoxy Asphalt. In : *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing Ltd, 23 March 2021. DOI 10.1088/1755-1315/706/1/012031.
- [2] EUDORO, F., & BASURTO, M. Daño en la salud de los trabajadores por exposición al asfalto caliente. 2019.
- [3] Ning, L. *et al.* Mechanical properties analysis of asphalt nanostructures based on atomic force microscope and discrete element method. *Case Studies in Construction Materials*. 1 December 2023. Vol. 19. DOI 10.1016/j.cscm.2023.e02575.
- [4] SUN, L. Distribution of the temperature field in a pavement structure. In: *Structural Behavior of Asphalt Pavements*. Elsevier, 2016. p. 61–177.
- [5] LIANG, B. *et al.* Review on the self-healing of asphalt materials: Mechanism, affecting factors, assessments and improvements. 10 January 2021. Elsevier Ltd.
- [6] COTRADO, W. Análisis del comportamiento físico-mecánico de la mezcla asfáltica, del pavimento flexible modificadas con resina epóxica – Cusco – Cusco - San Jerónimo. Universidad Cesar Vallejo, 2024.
- [7] BARRANTES, A. *et al.* Propuesta de diseño de asfalto ecológico utilizando rap adicionado con resina epoxi bisfenol-a para reducir el impacto ambiental y mejorar el comportamiento mecánico del pavimento. Universidad de San Martín de Porres, 2024.
- [8] RAMÍREZ, F. Estabilización de suelo con resina epoxi en la Av. El Olivar, Provincia de Huarmey-Ancash-2020. Universidad Cesar Vallejo, 2020.
- [9] APOSTOLIDIS, L. Use of epoxy asphalt as surfacing and tack coat material for roadway pavements. *Construction and Building Materials*. 30 July 2020. Vol. 250. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2020.118936.
- [10] LIU, X. *et al.* Investigation on the Preparation and Performances of Epoxy-Modified Asphalt Binder and Its Mixtures. *Materials*. 1 June 2024. Vol. 17, no. 11. DOI 10.3390/ma17112539.
- [11] TIAN, J. *et al.* Effects of Epoxy Resin Content on Properties of Hot Mixing Epoxy Asphalt Binders. *Journal of Materials in Civil Engineering*. July 2022. Vol. 34, no. 7. DOI 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0004259.
- [12] JING, R. *et al.* First-Year Field Performance of Epoxy-Modified Asphalt. *Transportation Research Record*. 1 March 2023. Vol. 2677, no. 3, p. 1110–1122. DOI 10.1177/03611981221121271.
- [13] TIAN, M. *et al.* Research on the application of epoxy surface in the pavement maintenance of the Yilaga Tunnel in Guizhou Province. In: *E3S Web of Conferences*. EDP Sciences, 6 August 2021. DOI 10.1051/e3sconf/202130002014.

- [14] WANG, X. *et al.* Properties of epoxy-resin binders and feasibility of their application in pavement mixtures. *Construction and Building Materials*. 9 August 2021. Vol. 295. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2021.123531.
- [15] XIANG, Q., & XIAO, F. Applications of epoxy materials in pavement engineering. 28 February 2020. Elsevier Ltd.
- [16] ZHANG, L *et al.* Performance characteristics of epoxy modified Open Graded Friction Course (OGFC) by post-doping methods. *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing Ltd, 8 November 2021. DOI 10.1088/1742-6596/2076/1/012029.
- [17] INSTITUTO MEXICANO DE TRANSPORTE. Pavimentos rígidos o flexibles, concreto vs. asfalto, dilema en infraestructura de vías terrestres. Querétaro, 2012.
- [18] MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. *Manual de carreteras suelos, geología, geotecnia y pavimentos sección suelos y pavimentos*. Online. Lima, 2014. Available from: www.mtc.gob.pe
- [19] MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS. Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de carreteras. 2015.
- [20] RAMÍREZ, W. & ZAVALA, R. Estudio comparativo del diseño del pavimento rígido, semirrígido con adoquines de concreto y flexible para las calles del sector VI C-El Milagro-Trujillo-La Libertad. Trujillo. Universidad Privada Antenor Orrego, 2017.
- [21] JAMSHIDI, A. *et al.* Rheological characteristics of epoxy asphalt binders and engineering properties of epoxy asphalt mixtures – state-of-the-art. *Road Materials and Pavement Design*. 2 September 2022. Vol. 23, no. 9, p. 1957–1980. DOI 10.1080/14680629.2021.1963814.
- [22] VARGAS, C., & HANANDEH, A. Features Importance and Their Impacts on the Properties of Asphalt Mixture Modified with Plastic Waste: A Machine Learning Modeling Approach. *International Journal of Pavement Research and Technology*. 1 November 2023. Vol. 16, no. 6, p. 1555–1582. DOI 10.1007/s42947-022-00213-7.
- [23] LEUKEL, J. *et al.* Machine learning models for predicting physical properties in asphalt road construction: A systematic review. 23 August 2024. Elsevier Ltd.
- [24] PLATI, C. Sustainability factors in pavement materials, design, and preservation strategies: A literature review. 30 June 2019. Elsevier Ltd.
- [25] GUZMÁN, E. *et al.* Aplicación de la metodología RAMCODES en el control de compactación de capas granulares de pavimento flexible. *Cultura Científica*. 1 December 2023. No. 21, p. 1–17. DOI 10.38017/1657463x.819.
- [26] AMAO, V., & CHOQUE, L. Dosificaciones parciales de ceniza de *Caesalpinia Spinosa* y fibrocemento en mezclas asfálticas para pavimentos flexibles. *Gaceta Técnica*. 1 July 2025. Vol. 26, no. 2, p. 24–36. DOI 10.51372/gacetatecnica262.3.

- [27] SHA, A. *et al.* Pavement structure and materials design for sea-crossing bridges and tunnel: Case study of the Hong Kong–Zhuhai–Macau Bridge. 1 June 2022. KeAi Publishing Communications Ltd.
- [28] WU, X. *et al.* Impact of aggregate types, dosages, and binder levels on pavement early bonding and skid resistance: An enhanced laboratory wear analysis. *Case Studies in Construction Materials*. 1 July 2025. Vol. 22. DOI 10.1016/j.cscm.2025.e04584.
- [29] DE PASCALE, B. *et al.* Life cycle assessment of urban pavements: Environmental impact analysis of integrating waste silt in hot mix asphalt. *Science of the Total Environment*. 20 August 2025. Vol. 991. DOI 10.1016/j.scitotenv.2025.179931.
- [30] ROSALES, M. *et al.* Execution of large-scale sustainable pavement with recycled materials. Assessment of mechanical behaviour and life cycle. *Construction and Building Materials*. 14 February 2025. Vol. 463. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2025.139967.
- [31] ZHU, W. *et al.* Prediction of compressive strength and characteristics analysis of semi-flexible pavement desert sand grouting material based upon hybrid-BP neural network. *Case Studies in Construction Materials*. 1 July 2025. Vol. 22. DOI 10.1016/j.cscm.2025.e04206.
- [32] ASHTEYAT, A. *et al.* Flexural behavior of RC beams incorporating recycled concrete aggregate and reclaimed asphalt pavement exposed to elevated temperatures. *Results in Engineering*. 1 June 2024. Vol. 22. DOI 10.1016/j.rineng.2024.102309.
- [33] ALIHA, M. *et al.* A novel disc bend test specimen for realistic measuring of tensile strength in pavements under transverse cracking condition. *Case Studies in Construction Materials*. 1 July 2025. Vol. 22. DOI 10.1016/j.cscm.2025.e04258.
- [34] ZHANG, N. *et al.* Evaluating subgrade dynamic and static resilience modulus through enhanced testing techniques. *Case Studies in Construction Materials*. 1 July 2025. Vol. 22. DOI 10.1016/j.cscm.2024.e04159.
- [35] DU, S. *et al.* Fatigue performance of 3D printed reusable concrete slabs for temporary pavements. *Case Studies in Construction Materials*. 1 December 2025. Vol. 23. DOI 10.1016/j.cscm.2025.e04989.
- [36] DO, T.C. *et al.* Experimental study on the resistance of asphalt mixtures to permanent deformation and its relation to mechanical behavior of pavement structures. *Case Studies in Construction Materials*. 1 July 2025. Vol. 22. DOI 10.1016/j.cscm.2025.e04248.
- [37] LIU, N. *et al.* Study on cohesion and adhesion behaviors of the zeolite foamed asphalt-warm mix mixture based on molecular dynamics simulation. *Case Studies in Construction Materials*. 1 December 2024. Vol. 21. DOI 10.1016/j.cscm.2024.e03424.
- [38] ALMESRI, I., & ALOTAIBI, N. Evaluation of the interface shear strength of concrete containing treated and untreated reclaimed asphalt pavement aggregates. *Journal of Engineering Research (Kuwait)*. 2024. DOI 10.1016/j.jer.2024.10.007.

- [39] MAO, S. *et al.* Freeze-thaw damage continuous constitutive of modified asphalt mixture based on the MMF model. *Research in Cold and Arid Regions*. July 2025. DOI 10.1016/j.rcar.2025.07.005.
- [40] SHIRVANI, D., & SARKAR, A. Technical evaluation of using reclaimed asphalt pavement materials as filler in hot mix asphalt. *Results in Engineering*. 1 September 2025. Vol. 27. DOI 10.1016/j.rineng.2025.106048.
- [41] DE PASCALE, B. *et al.* Life cycle assessment of urban pavements: Environmental impact analysis of integrating waste silt in hot mix asphalt. *Science of the Total Environment*. 20 August 2025. Vol. 991. DOI 10.1016/j.scitotenv.2025.179931.
- [42] MOURA, C. *et al.* Optimizing steel slag and reclaimed asphalt incorporation in hot mix asphalt: From lab validation to full-scale application towards circular economy. *Construction and Building Materials*. 5 September 2025. Vol. 490. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2025.142561.
- [43] XU, J. *et al.* Strength characteristics and prediction of epoxy resin pavement mixture. *Construction and Building Materials*. 10 May 2021. Vol. 283. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2021.122682.
- [44] RAHMAN, M., & AKHTARUL, I. *Application of epoxy resins in building materials: progress and prospects*. 1 March 2022. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH.
- [45] JIN, F. *et al.* *Synthesis and application of epoxy resins: A review*. 25 September 2015. Korean Society of Industrial Engineering Chemistry.
- [46] WANG, X. *et al.* Properties of epoxy-resin binders and feasibility of their application in pavement mixtures. *Construction and Building Materials*. 9 August 2021. Vol. 295. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2021.123531.
- [47] CHEN, Q. *et al.* Low-temperature mechanical properties of polyurethane-modified waterborne epoxy resin for pavement coating. *International Journal of Pavement Engineering*. 2023. Vol. 24, no. 2. DOI 10.1080/10298436.2022.2099853.
- [48] FERNÁNDEZ, C. & BAPTISTA, P. *Metodología de la Investigación*. McGraw Hill. 2014.
- [49] BARRETO, V. & LAINEZ, P. *Diseño y evaluación de mezcla asfálticas drenantes con y sin aditivos utilizando el método de Cántabro*. Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2024.
- [50] BASTIDAS-MARTÍNEZ, J. *et al.* Behavior of an asphalt mixture with the incorporation of plastic for airport pavements. *DYNA (Colombia)*. 1 January 2025. Vol. 92, no. 235, p. 172–180. DOI 10.15446/dyna.v92n235.117161.
- [51] SABINO, C. *El proceso de investigación científica*. 2014.

- [52] ASI, I. *et al.* Predicting Marshall stability and flow parameters in asphalt pavements using explainable machine-learning models. *Transportation Engineering*. 1 December 2024. Vol. 18. DOI 10.1016/j.treng.2024.100282.
- [53] CARDONA, V. Tensión indirecta en un pavimento flexible sustituyendo parcialmente el agregado y asfalto por residuos de cantera y resina. Universidad Autónoma de Querétaro, 2022.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
¿Cuál es la diferencia entre las propiedades físicas y mecánicas del pavimento flexible elaborado con mezcla asfáltica en caliente respecto a uno elaborado con resina epoxy, en Huancayo 2025?	Diferenciar las propiedades físicas y mecánicas de un pavimento flexible elaborado con mezcla asfáltica en caliente respecto a uno elaborado con resina epoxy mediante ensayos Marshall y de Cántabro, en Huancayo 2025.	Existe una diferencia significativa entre las propiedades físicas y mecánicas de un pavimento flexible elaborado con mezcla asfáltica en caliente y uno elaborado con resina epóxica., según los ensayos Marshall y de Cántabro realizados en las condiciones en Huancayo 2025.	Independiente Tipo de mezcla	Tipo de ligante	Mezcla asfáltica convencional MAC	Tipo Cuantitativa Nivel Comparativo Método Aplicado Diseño Experimental comparativo de corte transversal Población Mezclas MAC y epóxicas Muestra 18 briquetas (3 por dosificación) Muestreo No probabilístico intencional
¿Cuáles son las diferencias en los resultados del ensayo Marshall (estabilidad, flujo, densidad, porcentaje de vacíos y otros) entre un pavimento a base de mezcla asfáltica en caliente con respecto a uno elaborado con resina epoxy, en Huancayo 2025?	Diferenciar los parámetros obtenidos en el ensayo Marshall (estabilidad, flujo, densidad, porcentaje de vacíos y otros) entre un pavimento a base de mezcla asfáltica en caliente con respecto a uno elaborado con resina epoxy, en Huancayo 2025.	Existen diferencias significativas en los parámetros obtenidos en el ensayo Marshall (estabilidad, flujo, densidad, porcentaje de vacíos y otros) entre un pavimento a base de mezcla asfáltica en caliente con respecto a uno elaborado con resina epoxy en Huancayo 2025.			Propiedades físicas	
			Porcentaje de vacíos totales	% de vacíos totales en la mezcla		
			VMA	% de volumen de vacíos en agregado mineral		
			Porcentaje de vacíos llenados	% de vacíos llenados con asfalto		
¿Qué diferencias existen en los resultados del ensayo de Cántabro entre un pavimento a base de mezcla asfáltica en caliente con respecto a uno elaborado con resina epoxy, en Huancayo 2025?	Diferenciar los parámetros obtenidos en el ensayo de Cántabro entre un pavimento a base de mezcla asfáltica en caliente con respecto a uno elaborado con resina epoxy, en Huancayo 2025.	Existen diferencias significativas en los parámetros obtenidos en el ensayo de Cántabro entre un pavimento a base de mezcla asfáltica en caliente con respecto a uno elaborado con resina epoxy en Huancayo 2025.	Propiedades mecánicas	Estabilidad	Carga máxima soportada	
				Flujo	Deformación plástica bajo carga	
				Rigidez	Relación estabilidad	
				Desgaste	% de pérdida de peso tras ensayo	

Anexo 2: Matriz de operacionalización de variables

VARIABLE		DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	ESCALA
VI	Tipo de mezcla	Las mezclas asfálticas se pueden clasificar según sus materiales, método de fabricación, temperatura de producción o el uso de aditivos. (3)	Se medirá diferenciando las muestras de mezcla asfáltica en caliente convencional y las muestras de mezcla asfáltica modificada con resina epoxy.	Tipo de ligante	Mezcla asfáltica convencional MAC	Nominal
					Resina epoxy	Nominal
VD	Propiedades físicas	Son características relacionadas con su comportamiento volumétrico, densidad y estructura interna, sin considerar su resistencia a esfuerzos mecánicos. (4)	Se evaluarán mediante los ensayos de compactación y mediciones volumétricas según normas ASTM D2726 y AASHTO T166.	Peso específico BUCK	Valor del peso específico bulk	Nominal
				Porcentaje de vacíos totales	% de vacíos totales en la mezcla	Porcentaje
				VMA	% de volumen de vacíos en agregado mineral	Porcentaje
				Porcentaje de vacíos llenados	% de vacíos llenados con asfalto	Porcentaje
	Propiedades mecánicas	Es la capacidad para resistir cargas aplicadas, deformaciones y deterioros mecánicos durante su vida útil. (5)	Se evaluarán a través del ensayo Marshall (ASTM D6927), y mediante el porcentaje de pérdida de peso determinado en el ensayo Cántabro de desgaste.	Estabilidad	Carga máxima soportada	kN
				Flujo	Deformación plástica bajo carga	mm
				Rigidez	Relación estabilidad	kN/mm
				Desgaste	% de pérdida de peso tras ensayo	Porcentaje

Anexo 3: Ficha técnica Sikadur - 52



HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO

Sikadur®-52

Resina inyectable de baja viscosidad.

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sikadur®-52 es un sistema de dos componentes basado en resina epóxica de alta resistencia.

USOS

- Como resina de inyección con buena adherencia al concreto, mortero, piedra, acero y madera.
- Sikadur®-52 se usa para rellenar y sellar grietas y poros en estructuras como edificios, puentes, instalaciones industriales y otras estructuras, por ejemplo, en columnas, vigas, cimientos, paredes, pavimentos y estanques de agua.
- Sikadur®-52 une estructuralmente a las secciones de concreto y forma una barrera efectiva contra la infiltración de agua y elementos corrosivos.

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Se puede aplicar sobre superficies secas o húmedas.
- Utilizable a bajas temperaturas.
- Endurecimiento sin retracción.
- Alta adherencia y resistencia mecánica.
- Alta dureza.
- Inyectable de baja viscosidad con sistemas de un componente.

CERTIFICADOS / NORMAS

Sikadur®-52 cumple con ASTM C 881 - 78 Tipo I Grado 1 Clase B + C.

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

Base Química	Resina epóxica modificada de dos componentes.	
Empaques	Juego (A + B) de 5 kg. Pack de 6 x 1 kg.	
Vida Útil	2 años en un lugar fresco y en interiores, en su envase original cerrado.	
Condiciones de Almacenamiento	Acondicionar entre 15°C y 30°C antes de usar.	
Color	Líquido transparente color amarillo (mix A + B)	
Densidad	1.1 kg/L	
Viscosidad	Temperatura	Viscosidad (mPa . s)
	+ 10 °C	~ 1200
	+ 20 °C	~ 430
	+ 30 °C	~ 220
Resistencia a la Compresión	52 N/mm2 (a 7 días a +23°C)	(ASTM D695-96)
Resistencia a Flexión	61 N/mm2 (a 7 días a +23°C)	(DIN 53452)
Módulo de Elasticidad a Flexión	1800 N/mm2 (a 7 días a +23°C)	(DIN 53452)

Hoja De Datos Del Producto
Sikadur®-52
Julio 2022, Versión 03.01
020707030010000005

Resistencia a la Tensión	37 N/mm ² (a 7 días a +23°C)	(ISO 527)
Resistencia a la Adherencia	Concreto > 4 N/mm ² (falla del concreto) (a 7 días a + 23°C)	
Coefficiente de Expansión Térmica	8.9 x 10 ⁻⁶ por °C (entre -20°C y +40°C)	(EN ISO 1770)
Consumo	El consumo de Sikadur® 52 depende del ancho y profundidad de las grietas, para 1 litro de relleno se requiere de 1,1 kg de Sikadur® 52.	
Temperatura del Sustrato	+5°C mín. / +30°C máx.	
Humedad del Sustrato	Seco o húmedo (SSS - Saturado Superficialmente seco: sin goteo de agua)	
Duración de la Mezcla	Temperatura	Vida de la mezcla
	+5°C	~ 120 minutos
	+10°C	~ 80 minutos
	+23°C	~ 25 minutos
	+30°C	~ 10 minutos

NOTAS

Todos los datos técnicos recogidos en esta hoja técnica se basan en ensayos de laboratorio. Las medidas de los datos actuales pueden variar por circunstancias fuera de nuestro control.

ECOLOGÍA, SALUD Y SEGURIDAD

Para información y consejo sobre seguridad en la manipulación, almacenamiento y disposición de productos químicos, los usuarios deben referirse a la Ficha de Seguridad vigente, la cual contiene datos físicos, ecológicos, toxicológicos y otros datos relativos a la seguridad.

NOTES ON INSTALLATION

Ancho máximo de fisura a inyectar: 3 mm.

Sikadur®-52 es adecuado para condiciones secas y húmedas, pero no para condiciones con agua libre.

PREPARACIÓN DEL SUSTRATO

Requerimientos

Sano, limpio, libre de aceite o grasa, sin tratamiento superficial ni revestimientos.

Tratamiento previo para una buena adherencia:

El concreto, el mortero, la piedra deben prepararse cuidadosamente mediante chorro de agua a alta presión o medios mecánicos como desbaste, etc. Las grietas deben limpiarse para eliminar el polvo con aire a presión.

MEZCLADO

Relación de mezcla A: B = 2: 1 (en peso); A: B = 1.8: 1 (en volumen).

Agregue todo el componente B a la parte A. Mezcle con un mezclador eléctrico a baja velocidad (máx. 250 rpm) durante al menos 3 minutos. Evitar incorporar aire.

MÉTODO DE APLICACIÓN / HERRAMIENTAS

Grietas en losas horizontales:

Sature las grietas con un cepillo o llénelas por gravedad vertiendo Sikadur®-52 entre dos diques hechos, por ejemplo, con sellador Sikaflex®. Las grietas que atraviesan el espesor de las losas deben sellarse en la parte inferior, por ejemplo, con Sikadur® 31.

Grietas en estructuras verticales:

Sikadur®-52 puede ser inyectado mediante presión dentro de la grieta usando una bomba o equipo de inyección para uno o dos componentes. Deben colocarse boquillas de inyección a intervalos de aprox. 25 cm sobre la grieta. La grieta debe sellarse superficialmente, por ejemplo, con Sikadur® 31, para evitar que la resina escape durante el proceso de inyección. Las grietas verticales deben ser siempre inyectadas desde la parte inferior hacia arriba. Tan pronto como la resina aparezca por la boquilla siguiente, sellar la primera y continuar el proceso por la siguiente. Después de completar el proceso de inyección, remover las boquillas de inyección y el material de sellado.

LIMPIEZA DE HERRAMIENTAS

Las herramientas y los instrumentos deben ser limpiados después de su empleo con diluyente a la piroxilina. El producto endurecido sólo puede ser removido mecánicamente.

RESTRICCIONES LOCALES

Nótese que el desempeño del producto puede variar dependiendo de cada país. Por favor, consulte la hoja técnica local correspondiente para la exacta descripción de los campos de aplicación del producto

NOTAS LEGALES

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus

Hoja De Datos Del Producto
Sikadur®-52
Julio 2022, Versión 01.01
0010703010110000005



productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A.C. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A.C. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web www.sika.com.pe. La presente edición anula y reemplaza la edición anterior, misma que deberá ser destruida.

Sika Perú
Habilitación Industrial
El Líncano Mz. "B" lote 6
Lima, Lima
Tel. (51) 458-6060

Hoja De Datos Del Producto
Sikadur®-52
Julio 2022, Versión 03.01
001707010110000035

3 / 3

Sikadur-52 es PE (07-2022)-3-1.pdf

CONSTRUYENDO CONFIANZA



Anexo 4: Resultados de laboratorio



CIAA
SANTA CRUZ
CRUZ
GEOTECNIA
Especialistas en suelos y pavimentos

CONSTRUCTORA INGENIEROS & ARQUITECTOS
ASESORES SANTA CRUZ SCRL

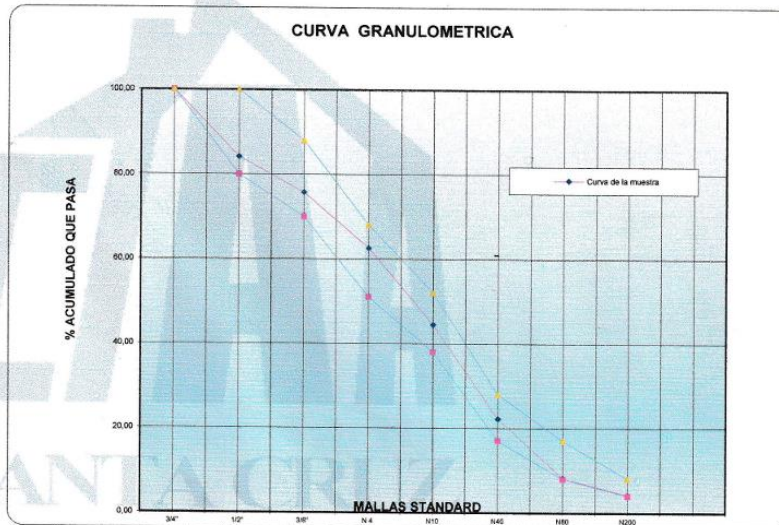
975151126 / 912880976 / (064) 581405
Av. Oriente N° 772 Concepción
Concepción – Junín
ciaasantacruz@gmail.com

COMBINACION PARA DISEÑO MARSHALL MAC 2

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. ING. CIVIL. HAMIL ALDRIDGE URIBE IBAÑEZ
PROYECTO / OBRA : COMPARACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE MAC,
CON UN PAVIMENTO CON RESINA EPOXY - HUANCAYO 2025
UBICACIÓN / DE OBRA : **Dist.** EL TAMBO
Prov. HUANCAYO **TECNICO :** j.s.c.v
Dpto. JUNIN **FECHA :** 31/01/2025
DOSIFICACION AGREGADOS PIEDRA CHANCADA 1/2" **CEM. ASFALTICO :** PEN -85/100
ARENA CHANCADA Y ZARANDEADA - 1/4"
MIOMITA ORCOTUNA
CANTERA COMBINACION PARA DISEÑO MARSHALL MAC 2

Nº MALLA	GRAVA CHANCADA	ARENA CHANCADA	ARENA ZARANDEADA	filler	TOTAL	ESPECIFICACIONES MAC 2	
						LIM INF	LIM SUP
	27	43	30	0	100		
3/4"	100,00	100,00	100,00		100,00	100,00	100,00
1/2"	41,59	100,00	99,77		84,16	80,00	100,00
3/8"	12,62	99,94	97,84		75,73	70,00	88,00
N 4	0,29	85,79	85,32		62,56	51,00	68,00
N10	0,29	53,64	71,20		44,51	38,00	52,00
N40	0,29	23,91	39,61		22,24	17,00	28,00
N80	0,29	11,99	9,90		8,20	8,00	17,00
N200	0,29	7,35	3,09		4,17	4,00	8,00

CURVA GRANULOMETRICA



CIAA SANTA CRUZ SRL
LABORATORIO DE SUELOS
CONCRETO ASFALTO

JAVIER SANTA CRUZ VELIZ
LABORATORIO

CIAA SANTA CRUZ S.C.R.L
SUELOS CONCRETO ASFALTO

JUAN G. BERNISIO S.L.A.
INGENIERO CIVIL
CIP 130103



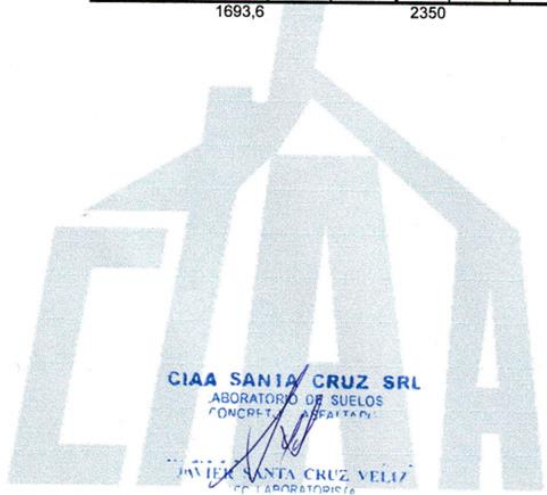
Specialistas en suelos y pavimentos

CIAA
SANTA
CRUZ
GEOTECNIA

CONSTRUCTORA INGENIEROS & ARQUITECTOS
ASESORES SANTA CRUZ SCRL

975151126 / 912880976 / (064) 581405
Av. Oriente N° 772 Concepción
Concepción - Junín
ciaasantacruz@gmail.com

N° DE MALLA	27.0 %			43.0 %			30.0 %			0.0		
	P.RET.	%RET	% PAS	P.RET.	%RET	% PAS	P.RET.	%RET	% PAS	P.RET.	%RET	% PAS
2"	0	0	100	0	0	100	0	0	100	0	0	100
1 1/2"	0	0	100	0	0	100	0	0	100	0	0	100
1"	0	0	100	0	0	100	0	0	100	0	0	100
3/4"	0	0	100	0	0	100	0	0	100	0	0	100
1/2"	989,3	58,4	41,6	0	0,0	100	3,5	0,2	99,8	0	0,0	100,0
3/8"	490,6	29,0	12,6	1,3	0,1	99,9	32,5	2,1	97,7	0	0,0	100,0
1/4"	0	0,0	12,6	0	0,0	99,9	0	0,0	97,7	0	0,0	100,0
4	208,8	12,3	0,3	332,7	14,2	85,8	220,8	14,3	83,3	0	0,0	100,0
6	0	0,0	0,3	0	0,0	85,8	0	0,0	83,3	0	0,0	100,0
8	0	0,0	0,3	0	0,0	85,8	0	0,0	83,3	0	0,0	100,0
10	0	0,0	0,3	755,4	32,1	53,6	212,3	13,8	69,5	0	0,0	100,0
16	0	0,0	0,3	0	0,0	53,6	0	0,0	69,5	0	0,0	100,0
20	0	0,0	0,3	0	0,0	53,6	0	0,0	69,5	0	0,0	100,0
30	0	0,0	0,3	0	0,0	53,6	0	0,0	69,5	0	0,0	100,0
40	0	0,0	0,3	698,7	29,7	23,9	475,2	30,9	38,7	1,5	0,6	99,4
50	0	0,0	0,3	0	0,0	23,9	0	0,0	38,7	0	0,0	99,4
80	0	0,0	0,3	280,1	11,9	12,0	446,8	29,0	9,7	0,09	0,0	99,4
100	0	0,0	0,3	0	0,0	12,0	0	0,0	9,7	0	0,0	99,4
200	0	0,0	0,3	109,1	4,6	7,3	102,4	6,6	3,0	79,7	31,9	67,5
-200	4,9	0,3	0,0	172,7	7,3	0,0	46,5	3,0	0,0	169	67,5	0,0
PESO INICIAL	1693,6			2350			1540			250		
	1693,6			2350			1540			250		



CIAA SANTA CRUZ SRL
LABORATORIO DE SUELOS
CONCRETO, ASFALTO
JAVIER SANTA CRUZ VELLIZ
LABORATORISTA

CIAA SANTA CRUZ S.C.R.L.
SUELOS, CONCRETO, ASFALTO
JUAN G. DIONISIO ISLA
INGENIERO CIVIL
CIP 130103

SANTA CRUZ



CI AA
SANTA CRUZ
GEOTECNIA
Especialistas en suelos y pavimentos

CONSTRUCTORA INGENIEROS & ARQUITECTOS
ASESORES SANTA CRUZ SCRL

975151126 / 912880976 / (064) 581405
Av. Oriente N° 772 Concepción
Concepción – Junín
ciasantacruz@gmail.com

ENSAYO DE MARSHALL ASTM D - (1559)
PORCENTAJES DE ASFALTO EN LA MUESTRA

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. ING. CIVIL. HAMIL ALDRIDGE URIBE IBAÑEZ
PROYECTO / OBRA : COMPARACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE MAC, CON UN PAVIMENTO CON RESINA EPOXY - HUANCAYO 2025
UBICACIÓN / DE OBRA : Dist. EL TAMBO
Prov. HUANCAYO
Dpto. JUNIN
TECNICO : J.S.C.V
FECHA : 31/01/2025

ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de cemento asfáltico en peso de la mezcla	5,00	5,00	5,00		5,00
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	35,15	35,15	35,15		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	59,85	59,85	59,85		
4	% de agregado filler - concreto reciclado en peso de la mezcla					
5	Peso específico del cemento asfáltico - aparente	1,018	1,018	1,018		
6	Peso específico agregado grueso - bulk	2,674	2,674	2,674		
7	Peso específico agregado fino - bulk	2,554	2,554	2,554		
8	Peso específico filler concreto reciclado - aparente					
9	Peso de la briqueta en el aire (gr)	1173,50	1181,50	1175,90		1.177
10	Peso de la briqueta en el agua (gr)	650,50	654,50	655,30		653
11	Volumen de la briqueta por desplazamiento	523,00	527,00	520,60		
12	Peso específico bulk de la briqueta	2,244	2,242	2,259		2,248
13	Peso específico máximo ASTM D-2041	2,450	2,450	2,450		
14	% de vacíos	8,4	8,5	7,8		8,2
15	Peso específico bulk del agregado total	2,597	2,597	2,597		
16	VMA	17,93	18,00	17,39		17,8
17	% de vacíos llenados con C.A.	53,06	52,82	55,10		53,7
18	Peso específico del agregado total	2,646	2,646	2,646		
19	Asfalto absorbido por el agregado total	0,72	0,72	0,72		
20	% de asfalto efectivo	4,32	4,32	4,32		
21	Flujo (mm)	2,79	2,79	2,79		2,8
22	Lectura del Dial Anillo Marshall					250,3
23	Estabilidad sin corregir (Kg)	1185	1250	1120		
24	Factor de estabilidad	0,93	0,93	0,93		
25	Estabilidad corregida: (23*24) (Kg)	1102	1163	1042		1102
26	Índice de rigidez: (10 * 25/21) (kg/cm.)	3944	4161	3728		3944

OBSERVACIONES

CI AA SANTA CRUZ SRL
LABORATORIO DE SUELOS
CONCRETO, ASFALTO
JAVIER SANTA CRUZ VELIZ
CI LABORATORIO

CI AA SANTA CRUZ S.C.R.L
SUELOS CONCRETO ASFALTO
JUAN G. DIONISIO ISLA
INGENIERO CIVIL
CIP 130103



SANTA CRUZ
Especialistas en suelos y pavimentos

CIAA
SANTA
CRUZ
GEOTECNIA

**CONSTRUCTORA INGENIEROS & ARQUITECTOS
ASESORES SANTA CRUZ SCRL**

975151126 / 912880976 / (064) 581405

Av. Oriente N° 772 Concepción

Concepción – Junín

ciaasantacruz@gmail.com

**ENSAYO DE MARSHALL ASTM D - (1559)
PORCENTAJES DE ASFALTO**

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. ING. CIVIL, HAMIL ALDRIDGE URIBE IBAÑEZ
 PROYECTO / OBRA : COMPARACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE MAC, CON UN PAVIMENTO CON RESINA EPOXY - HUANCAYO 2025
 UBICACIÓN / DE OBRA : Dist. EL TAMBO
 Prov. HUANCAYO
 Dpto. JUNIN
 TECNICO : J.D.P.Q
 FECHA : 31/01/2025

ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de cemento asfáltico en peso de la mezcla	5,50	5,50	5,50		5,50
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	34,97	34,97	34,97		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	59,54	59,54	59,54		
4	% de agregado hiller - concreto reciclado en peso de la mezcla					
5	Peso específico del cemento asfáltico - aparente	1,018	1,018	1,018		
6	Peso específico agregado grueso - bulk	2,674	2,674	2,674		
7	Peso específico agregado fino - bulk	2,554	2,554	2,554		
8	Peso específico hiller concreto reciclado - aparente					
9	Peso de la briqueta en el aire (gr)	1182,60	1185,50	1180,90		
10	Peso de la briqueta en el agua (gr)	662,60	665,50	663,60		
11	Volumen de la briqueta por desplazamiento	520,00	520,00	517,30		
12	Peso específico bulk de la briqueta	2,274	2,280	2,283		2,279
13	Peso específico máximo ASTM D-2041	2,430	2,430	2,430		
14	% de vacíos	6,4	6,2	6,1		6,2
15	Peso específico bulk del agregado total	2,597	2,597	2,597		
16	VMA	17,26	17,05	16,94		17,1
17	% de vacíos llenados con C.A.	62,85	63,76	64,25		63,6
18	Peso específico del agregado total	2,643	2,643	2,643		
19	Asfalto absorbido por el agregado total	0,68	0,68	0,68		
20	% de asfalto efectivo	4,86	4,86	4,86		
21	Flujo (mm)	3,30	3,30	3,30		3,3
22	Lectura del Dial Anillo Marshall					226,0
23	Estabilidad sin corregir (Kg)	1050	1085	1100		
24	Factor de estabilidad	0,96	0,96	0,96		
25	Estabilidad corregida: (23°24) (Kg)	1008	1042	1056		1035
26	Índice de rigidez: (10 * 25/21) (kg/cm.)	3053	3156	3200		3136

OBSERVACIONES

CIAA SANTA CRUZ SRL
LABORATORIO DE SUELOS
CONCRETO Y ASFALTO

JAVIER SANTA CRUZ VELIZ
CC LABORATORISTA

CIAA SANTA CRUZ S.C.R.L
SUELOS CONCRETO ASFALTO

JUAN G. DIONISIO S/LA
INGENIERO CIVIL
CIP 130103



Especialistas en suelos y pavimentos

CIAA
SANTA
CRUZ
GEOTECNIA

CONSTRUCTORA INGENIEROS & ARQUITECTOS
ASESORES SANTA CRUZ SCRL

975151126 / 912880976 / (064) 581405
Av. Oriente N° 772 Concepción
Concepción - Junín
ciaasantacruz@gmail.com

ENSAYO DE MARSHALL ASTM D - (1559)
PORCENTAJES DE ASFALTO

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. ING. CIVIL, HAMIL ALDRIDGE URIBE IBAÑEZ
PROYECTO / OBRA : COMPARACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE MAC , CON UN PAVIMENTO CON RESINA EPOXY - HUANCAYO 2025
UBICACIÓN / DE OBRA : Dist. EL TAMBO
Prov. HUANCAYO
Dpto. JUNIN
TECNICO : J.D.P.Q
FECHA : 31/01/2025

ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559

ITEM	PASO	1	2	3	4	PRMEDIO
1	% de cemento asfáltico en peso de la mezcla	6,00	6,00	6,00		6,00
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	34,78	34,78	34,78		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	59,22	59,22	59,22		
4	% de agregado tiller - concreto reciclado en peso de la mezcla					
5	Peso específico del cemento asfáltico - aparente	1,017	1,017	1,017		
6	Peso específico agregado grueso - bulk	2,674	2,674	2,674		
7	Peso específico agregado fino - bulk	2,554	2,554	2,554		
8	Peso específico filler concreto reciclado - aparente					
9	Peso de la briqueta en el aire (gr)	1177,40	1179,90	1180,50		
10	Peso de la briqueta en el agua (gr)	670,20	671,50	672,30		
11	Volumen de la briqueta por desplazamiento	507,20	508,40	508,20		
12	Peso específico bulk de la briqueta	2,321	2,321	2,323		2,322
13	Peso específico máximo ASTM D-2041	2,400	2,400	2,400		
14	% de vacíos	3,3	3,3	3,2		3,3
15	Peso específico bulk del agregado total	2,597	2,597	2,597		
16	VMA	15,99	16,01	15,93		16,0
17	% de vacíos llenados con C.A.	79,51	79,39	79,84		79,6
18	Peso específico del agregado total	2,628	2,628	2,628		
19	Asfalto absorbido por el agregado total	0,46	0,46	0,46		
20	% de asfalto efectivo	5,57	5,57	5,57		
21	Flujo (mm)	3,58	3,58	3,58		3,6
22	Lectura del Dial Anillo Marshall					
23	Estabilidad sin corregir (Kg)	950	985	956		
24	Factor de estabilidad	1,00	1,00	1,00		
25	Estabilidad corregida: (23°/24) (Kg)	950	985	956		964
26	Índice de rigidez: (10 * 25/21) (kg/cm.)	2672	2767	2688		2709

OBSERVACIONES

CIAA SANTA CRUZ SRL
LABORATORIO DE SUELOS
CONCRETO ASFALTICO
JAVIER SANTA CRUZ VELIZ
C.C. LABORATORIO

CIAA SANTA CRUZ S.C.R.L.
SUELOS CONCRETO ASFALTO
JUAN G. DIONISIO ISLA
INGENIERO CIVIL
CIP 130103



SANTA CRUZ
Especialistas en suelos y pavimentos

CIAA
SANTA
CRUZ
GEOTECNIA

CONSTRUCTORA INGENIEROS & ARQUITECTOS
ASESORES SANTA CRUZ SCRL

975151126 / 912880976 / (064) 581405
Av. Oriente N° 772 Concepción
Concepción - Junín
ciaasantacruz@gmail.com

ENSAYO DE MARSHALL ASTM D - (1559)
PORCENTAJES DE ASFALTO

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. ING. CIVIL, HAMIL ALDRIDGE URIBE IBAÑEZ
PROYECTO / OBRA : COMPARACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE MAC, CON UN PAVIMENTO CON RESINA EPOXY - HUANCAYO 2025
UBICACIÓN / DE OBRA : Dist. EL TAMBO
Prov. HUANCAYO
Dpto. JUNIN
TECNICO : J.D.P.Q
FECHA : 31/01/2025

ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de cemento asfáltico en peso de la mezcla	6,50	6,50	6,50		6,50
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	34,60	34,60	34,60		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	58,91	58,91	58,91		
4	% de agregado filler - concreto reciclado en peso de la mezcla					
5	Peso específico del cemento asfáltico - aparente	1,017	1,017	1,017		
6	Peso específico agregado grueso - bulk	2,674	2,674	2,674		
7	Peso específico agregado fino - bulk	2,554	2,554	2,554		
8	Peso específico filler concreto reciclado - aparente					
9	Peso de la briqueta en el aire (gr)	1177,80	1178,90	1180,50		
10	Peso de la briqueta en el agua (gr)	668,90	665,60	668,50		
11	Volumen de la briqueta por desplazamiento	508,90	513,30	512,00		
12	Peso específico bulk de la briqueta	2,314	2,297	2,306		2,306
13	Peso específico máximo ASTM D-2041	2,360	2,360	2,360		
14	% de vacíos	1,9	2,7	2,3		2,3
15	Peso específico bulk del agregado total	2,597	2,597	2,597		
16	VMA	16,69	17,32	17,00		17,0
17	% de vacíos llenados con C.A.	88,42	84,52	86,46		86,5
18	Peso específico del agregado total	2,599	2,599	2,599		
19	Asfalto absorbido por el agregado total	0,02	0,02	0,02		
20	% de asfalto efectivo	6,48	6,48	6,48		
21	Flujo (mm)	4,06	4,06	4,06		4,1
22	Lectura del Dial Anillo Marshall					
23	Estabilidad sin corregir (Kg)	788	820	835		
24	Factor de estabilidad	1,00	1,00	1,00		
25	Estabilidad corregida: (23*24) (Kg)	788	820	835		814
26	Índice de rigidez: (10 * 25/21) (kg/cm.)	1941	2020	2055		2005

OBSERVACIONES

CIAA SANTA CRUZ SRL
LABORATORIO DE SUELOS
CONCRETO ASFALTO

JAVIER SANTA CRUZ VELIZ
LABORATORISTA

CIAA SANTA CRUZ S.C.R.L
SUELOS CONCRETO ASFALTO

JUAN G. DIONISIO ISLA
INGENIERO CIVIL
CIP. 130103



ESPECIALISTAS EN SUELOS Y PAVIMENTOS

CIAA
SANTA
CRUZ
GEOTECNIA

CONSTRUCTORA INGENIEROS & ARQUITECTOS
ASESORES SANTA CRUZ SCRL

975151126 / 912880976 / (064) 581405
Av. Oriente N° 772 Concepción
Concepción - Junín
ciaasantacruz@gmail.com

ENSAYO DE MARSHALL ASTM D - (1559)
PORCENTAJES DE ASFALTO

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. ING. CIVIL. HAMIL ALDRIDGE URIBE IBAÑEZ
PROYECTO / OBRA : COMPARACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE UN PAVIMENTOFLEXIBLE MAC , CON UN PAVIMENTO CON RESINA EPOXY - HUANCAYO 2025
UBICACIÓN / DE OBRA : Dist. EL TAMBO
Prov. HUANCAYO
Dpto. JUNIN
TECNICO : J.D.P.Q
FECHA : 31/01/2025

ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de cemento asfáltico en peso de la mezcla	7,00	7,00	7,00		7,00
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	34,41	34,41	34,41		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	58,59	58,59	58,59		
4	% de agregado filler - concreto reciclado en peso de la mezcla					
5	Peso específico del cemento asfáltico - aparente	1,017	1,017	1,017		
6	Peso específico agregado grueso - bulk	2,674	2,674	2,674		
7	Peso específico agregado fino - bulk	2,554	2,554	2,554		
8	Peso específico filler concreto reciclado - aparente					
9	Peso de la briqueta en el aire (gr)	1188,40	1176,80	1182,40		
10	Peso de la briqueta en el agua (gr)	672,50	666,80	670,50		
11	Volumen de la briqueta por desplazamiento	515,90	510,00	511,90		
12	Peso específico bulk de la briqueta	2,304	2,307	2,310		2,307
13	Peso específico máximo ASTM D-2041	2,380	2,380	2,380		
14	% de vacíos	3,2	3,0	2,9		3,1
15	Peso específico bulk del agregado total	2,597	2,597	2,597		
16	VMA	17,52	17,38	17,30		17,4
17	% de vacíos llenados con C.A.	81,67	82,46	82,95		82,4
18	Peso específico del agregado total	2,647	2,647	2,647		
19	Asfalto absorbido por el agregado total	0,73	0,73	0,73		
20	% de asfalto efectivo	6,32	6,32	6,32		
21	Flujo (mm)	4,32	4,32	4,32		4,3
22	Lectura del Dial Anillo Marshall					
23	Estabilidad sin corregir (Kg)	650	750	825		
24	Factor de estabilidad	1,00	1,00	1,00		
25	Estabilidad corregida: (23*24) (Kg)	650	750	825		742
26	Índice de rigidez: (10 * 25/21) (Kg/cm.)	1505	1737	1911		1718

OBSERVACIONES

CIAA SANTA CRUZ SRL
LABORATORIO DE SUELOS
CONCRETO Y ASFALTO

JAVIER SANTA CRUZ VELIZ
LABORADOR

CIAA SANTA CRUZ S.C.R.L
SUELOS CONCRETO ASFALTO

JUAN G. DIONISIO SULA
INGENIERO CIVIL
CIP 130103



Especialistas en suelos y pavimentos

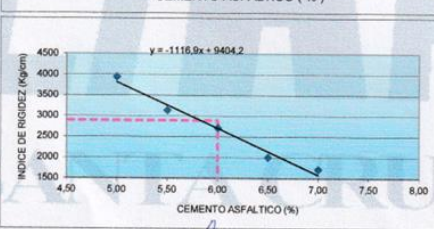
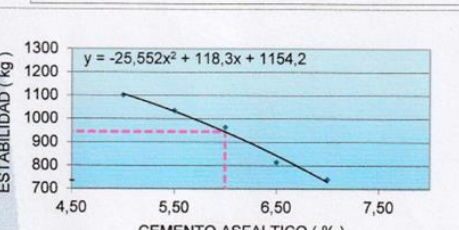
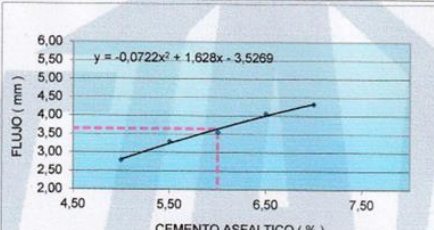
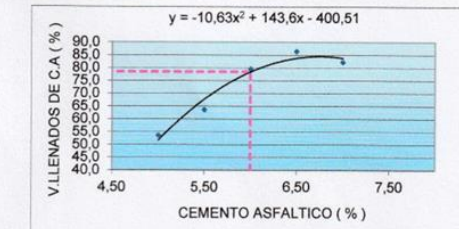
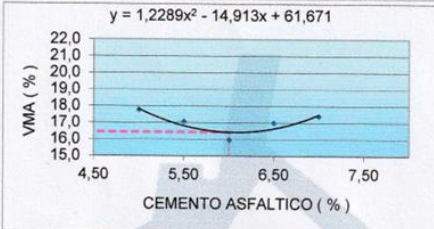
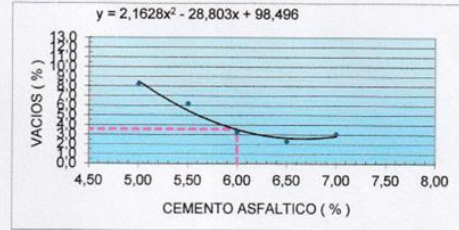
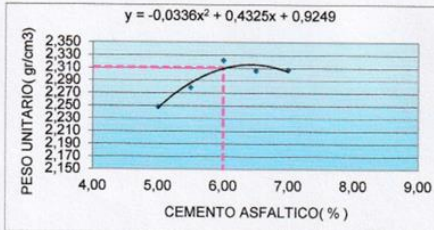
CIAA
SANTA
CRUZ
GEOTECNIA

CONSTRUCTORA INGENIEROS & ARQUITECTOS
ASESORES SANTA CRUZ SCRL

975151126 / 912880976 / (064) 581405
Av. Oriente N° 772 Concepción
Concepción - Junín
ciaasantacruz@gmail.com

ENSAYO DE MARSHALL ASTM D - (1559) CAPA DE RODADURA

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. ING. CIVIL. HAMIL ALDRIDGE URIBE IBAÑEZ
PROYECTO / OBRA : COMPARACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE MAC, CON UN PAVIMENTO CON RESINA EPOXY - HUANCAYO 2025
TIPO DE DISEÑO : DISEÑO MARSHALL - MAC2
UBICACION / DE OBRA : Dist. EL TAMBO
 Prov. HUANCAYO
 Dpto. JUNIN
DOSIFICACION AGREGADOS : PIEDRA CHANCADA 1/2" - 27%
 ARENA ZARANDADA 30%
 ARENA CHANCADA 43%
TECNICO : J.S.C.V
FECHA : 18/12/2024
 CEM. ASFALTICO : PEN - 85/100



RESULTADOS :

	0,2- 6,0 +0,2	ESPECIFIC.
OPTIMO CONTENIDO C.A (%)	6,0	MIN
PESO UNITARIO (gr/cm ³)	2,310	
VACIOS (%)	3,5	3 - 5
V.M.A (%)	16,4	MIN 14
V. LLENADOS C.A (%)	78,4	
FLUJO (mm)	3,6	2 - 4
ESTABILIDAD (kg)	944	MIN 815
INDICE DE RIGIDEZ (kg/cm)	2,890	1700 - 4000

CIAA SANTA CRUZ SRL
LABORATORIO DE SUELOS
CONCRETO ASFALTADO

JAVIER SANTA CRUZ VELLIZ
LABORATORIO

CIAA SANTA CRUZ S.C.R.L
SUELOS CONCRETO ASFALTO

JUAN G. DIONISIO ISLA
INGENIERO CIVIL
DIR 130103



SANTA CRUZ

Especialistas en suelos y pavimentos

CIAA
SANTA
CRUZ
GEOTECNIA

CONSTRUCTORA INGENIEROS & ARQUITECTOS
ASESORES SANTA CRUZ SCRL

975151126 / 912880976 / (064) 581405
Av. Oriente N° 772 Concepción
Concepción – Junín
ciaasantacruz@gmail.com

ENSAYO DE MARSHALL ASTM D - (1559)
PORCENTAJES DE ASFALTO EN LA MUESTRA TIPO SMA

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. ING. CIVIL. HAMIL ALDRIDGE URIBE IBAÑEZ
PROYECTO / OBRA : COMPARACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE MAC, CON UN PAVIMENTO CON RESINA EPOXY - HUANCAYO 2025
UBICACIÓN / DE OBRA : Dist. EL TAMBO
Prov. HUANCAYO
Dpto. JUNIN
TECNICO : J.S.C.V
FECHA : 31/01/2025

RESINA EPOXY AL 9%
ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559

ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de resina epoxy en peso de la mezcla	9,00	9,00	9,00		9,00
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	34,58	34,58	34,58		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	56,42	56,42	56,42		
4	% de agregado tiller - concreto reciclado en peso de la mezcla					
5	Peso especifico de la resina epoxy	1,100	1,100	1,100		
6	Peso especifico agregado grueso - bulk	2,674	2,674	2,674		
7	Peso especifico agregado fino - bulk	2,554	2,554	2,554		
8	Peso especifico filler - aparente					
9	Peso de la briqueta en el aire (gr)	1161,40	1175,20	1168,90		1.169
10	Peso de la briqueta en el agua (gr)	656,00	668,00	662,00		662
11	Volumen de la briqueta por desplazamiento	505,40	507,20	506,90		
12	Peso especifico bulk de la briqueta	2,298	2,317	2,306		2,307
13	Peso especifico maximo ASTM D-2041	2,530	2,530	2,530		
14	% de vacios	9,2	8,4	8,9		8,8
15	Peso especifico bulk del agregado total	2,599	2,599	2,599		
16	VMA	19,53	18,86	19,25		19,2
17	% de vacios llenados con C.A.	53,03	55,37	53,99		54,1
18	Peso especifico del agregado total	2,903	2,903	2,903		
19	Asfalto absorbido por el agregado total	4,44	4,44	4,44		
20	% de resina epoxy efectivo	4,96	4,96	4,96		
21	Flujo (mm)	2,54	2,54	2,54		2,5
22	Lectura del Dial Anillo Marshall					250,3
23	Estabilidad sin corregir (Kg)	4059	3989	4010		
24	Factor de estabilidad	1,00	1,00	1,00		
25	Estabilidad corregida: (23*24) (Kg)	4059	3989	4010		4019
26	Indice de rigidez: (10 * 25/21) (kg/cm.)	15980	15705	15787		15824

OBSERVACIONES

La estabilidad supera la capacidad de 5000 Kg

CIAA SANTA CRUZ SRL
LABORATORIO DE SUELOS
CONCRETO ASFALTO
JAVIER SANTA CRUZ VELIZ
COORDINADOR

CIAA SANTA CRUZ S.C.R.L
SUELOS CONCRETO ASFALTO
JUAN G. DIONISIO ISLA
INGENIERO CIVIL
CIP. 130103



Especialistas en suelos y pavimentos

CIAA
SANTA CRUZ
GEOTECNIA

CONSTRUCTORA INGENIEROS & ARQUITECTOS
ASESORES SANTA CRUZ SCRL

975151126 / 912880976 / (064) 581405
Av. Oriente N° 772 Concepción
Concepción - Junín
ciaasantacruz@gmail.com

ENSAYO DE MARSHALL ASTM D - (1559)
PORCENTAJES DE ASFALTO EN LA MUESTRA TIPO SMA

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. ING. CIVIL HAMIL ALDRIDGE URIBE IBAÑEZ
PROYECTO / OBRA : COMPARACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE MAC , CON UN PAVIMENTO CON RESINA EPOXY - HUANCAYO 2025
UBICACIÓN / DE OBRA : Dist. EL TAMBO
Prov. HUANCAYO
Dpto. JUNIN
TECNICO : J.S.C.V
FECHA : 31/01/2025

RESINA EPOXY AL 9,5%
ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559

ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de resina epoxy en peso de la mezcla	9,50	9,50	9,50		9,50
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	34,39	34,39	34,39		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	56,11	56,11	56,11		
4	% de agregado filler - concreto reciclado en peso de la mezcla					
5	Peso específico de la resina epoxy	1,100	1,100	1,100		
6	Peso específico agregado grueso - bulk	2,674	2,674	2,674		
7	Peso específico agregado fino - bulk	2,554	2,554	2,554		
8	Peso específico filler - aparente					
9	Peso de la briqueta en el aire (gr)	1171,00	1180,50	1178,60		
10	Peso de la briqueta en el agua (gr)	663,50	668,60	668,00		
11	Volumen de la briqueta por desplazamiento	507,50	511,90	510,60		
12	Peso específico bulk de la briqueta	2,307	2,306	2,308		2,307
13	Peso específico máximo ASTM D-2041	2,523	2,523	2,523		
14	% de vacíos	8,5	8,6	8,5		8,6
15	Peso específico bulk del agregado total	2,599	2,599	2,599		
16	VMA	19,64	19,69	19,81		19,6
17	% de vacíos llenados con C.A.	56,49	56,33	56,60		56,5
18	Peso específico del agregado total	2,919	2,919	2,919		
19	Asfalto absorbido por el agregado total	4,65	4,65	4,65		
20	% de resina epoxy efectivo	5,29	5,29	5,29		
21	Flujo (mm)	3,05	3,05	3,05		3,0
22	Lectura del Dial Anillo Marshall					226,0
23	Estabilidad sin corregir (Kg)	4212	4250	4285		
24	Factor de estabilidad	1,00	1,00	1,00		
25	Estabilidad corregida: (23*24) (Kg)	4212	4250	4285		4249
26	Índice de rigidez: (10 * 25/21) (kg/cm.)	13819	13944	14058		13940

OBSERVACIONES *La estabilidad supera la capacidad de 5000kg*

CIAA SANTA CRUZ S.R.L.
LABORATORIO DE SUELOS
CONCRETO ASFALTO
JAVIER SANTA CRUZ VELAZQUEZ
CP LABORATORIO

CIAA SANTA CRUZ S.C.R.L.
SUELOS CONCRETO ASFALTO
JUAN G. DIONISIO ISLA
INGENIERO CIVIL
CIP 130103



Especialistas en suelos y pavimentos

CIAA
SANTA
CRUZ
GEOTECNIA

CONSTRUCTORA INGENIEROS & ARQUITECTOS
ASESORES SANTA CRUZ SCRL

975151126 / 912880976 / (064) 581405

Av. Oriente N° 772 Concepción

Concepción - Junín

ciaasantacruz@gmail.com

ENSAYO DE MARSHALL ASTM D - (1559)
PORCENTAJES DE ASFALTO EN LA MUESTRA TIPO SMA

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. ING. CIVIL. HAMIL ALDRIDGE URIBE IBAÑEZ
PROYECTO / OBRA : COMPARACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE MAC, CON UN PAVIMENTO CON RESINA EPOXY - HUANCAYO 2025
UBICACIÓN / DE OBRA : Dist. EL TAMBO
Prov. HUANCAYO
Dpto. JUNIN
TECNICO : J.S.C.V
FECHA : 31/01/2025

RESINA EPOXY AL 10%

ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559

ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de resina epoxy en peso de la mezcla	10,00	10,00	10,00		10,00
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	34,20	34,20	34,20		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	55,80	55,80	55,80		
4	% de agregado filler - concreto reciclado en peso de la mezcla					
5	Peso especifico de la resina epoxy	1,017	1,017	1,017		
6	Peso especifico agregado grueso - bulk	2,674	2,674	2,674		
7	Peso especifico agregado fino - bulk	2,554	2,554	2,554		
8	Peso especifico filler - aparente					
9	Peso de la briqueta en el aire (gr)	1143,00	1158,50	1160,80		
10	Peso de la briqueta en el agua (gr)	642,20	652,00	652,20		
11	Volumen de la briqueta por desplazamiento	500,80	506,50	508,60		
12	Peso especifico bulk de la briqueta	2,282	2,287	2,282		2,284
13	Peso especifico maximo ASTM D-2041	2,525	2,525	2,525		
14	% de vacios	9,6	9,4	9,6		9,5
15	Peso especifico bulk del agregado total	2,599	2,599	2,599		
16	VMA	20,95	20,78	20,95		20,9
17	% de vacios llenados con C.A.	54,13	54,69	54,13		54,3
18	Peso especifico del agregado total	3,023	3,023	3,023		
19	Asfalto absorbido por el agregado total	5,50	5,50	5,50		
20	% de resina epoxy efectivo	5,05	5,05	5,05		
21	Flujo (mm)	3,56	3,56	3,56		3,6
22	Lectura del Dial Anillo Marshall					
23	Estabilidad sin corregir (Kg)	4250	4355	4385		
24	Factor de estabilidad	1,00	1,00	1,00		
25	Estabilidad corregida: (23*24) (Kg)	4250	4355	4385		4330
26	Indice de rigidez: (10 * 25/21) (kg/cm.)	11952	12247	12331		12177

OBSERVACIONES: La estabilidad supera la capacidad de 5000 kg.

CIAA SANTA CRUZ SRL
LABORATORIO DE SUELOS
CONCRETO
JAVIER SANTA CRUZ VELAZQUEZ
INGENIERO CIVIL

CIAA SANTA CRUZ S.C.R.L
SUELOS CONCRETO ASFALTO
JUAN G. BIONISIO ISLA
INGENIERO CIVIL
CIP 130103



SANTA CRUZ
Especialistas en suelos y pavimentos

CIAA
SANTA
CRUZ
GEOTECNIA

CONSTRUCTORA INGENIEROS & ARQUITECTOS
ASESORES SANTA CRUZ SCRL

975151126 / 912880976 / (064) 581405

Av. Oriente N° 772 Concepción

Concepción - Junín

ciaasantacruz@gmail.com

ENSAYO DE MARSHALL ASTM D - (1559)
PORCENTAJES DE ASFALTO EN LA MUESTRA TIPO SMA

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. ING. CIVIL, HAMIL ALDRIDGE URIBE IBAÑEZ
PROYECTO / OBRA : COMPARACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE MAC, CON UN PAVIMENTO CON RESINA EPOXY - HUANCAYO 2025
UBICACIÓN / DE OBRA : Dist. EL TAMBO
Prov. HUANCAYO
Dpto. JUNIN
TECNICO : J.S.C.V
FECHA : 31/01/2025

RESINA EPOXY AL 10,5%
ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559

ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de resina epoxy en peso de la mezcla	10,50	10,50	10,50		10,50
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	34,01	34,01	34,01		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	55,49	55,49	55,49		
4	% de agregado filler - concreto reciclado en peso de la mezcla					
5	Peso especifico de la resina epoxy	1,017	1,017	1,017		
6	Peso especifico agregado grueso - bulk	2,674	2,674	2,674		
7	Peso especifico agregado fino - bulk	2,554	2,554	2,554		
8	Peso especifico filler - aparente					
9	Peso de la briqueta en el aire (gr)	1153,40	1175,60	1188,50		
10	Peso de la briqueta en el agua (gr)	646,60	659,50	655,00		
11	Volumen de la briqueta por desplazamiento	506,80	516,10	513,50		
12	Peso especifico bulk de la briqueta	2,276	2,278	2,276		2,276
13	Peso especifico maximo ASTM D-2041	2,518	2,518	2,518		
14	% de vacios	9,6	9,5	9,6		9,6
15	Peso especifico bulk del agregado total	2,599	2,599	2,599		
16	VMA	21,62	21,55	21,62		21,6
17	% de vacios llenados con C.A.	55,51	55,74	55,48		55,6
18	Peso especifico del agregado total	3,045	3,045	3,045		
19	Asfalto absorbido por el agregado total	5,74	5,74	5,74		
20	% de resina epoxy efectivo	5,36	5,36	5,36		
21	Flujo (mm)	3,56	3,56	3,56		3,6
22	Lectura del Dial Anillo Marshall					
23	Estabilidad sin corregir (Kg)	4350	4410	4450		
24	Factor de estabilidad	1,00	1,00	1,00		
25	Estabilidad corregida: (23*24) (Kg)	4350	4410	4450		4403
26	Indice de rigidez: (10 * 25/21) (kg/cm.)	12219	12388	12500		12369

OBSERVACIONES La estabilidad supera la capacidad de 5000kg

CIAA SANTA CRUZ SRL
LABORATORIO DE SUELOS
CONCRETO ASFALTO
JAVIER SANTA CRUZ VELIZ
LABORATORIO

CIAA SANTA CRUZ S.C.R.L
SUELOS CONCRETO ASFALTO
JUAN G. DIONISIO ISLA
INGENIERO CIVIL
CIP 130103



Especialistas en suelos y pavimentos

CIAA
SANTA
CRUZ
GEOTECNIA

CONSTRUCTORA INGENIEROS & ARQUITECTOS
ASESORES SANTA CRUZ SRL

975151126 / 912880976 / (064) 581405
Av. Oriente N° 772 Concepción
Concepción - Junín
ciaasantacruz@gmail.com

ENSAYO DE MARSHALL ASTM D - (1559)
PORCENTAJES DE ASFALTO EN LA MUESTRA TIPO SMA

SOLICITADO / PETICIONARIO : BACH. ING. CIVIL. HAMIL ALDRIDGE URIBE IBAÑEZ
PROYECTO / OBRA : COMPARACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE UN PAVIMENTOFLEXIBLE MAC , CON UN PAVIMENTO CON RESINA EPOXY - HUANCAYO 2025
UBICACIÓN / DE OBRA : Dist. EL TAMBO
Prov. HUANCAYO
Dpto. JUNIN
TECNICO : J.S.C.V
FECHA : 31/01/2025

RESINA EPOXY AL 11%
ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559

ITEM	PASO	1	2	3	4	PROMEDIO
1	% de resina epoxy en peso de la mezcla	11,00	11,00	11,00		11,00
2	% de agregado grueso en peso de la mezcla	33,82	33,82	33,82		
3	% de agregado fino en peso de la mezcla	55,18	55,18	55,18		
4	% de agregado filler - concreto reciclado en peso de la mezcla					
5	Peso especifico de la resina epoxy	1,017	1,017	1,017		
6	Peso especifico agregado grueso - bulk	2,674	2,674	2,674		
7	Peso especifico agregado fino - bulk	2,554	2,554	2,554		
8	Peso especifico filler - aparente					
9	Peso de la briqueta en el aire (gr)	1150,00	1155,80	1160,50		
10	Peso de la briqueta en el agua (gr)	647,00	647,80	650,80		
11	Volumen de la briqueta por desplazamiento	503,00	508,00	509,90		
12	Peso especifico bulk de la briqueta	2,286	2,275	2,276		2,279
13	Peso especifico maximo ASTM D-2041	2,470	2,470	2,470		
14	% de vacios	7,4	7,9	7,9		7,7
15	Peso especifico bulk del agregado total	2,599	2,599	2,599		
16	VMA	21,70	22,09	22,05		21,9
17	% de vacios llenados con C.A.	65,72	64,22	64,37		64,8
18	Peso especifico del agregado total	3,000	3,000	3,000		
19	Asfalto absorbido por el agregado total	5,23	5,23	5,23		
20	% de resina epoxy efectivo	6,34	6,34	6,34		
21	Flujo (mm)	3,56	3,56	3,56		3,6
22	Lectura del Dial Anillo Marshall					
23	Estabilidad sin corregir (Kg)	4420	4385	4425		
24	Factor de estabilidad	1,00	1,00	1,00		
25	Estabilidad corregida: (23*24) (Kg)	4420	4385	4425		4410
26	Indice de rigidez: (10 * 25/21) (kg/cm.)	12430	12331	12444		12402

OBSERVACIONES *La estabilidad supera la capacidad de 5000 kg*

CIAA SANTA CRUZ SRL
LABORATORIO DE SUELOS
CONCRETO ASFALTOS
LABORATORIO
SANTA CRUZ, VELIZ
LABORATORIO

CIAA SANTA CRUZ S.C.R.L
SUELOS CONCRETO ASFALTO
LABORATORIO
JUAN G. DIONISIO ISLA
INGENIERO CIVIL
CIP. 130103

ENSAYO CANTABRO

Metodo Máquina de los Angeles
MTC E 515

SOLICITA / PETICIONARIO: BACH. ING. CIVIL. HAMIL ALDRIDGE URIBE IBAÑEZ

PROYECTO / OBRA : COMPARACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE MAC , CON UN PAVIMENTO CON RESINA EPOXY - HUANCAYO 2025

CANTERA N° / UBICACIÓN : ORCOTUNA

UBICACIÓN DE OBRA : Distrito EL TAMBO
 Provincia HUANCAYO
 Departamento JUNIN

TECNICO : J.Santa Cruz V.
FECHA : 31/01/2025

MEZCLA CONVENCIONAL

% OPTIMO DE PEN	6,0%	6,00%	6,00%					
PESO INICIAL	1150	1140	1148					
PESO FINAL	1050,5	1040,9	1044,9					
PERDIDA	99,5	99,1	103,1					
DESGASTE	8,652173913	8,692982456	8,980836237					
PROMEDIO	8,775330869							

CIAA SANTA CRUZ SRL
 LABORATORIO DE SUELOS
 CONCRETO Y ASFALTO

JAVIER SANTA CRUZ VELIZ
 CIP 130103

CIAA SANTA CRUZ S.C.R.L
 SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

JUAN G. DIONISIO ISLA
 INGENIERO CIVIL
 CIP 130103

SANTA CRUZ



Especialistas en suelos y pavimentos

CIAA
SANTA
CRUZ
GEOTECNIA

CONSTRUCTORA INGENIEROS & ARQUITECTOS
ASESORES SANTA CRUZ SCRL

975151126 / 912880976 / (064) 581405
Av. Oriente N° 772 Concepción
Concepción - Junín
ciaasantacruz@gmail.com

ENSAYO CANTABRO

Metodo Máquina de los Angeles
MTC E 515

SOLICITA / PETICIONARIO: BACH. ING. CIVIL. HAMIL ALDRIDGE URIBE IBÁÑEZ
PROYECTO / OBRA : COMPARACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE MAC
, CON UN PAVIMENTO CON RESINA EPOXY - HUANCAYO 2025

CANTERA N° / UBICACIÓN : ORCOTUNA

UBICACIÓN DE OBRA : Distrito EL TAMBO
Provincia HUANCAYO TECNICO J.Santa Cruz V.
Departamen JUNIN FECHA 31/01/2025

% DE RESINA EPOXY	9,0%	9,00%	9,00%						
PESO INICIAL	1161,4	1140,5	1150,5						
PESO FINAL	1135,5	1114,9	1124,5						
PERDIDA	25,9	25,6	26						
DESGASTE	2,2300672	2,2446295	2,259887						
PROMEDIO	2,24								

CIAA SANTA CRUZ SRL
LABORATORIO DE SUELOS
CONCRETO ASFALTO

JAVIER SANTA CRUZ VELIZ
LABORATORISTA

CIAA SANTA CRUZ S.C.R.L
SUELOS CONCRETO ASFALTO

JUAN G. DIONISIO SULA
INGENIERO CIVIL
CIP 130103

SANTA CRUZ



Especialistas en suelos y pavimentos

CIAA
SANTA
CRUZ
GEOTECNIA

CONSTRUCTORA INGENIEROS & ARQUITECTOS
ASESORES SANTA CRUZ SCRL

975151126 / 912880976 / (064) 581405
Av. Oriente N° 772 Concepción
Concepción - Junín
ciasantacruz@gmail.com

ENSAYO CANTABRO

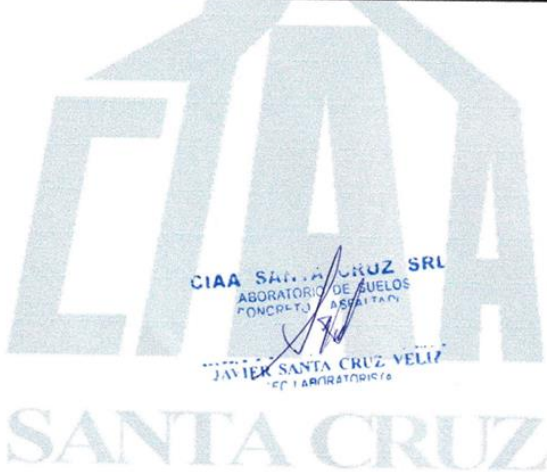
Metodo Máquina de los Angeles
MTC E 515

SOLICITA / PETICIONARIO: BACH. ING. CIVIL. HAMIL ALDRIDGE URIBE IBAÑEZ
PROYECTO / OBRA : COMPARACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE UN PAVIMENTOFLEXIBLE MAC
, CON UN PAVIMENTO CON RESINA EPOXY - HUANCAYO 2025

CANTERA N° / UBICACIÓN : ORCOTUNA

UBICACIÓN DE OBRA : Distrito EL TAMBO
Provincia HUANCAYO TECNICO J.Santa Cruz V.
Departamen JUNIN FECHA 31/01/2025

% DE RESINA EPOXY	9.5%	9.50%	9.50%						
PESO INICIAL	1171	1165.6	1170.8						
PESO FINAL	1144.1	1138	1143.5						
PERDIDA	26.9	27.6	27.3						
DESGASTE	2.2971819	2.3678792	2.331739						
PROMEDIO	2,33								



CIAA SANTA CRUZ SRL
LABORATORIO DE SUELOS
CONCRETO ASFALTADO
JAVIER SANTA CRUZ VELIZ
CP LABORATORISTA

CIAA SANTA CRUZ S.C.R.L.
SUELOS CONCRETO ASFALTO
JUAN G. BRONISIO ISLA
INGENIERO CIVIL
CIP. 130103



Especialistas en suelos y pavimentos

CIAA
SANTA
CRUZ
GEOTECNIA

CONSTRUCTORA INGENIEROS & ARQUITECTOS
ASESORES SANTA CRUZ SCRL

975151126 / 912880976 / (064) 581405
Av. Oriente N° 772 Concepción
Concepción - Junín
ciaasantacruz@gmail.com

ENSAYO CANTABRO

Metodo Máquina de los Angeles
MTC E 515

SOLICITA / PETICIONARIO: BACH. ING. CIVIL. HAMIL ALDRIDGE URIBE IBAÑEZ
PROYECTO / OBRA : COMPARACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE UN PAVIMENTOFLEXIBLE MAC
, CON UN PAVIMENTO CON RESINA EPOXY - HUANCAYO 2025
CANTERA N° / UBICACIÓN : ORCOTUNA

UBICACIÓN DE OBRA : Distrito EL TAMBO
Provincia HUANCAYO TECNICO J.Santa Cruz V.
Departamen JUNIN FECHA 31/01/2025

% DE RESINA EPOXY	10,0%	10,00%	10,00%						
PESO INICIAL	1143,6	1145,5	1150,2						
PESO FINAL	1115,1	1116,9	1121,5						
PERDIDA	28,5	28,6	28,7						
DESGASTE	2,4921301	2,4967263	2,4952182						
PROMEDIO	2,49								



CIAA SANTA CRUZ S.C.
LABORATORIO DE SUELOS
CONCRETO Y ASFALTO
JAVIER SANTA CRUZ VELIZ
INGENIERO CIVIL

CIAA SANTA CRUZ S.C.F.U.
SUELOS CONCRETO ASFALTO
JUAN G. DIONISIO ISLA
INGENIERO CIVIL
CIP. 130103

SANTA CRUZ



Especialistas en suelos y pavimentos

CIAA
SANTA
CRUZ
GEOTECNIA

CONSTRUCTORA INGENIEROS & ARQUITECTOS
ASESORES SANTA CRUZ SCRL

975151126 / 912880976 / (064) 581405
Av. Oriente N° 772 Concepción
Concepción – Junín
ciaasantacruz@gmail.com

ENSAYO CANTABRO

Metodo Máquina de los Angeles
MTC E 515

SOLICITA / PETICIONARIO: BACH. ING. CIVIL. HAMIL ALDRIDGE URIBE IBAÑEZ

PROYECTO / OBRA : COMPARACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE MAC
, CON UN PAVIMENTO CON RESINA EPOXY - HUANCAYO 2025

CANTERA N° / UBICACIÓN : ORCOTUNA

UBICACIÓN DE OBRA : Distrito EL TAMBO
Provincia HUANCAYO
Departamen JUNIN

TECNICO J.Santa Cruz V.
FECHA 31/01/2025

% DE RESINA EPOXY	10,5%	10,50%	10,50%						
PESO INICIAL	1153,4	1160,5	1170,6						
PESO FINAL	1124,2	1130,5	1140,5						
PERDIDA	29,2	30	30,1						
DESGASTE	2,5316456	2,5850926	2,5713309						
PROMEDIO	2,56								

CIAA SANTA CRUZ SRL
LABORATORIO DE SUELOS
CONCRETO ASFALTO
JAVIER SANTA CRUZ VELIZ
LABORATORISTA

CIAA SANTA CRUZ S.C.R.L
SUELOS CONCRETO ASFALTO
JUAN G. BIGNISIO ISLA
INGENIERO CIVIL
CIP 130103

SANTA CRUZ



Especialistas en suelos y pavimentos

CIAA
SANTA
CRUZ
GEOTECNIA

CONSTRUCTORA INGENIEROS & ARQUITECTOS
ASESORES SANTA CRUZ SCRL

975151126 / 912880976 / (064) 581405
Av. Oriente N° 772 Concepción
Concepción - Junín
ciaasantacruz@gmail.com

ENSAYO CANTABRO

Metodo Máquina de los Angeles
MTC E 515

SOLICITA / PETICIONARIO: BACH. ING. CIVIL. HAMIL ALDRIDGE URIBE IBAÑEZ
PROYECTO / OBRA : COMPARACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE MAC
CON UN PAVIMENTO CON RESINA EPOXY - HUANCAYO 2025
CANTERA N° / UBICACIÓN : ORCOTUNA

UBICACIÓN DE OBRA : Distrito EL TAMBO
Provincia HUANCAYO TECNICO J. Santa Cruz V.
Departamen JUNIN FECHA 31/01/2025

% DE RESINA EPOXY	11,0%	11,00%	11,00%						
PESO INICIAL	1150,1	1155,6	1160,5						
PESO FINAL	1116,3	1121	1126,5						
PERDIDA	33,8	34,6	34						
DESGASTE	2,9388749	2,9941156	2,9297717						
PROMEDIO	2,95								

CIAA SANTA CRUZ SRL
LABORATORIO DE SUELOS
CONCRETO ASFALTADO
JAVIER SANTA CRUZ VELIZ
LABORATORISTA

LIAA SANTA CRUZ S.C.R.L.
SUELOS CONCRETO ASFALTO
JUAN G. DIONISIO ISLA
INGENIERO CIVIL
CIP 130103

SANTA CRUZ

Anexo 5: Certificados de calibración

 CALIBRACIONES PERU S.A.C.		LABORATORIO DE METROLOGIA Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio	
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN		LMF-010-2025	
Laboratorio de Fuerza		Pág. 1 de 2	
Expediente	10		
Solicitante	CONSTRUCTORA INGENIEROS Y ARQUITECTOS ASESORES SANTA CRUZ SOCIEDAD COMERCIAL DE RESPONSABILIDAD LIMITADA		
Dirección	AV. ORIENTE NRO. 772 (FRENTE A FABRICA DE EMBUTIDOS HUAYCHULO) JUNIN - CONCEPCION - CONCEPCION		
Instrumento de Medición	Máquinas para Ensayos Uniaxiales Estáticos Máquinas de Ensayo de Tensión / Compresión		
Equipo Calibrado	PRENSA CBR MARSHALL (DIGITAL)		
Alcance de Indicación	5000 KGF	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).	
Marca (o Fabricante)	A&A INSTRUMENT	Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración.	
Modelo	STM-1		
Número de Serie	130802		
Identificación	NO INDICA	Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio emisor.	
Procedencia	CHINO	Los certificados de calibración sin firma y sello no son válidos.	
Indicador de Lectura	DIGITAL		
Marca (o Fabricante)	HIWEIGH		
Modelo	NO INDICA		
Número de Serie	NO INDICA		
Identificación	NO INDICA		
Procedencia	CHINA		
Alcance de Indicación	0 KGF - A 5000 KGF		
Resolución	0,1 KGF		
Transductor de Fuerza	CELDA " S"		
Alcance de Indicación	5.0T		
Marca (o Fabricante)	ZEMIC		
Modelo	H3-C3-5.0t-68		
Número de Serie	5.0 TP2C032509		
Fecha de Calibración	2025-04-21		
Lugar de Calibración	LABORATORIO DEL SOLICITANTE		
Sello	Fecha de emisión	Jefe del laboratorio de calibración  ROBERTO QUINTO	
	2025-04-21		
CALIBRACIONES PERU S.A.C. - RUC: 20604149721 Jr. Pasco N° 3312 San Martín De Porres, Lima - Perú Telf.: (01) 397 8754 Cel.: 954 187 027		E-mail: ventas@calibracionesperu.pe metrologia@calibracionesperu.pe www.calibracionesperu.pe	



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LMF-010-2025

Laboratorio de Fuerza

Pág. 2 de 2

Método de Calibración

La calibración se realizó tomando como referencia el método descrito en la norma ISO 7500-1 / ISO 376

Verificación de Máquinas para Ensayos Uniaxiales Estáticos, Máquinas de Ensayo de Tensión / Compresión

Verificación y Calibración del Sistema de Medición de Fuerza.

Trazabilidad

Se utilizó patrón calibrado con trazabilidad al SI, calibrado por la Pontificia Universidad Católica del Perú

Con Certificado N° INF - LE 111 22 B

Resultados de medición

Lectura de la máquina (Fi)	Lectura del patrón				Promedio	Cálculo de errores		Incertidumbre
	%	KGf	Primera	Segunda		Tercera	Exactitud	
10	500	501,0	501,0	501,0	501,0	-0,2	0,0	0,38
20	1000	1002,0	1002,0	1002,0	1002,0	-0,2	0,0	0,28
30	1500	1503,0	1503,0	1503,0	1503,0	-0,2	0,0	0,26
40	2000	2003,0	2003,0	2003,0	2003,0	-0,1	0,0	0,25
50	2500	2503,0	2503,0	2503,0	2503,0	-0,1	0,0	0,25
60	3000	3002,0	3002,0	3002,0	3002,0	-0,1	0,0	0,24
70	3500	3503,0	3503,0	3503,0	3503,0	-0,1	0,0	0,24
80	4000	4003,0	4003,0	4003,0	4003,0	-0,1	0,0	0,24
90	4500	4504,0	4504,0	4504,0	4504,0	-0,1	0,0	0,24
100	5000	5004,0	5004,0	5004,0	5004,0	-0,1	0,0	0,24
Lectura máquina en cero		0	0	0	---	0	0	Error máx. de cero(0)=0,00

Temperatura promedio durante los ensayos 18.0 °C; Varación de temperatura en cada ensayo < 2 °C.

Evaluación de los resultados

Los errores encontrados entre el 20% y el 100% del rango nominal considerado no superan los valores máximos permitidos establecidos en la norma ISO 7500-1.

Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de "CALIBRADO"
- La incertidumbre de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estandar de la medición por el factor de cobertura k=2 para una distribución normal de aproximadamente 95 %.

Fin del documento





CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

LMM-054-2025

Laboratorio de Masa

Pág. 1 de 3

Expediente	10	
Solicitante	CONSTRUCTORA INGENIEROS Y ARQUITECTOS ASESORES SANTA CRUZ SOCIEDAD COMERCIAL DE RESPONSABILIDAD LIMITADA	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
Dirección	AV. ORIENTE NRO. 772 (FRENTE A FABRICA DE EMBUTIDOS HUAYCHULO) JUNIN - CONCEPCION - CONCEPCION	
Instrumento de Medición	BALANZA NO AUTOMATICA	Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración.
Marca (o Fabricante)	OHAUS	
Modelo	R31P30	Los certificados de calibración sin firma y sello no son válidos.
Numero de Serie	8335440482	
Procedencia	USA	
Tipo	Electronica	
Identificación	No indica	Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio emisor.
Alcance de Indicación	0 gr a 30000 gr	
Division de escala (d) o resolución	1 gr	
Div.verifc. De escala (e)	10 gr (*)	
Capacidad Minima	20 gr (**)	
Clase de exactitud	III (***)	
Lugar de Calibración	LABORAORIO DEL CALIBRACIONES PERU SAC	
Fecha de Calibración	2025-03-15	


La calibracion se realizo según el metodo descrito en el PC-001, "Procedimiento de calibracion de Balanzas de Funcionamiento no Automatico Clase III y Clase IIII" del SNM-INDECOPI. Edicion tercera Enero 2009.

Trazabilidad

Los resultados de la calibración realizada tienen trazabilidad a los patrones nacionales del INACAL-DM, en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI)

Patrones utilizados :

0499-MPES-C-2022 , 0497-MPES-C-2022, 0045-MPES-C-2022, 0046-MPES-C-2022,

Sello	Fecha de emisión	Jefe del laboratorio de calibración
	2023-11-15	
		ROBERTO QUINTO

CALIBRACIONES PERU S.A.C. - RUC: 20604149721
Jr. Pasco N° 3312 San Martín De Porres, Lima - Perú
Telf.: (01) 397 8754 Cel.: 954 187 027

E-mail: ventas@calibracionesperu.pe
metrologia@calibracionesperu.pe
www.calibracionesperu.pe



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

LMM-054-2025

Laboratorio de Masa

Pág. 2 de 3

Resultados de Medición

INSPECCION VISUAL

AJUSTES DE ACERO	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACION LIBRE	TIENE	CURSOS	NO TIENE
PLATAFORMA	TIENE	NIVELACION	TIENE
SISTEMA DE TRABA	NO TIENE		

ENSAYO DE RETABILIDAD

Temperatura	Inicial 20.4 °C	Final 20.4 °C
-------------	-----------------	---------------

Medición N°	Carga L1= 15000 g			Carga L2= 30000 g		
	l (g)	ΔL (g)	E (g)	l (g)	ΔL (g)	E (g)
1	15001	0.4	4.6	30001	0.6	3.4
2	15001	0.4	4.6	30001	0.6	3.4
3	15001	0.4	4.6	30001	0.6	3.4
4	15001	0.4	4.6	30001	0.6	3.4
5	15001	0.4	4.6	30001	0.6	3.4
6	15001	0.4	4.6	30001	0.6	3.4
7	15001	0.4	4.6	30001	0.6	3.4
8	15001	0.4	4.6	30001	0.7	3.3
9	15001	0.4	4.6	30001	0.6	3.4
10	15001	0.4	4.6	30001	0.7	3.3
	15001	0.4	4.6	30001	0.6	3.4

Carga (gr)	Emax-Emin (gr)	e.m.p (gr)
15000	0.000	20
30000	0.100	30

2	5
1	
3	4

Posición de las Cargas

Ensayo de Excentricidad

Temperatura	Inicial 20.4 °C	Final 20.4 °C
-------------	-----------------	---------------



Posición de la Carga	Carga min (g)	l (g)	ΔL (g)	EO (g)	Carga L (g)	l (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	e.m.p
										± gr
1	10	10	0.3	4.7	10000	10000	0.5	3.5	-1.2	20
2	10	10	0.3	4.7	10000	10000	0.4	3.6	-1.1	20
3	10	10	0.2	4.8	10000	10000	0.4	3.6	-1.2	20
4	10	10	0.2	4.8	10000	10000	0.3	4.7	-0.1	20
5	10	10	0.2	4.8	10000	10000	0.4	4.6	-0.2	20

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
LMM-054-2025

Laboratorio de Masa

Pág. 3 de 3

ENSAYO DE PESAJE

Temperatura	Inicial	20,4	°C	Final	20,4	°C
-------------	---------	------	----	-------	------	----

Carga L (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	e.m.p
									± g
Eo	10	10	0.4	4.6					
20	20	0.4	4.6	0.0	20	0.3	4.7	0.1	10
500	500	0.3	4.7	0.1	500	0.3	4.7	0.1	10
1000	1000	0.3	4.7	0.1	1000	0.4	4.6	0.0	10
5000	5001	0.4	4.6	0.0	5001	0.3	4.7	0.1	10
8000	8001	0.4	4.6	0.0	8001	0.4	4.6	0.0	20
10000	10001	0.5	4.5	-0.1	10001	0.4	4.6	0.0	20
15000	15001	0.5	4.5	-0.1	15001	0.5	4.5	-0.1	20
20000	20001	0.5	4.5	-0.1	20001	0.5	3.5	-1.1	20
25000	25001	0.5	3.5	-1.1	25001	0.6	3.4	-1.2	30
30000	30001	0.6	3.4	-1.2	30001	0.6	3.4	-1.2	30

Leyenda: L: Carga aplicada a la balanza.

E: Error encontrado

I: Indicaciones de la balanza.

 E₀: Error en cero

ΔL: Carga adicional.

 E_c: Error corregido

Incertidumbre expandida de medicion

$$U = 2 \times \sqrt{0.16928 + 0.0000000100932} \quad R^2$$

Lectura corregida
 $R_{CORREGIDA}$

=

0.0000239780

R

Observaciones

Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva color verde con indicaciones "CALIBRADO"

 La incertidumbre de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura $k=2$ para una distribución normal de aproximadamente 95%

(*) Se determinó utilizando la consideración 10.1 del PC-001.

(**) Se determinó utilizando la consideración 10.1 del PC-001.

(***) Se determinó utilizando la consideración 10.1 del PC-001.

Fin del documento



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

LMM-054-2025

Laboratorio de Masa

Pág. 1 de 3

Expediente 10

Solicitante CONSTRUCTORA INGENIEROS Y ARQUITECTOS
ASESORES SANTA CRUZ SOCIEDAD COMERCIAL DE RESPONSABILIDAD LIMITADA

Dirección AV. ORIENTE NRO. 772 (FRENTE A FABRICA DE EMBUTIDOS HUAYCHULO) JUNIN - CONCEPCION - CONCEPCION

Instrumento de Medición BALANZA NO AUTOMATICA

Marca (o Fabricante) OHAUS

Modelo R31P30

Numero de Serie 8335440482

Procedencia USA

Tipo Electronica

Identificación No indica

Alcance de Indicación 0 gr a 30000 gr

División de escala (d) o resolución 1 gr

Div.verifc. De escala (e) 10 gr (*)

Capacidad Mínima 20 gr (**)

Clase de exactitud III (***)

Lugar de Calibración LABORAORIO DEL CALIBRACIONES PERU SAC

Fecha de Calibración 2025-05-15

La calibración se realizó según el método descrito en el PC-001, "Procedimiento de calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase III y Clase IIII" del SNM-INDECOPI. Edición tercera Enero 2009.

Trazabilidad
Los resultados de la calibración realizada tienen trazabilidad a los patrones nacionales del INACAL-DM, en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI)

Patrones utilizados :
0499-MPES-C-2022 , 0497-MPES-C-2022, 0045-MPES-C-2022, 0046-MPES-C-2022,

Sello

Fecha de emisión

Jefe del laboratorio de calibración

2025-05-15

ROBERTO QUINTO

CALIBRACIONES PERU S.A.C. - RUC: 20604149721
Jr. Pasco N° 3312 San Martín De Porres, Lima - Perú
Telf.: (01) 397 8754 Cel.: 954 187 027

E-mail: ventas@calibracionesperu.pe
metrologia@calibracionesperu.pe
www.calibracionesperu.pe



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

LMM-054-2025

Laboratorio de Masa

Pág. 2 de 3

Resultados de Medicion

INSPECCION VISUAL

AJUSTES DE ACERO	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACION LIBRE	TIENE	CURSOS	NO TIENE
PLATAFORMA	TIENE	NIVELACION	TIENE
SISTEMA DE TRABA	NO TIENE		

ENSAYO DE RETABILIDAD

Temperatura	Inicial 20.4 °C	Final 20.4 °C
-------------	-----------------	---------------

Medicion N°	Carga L1= 15000 g			Carga L2= 30000 g		
	l (g)	ΔL (g)	E (g)	l (g)	ΔL (g)	E (g)
1	15001	0.4	4.6	30001	0.6	3.4
2	15001	0.4	4.6	30001	0.6	3.4
3	15001	0.4	4.6	30001	0.6	3.4
4	15001	0.4	4.6	30001	0.6	3.4
5	15001	0.4	4.6	30001	0.6	3.4
6	15001	0.4	4.6	30001	0.6	3.4
7	15001	0.4	4.6	30001	0.6	3.4
8	15001	0.4	4.6	30001	0.6	3.4
9	15001	0.4	4.6	30001	0.7	3.3
10	15001	0.4	4.6	30001	0.6	3.4

Carga (gr)	E _{max} -E _{min} (gr)	e.m.p (gr)
15000	0.000	20
30000	0.100	30

Posicion de las Cargas	Ensayo de Excentricidad		
	Temperatura	Inicial 20.4 °C	Final 20.4 °C
2 5 1 3 4			

Posicion de la Carga	Carga min (g)	Carga			l (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	e.m.p ± gr
		l (g)	ΔL (g)	EO (g)					
1	10	10	0.3	4.7	10000	0.5	3.5	-1.2	20
2	10	10	0.3	4.7	10000	0.4	3.6	-1.1	20
3	10	10	0.2	4.8	10000	0.4	3.6	-1.2	20
4	10	10	0.2	4.8	10000	0.3	4.7	-0.1	20
5	10	10	0.2	4.8	10000	0.4	4.6	-0.2	20

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
LMM-054-2025

Laboratorio de Masa

Pág. 3 de 3

ENSAYO DE PESAJE

Temperatura	Inicial	20.4 °C	Final	20.4 °C
-------------	---------	---------	-------	---------

Carga l (g)	l (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	l (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	e.m.p
									± g
Eo 10	10	0.4	4.6						
20	20	0.4	4.6	0.0	20	0.3	4.7	0.1	10
500	500	0.3	4.7	0.1	500	0.3	4.7	0.1	10
1000	1000	0.3	4.7	0.1	1000	0.4	4.6	0.0	10
5000	5001	0.4	4.6	0.0	5001	0.3	4.7	0.1	10
8000	8001	0.4	4.6	0.0	8001	0.4	4.6	0.0	20
10000	10001	0.5	4.5	-0.1	10001	0.4	4.6	0.0	20
15000	15001	0.5	4.5	-0.1	15001	0.5	4.5	-0.1	20
20000	20001	0.5	4.5	-0.1	20001	0.5	3.5	-1.1	20
25000	25001	0.5	3.5	-1.1	25001	0.6	3.4	-1.2	30
30000	30001	0.6	3.4	-1.2	30001	0.6	3.4	-1.2	30

Legenda: L: Carga aplicada a la balanza.

E: Error encontrado

I: Indicaciones de la balanza.

 E₀: Error en cero

ΔL: Carga adicional.

 E_c: Error corregido

Incertidumbre expandida de medicion

$$U = 2 \times \sqrt{0.16928 + 0.0000000100932} \quad R^2$$

Lectura corregida

 R_{CORREGIDA}

$$= 0.0000239780 \quad R$$

Observaciones

Con fines de identificacion se coloco una etiqueta autoadhesiva color verde con indicaciones "CALIBRADO"

La incertidumbre de medicion se ha obtenido multiplicandola incertidumbre estandar de la medicion por el factor de cobertura k=2 para una distribucion normal de aproximadamente 95%

(*) Se determino utilizando la consideracion 10.1 del PC-001.

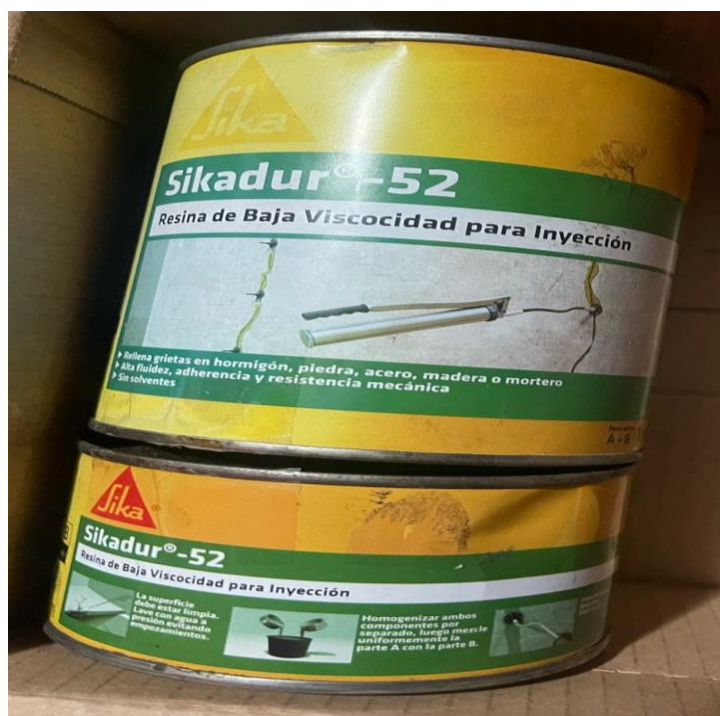
(**) Se determino utilizando la consideracion 10.1 del PC-001.

(***) Se determino utilizando la consideracion 10.1 del PC-001.

Fin del documento

Anexo 6. Panel fotográfico

Fotografía 1: Presentación de Sikadur-52



Fotografía 2: Peso y dosificación de agregados según diseño de mezcla



Fotografía 3. Compactación de briquetas



Fotografía 4. Briquetas con resina epoxy



Fotografía 5. Tomando peso inicial de briquetas



Fotografía 6. Ensayo Marshall a briquetas con resina epoxy



Fotografía 7. Medida de prensa detenida antes de llegar al límite



Fotografía 8. Baño maría a briquetas con resina epoxy



Fotografía 9. Ensayos de Cantabro de briquetas con resina epoxy



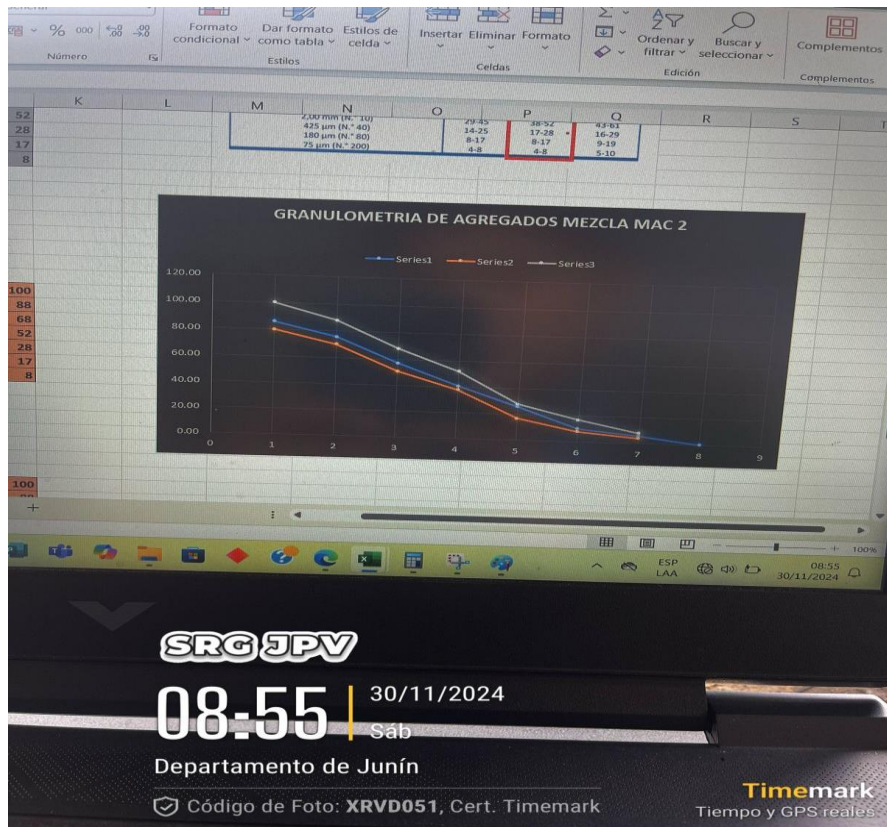
Fotografía 10. Pesando briquetas para medir el desgaste



Fotografía 11. Briquetas al 6% de PEM



Fotografía 12. Granulometría tipo MAC 2 al 6% de PEM



Fotografía 13. Tamizado tipo MAC 2 al 6% de PEM



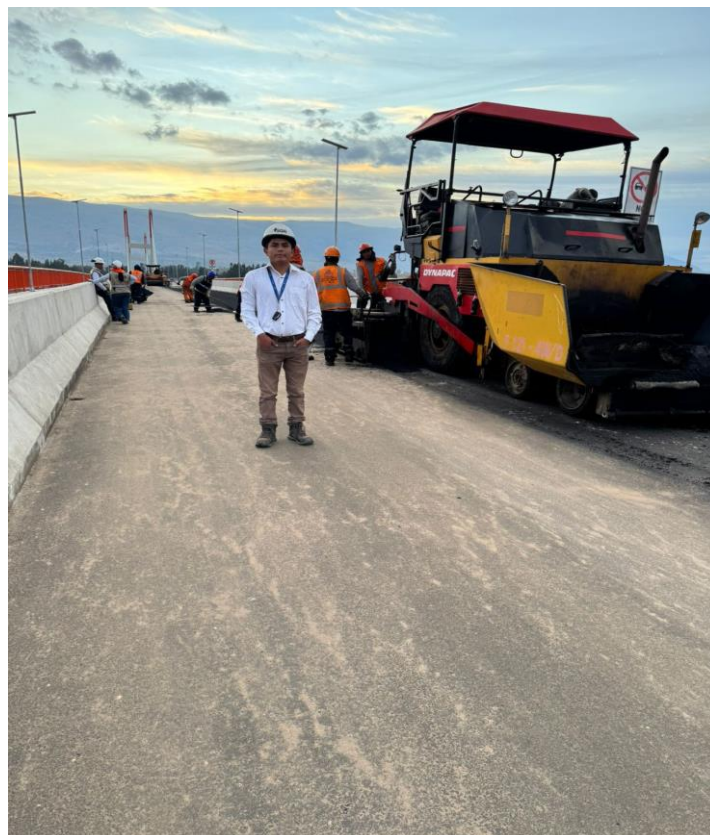
Fotografía 14. Lavado asfáltico del tipo MAC 2 al 6% de PEM



Fotografía 15. Temperatura del tipo MAC 2 al 6% de PEM a 156.6 grados



Fotografía 16. Tendido del tipo MAC 2 al 6% de PEM a 156.6 grados



Fotografía 17. Producción en planta del tipo MAC 2 al 6% de PEM a 156.6 grados



Fotografía 18. Pull de maquinarias para asfalto

