



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

OPTIMIZACIÓN SOSTENIBLE DE LA CONSERVACIÓN VIAL MEDIANTE
LA UTILIZACIÓN DE MORTERO DE EMULSIÓN POLIMÉRICA.

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL**

AUTORES: ADAMARIS ANAHÍ ANDRADE VÁSQUEZ

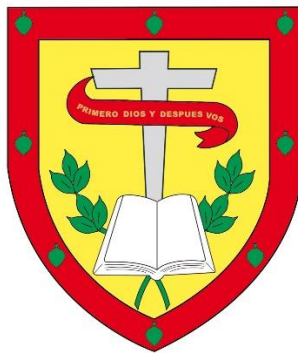
ALBERTO GUILLERMO MERCHÁN REYES

DIRECTOR: ING. FRANCISCO JOSÉ DARQUEA CÓRDOVA

CUENCA – ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

OPTIMIZACIÓN SOSTENIBLE DE LA CONSERVACIÓN VIAL MEDIANTE
LA UTILIZACIÓN DE MORTERO DE EMULSIÓN POLIMÉRICA.

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL**

AUTORES: ADAMARIS ANAHÍ ANDRADE VÁSQUEZ

ALBERTO GUILLERMO MERCHÁN REYES

DIRECTOR: ING. FRANCISCO JOSÉ DARQUEA CÓRDOVA

CUENCA – ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARATORIA DE AUTORIA Y RESPONSABILIDAD

Adamaris Anahí Andrade Vásquez y **Alberto Guillermo Merchán Reyes** portadore(a)s de las cédulas de ciudadanía N° **0302198205** y **0105298285**. Declaramos ser autore(a)s de la obra: **“Optimización sostenible de la conservación vial mediante la utilización de mortero de emulsión polimérica.”**, sobre la cual nos hacemos responsables sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaramos finalmente que nuestra obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 02 de octubre de 2024

F: 
Adamaris Anahí Andrade Vásquez
0302198205

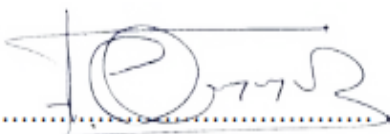
F: 
Alberto Guillermo Merchán Reyes
0105298285

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Yo, Ing. Francisco José Darquea Córdova, certifico que el presente trabajo de titulación realizado por los estudiantes Adamaris Anahí Andrade Vásquez y Alberto Guillermo Merchán Reyes, egresados de la unidad académica de ingeniería industria y construcción, fue desarrollado bajo mi revisión y tutoría con el tema “OPTIMIZACIÓN SOSTENIBLE DE LA CONSERVACIÓN VIAL MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE MORTERO DE EMULSIÓN POLIMÉRICA”

Atentamente,

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

F: 

Ing. Francisco José Darquea Córdova. MGs

DEDICATORIAS

Adamaris Andrade

Quiero dedicar esta tesis a mi abuelo que me ha dado mucho aliento desde el cielo, mis padres y hermano, porque cada uno de ellos con su granito de arena me han impulsado a seguir mi meta, ellos han sido la fuerza para ser lo que soy hasta el momento.

Alberto Merchán Reyes

Para mi familia, mis padres y hermanos. Esta tesis es para ustedes, que son y siempre serán, mi mayor razón para luchar y seguir soñando. En cada página, en cada palabra escrita, hay un pedacito de su amor y de su fe en mí. Gracias mi ancla y mi cielo.

AGRADECIMIENTOS

Adamaris Andrade

Agradezco a Dios y a la Virgen por brindarme salud, sabiduría y fuerza para culminar todo este proceso, mis abuelos Bolívar y Nela gracias por su sabiduría y bondad en cada palabra, mi abuela Luisa por su cariño, por su calidez y su apoyo incondicional, pero en especial a mi abuelo Hernán, persona que me impulso por el camino de la ingeniería, sería la nieta más feliz y agradecida que estuviera contándole mis logros, pero no me queda más que agradecer al cielo por haber sido el mejor abuelo y sentirme la nieta más orgullosa de haberle tenido como mi motor fundamental.

A mis padres Viviana y Pablo, gracias mami por ser una mujer tan sabia por darme esa fuerza por no dejarme sola nunca, sin ti esto no sería posible, papi por que algún momento de muy pequeña deseaba ser como tú y sé que lo estoy logrando en este momento, a mi hermano Juanito por estar siempre a mi lado y por ser mi cómplice.

Chochita, eres mi familia, una de las personas que siempre ha estado apoyándome, siempre me has dado tu cariño, tú amor sin recibir nada a cambio, gracias por ser un apoyo elemental en mi vida, de igual manera agradezco a mis tíos en especial Erika y Marco, primos y demás familiares.

A mis amigos que se encuentran tanto dentro y fuera de la universidad y personas que sigo queriendo con todo mi corazón que saben que nunca saldrán de ahí, gracias por el apoyo en estos momentos de estrés y alegría durante este largo camino. Gaby, Denisse, Silvia, Angie, Vicky, Nath, su apoyo, cariño y risas han sido invaluable, en especial mi ardillita Antho, estas en todos mis pensamientos, alguna vez me decías que no deje de luchar por todo lo que me proponga, gracias por tus consejos, gracias por tanto y por ser mi amiga incondicional.

Kevin tu apoyo en estos momentos han sido de gran ayuda, llegaste a mi vida a sumar y darme motivos para seguir creciendo como persona, gracias por tu apoyo.

Agradezco a mi tutor de tesis gracias por sus correcciones y consejos para poder culminar mi compromiso y a la empresa Emuldec por los conocimientos brindados para el trabajo investigativo.

Alberto Merchán Reyes

Como creyente católico, quiero comenzar agradeciendo a Dios y a la Virgen por brindarme la salud, la fuerza y la motivación necesarias para continuar y finalizar mis estudios. Su guía y protección han sido mi sostén en todo momento.

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres, Guillermo y Sabina, cuyo esfuerzo, largas horas de trabajo, apoyo y amor incondicional me han permitido estudiar y culminar esta etapa de mi vida. Su dedicación ha sido una fuente constante de inspiración y amor.

A mis hermanos Rolendio, Luis, Jorge, Nancy, Hugo y Ligia, les agradezco de todo corazón. Cada uno de ustedes ha sido un pilar de apoyo, alentándome a seguir mis sueños y dándome fuerzas en los momentos más difíciles, donde cada uno a puesto un granito de arena invaluable que llevo en mi corazón. Su cariño y ánimo me han acompañado en cada paso del camino, y siempre les estaré agradecido por ello.

Un agradecimiento y un abrazo inmenso envió al cielo, a mi madre Sabina y mis hermanos Wilson y Alberto ellos siempre tuvieron fe en mí y nunca dudaron de que podría alcanzar mis metas. Su amor ha dejado una marca imborrable en mi corazón, y sus enseñanzas siguen guiando mi vida diaria.

Finalmente, quiero agradecer a mi segunda madre, Raquel. Gracias por todo tu apoyo, por estar siempre presente y por brindarme tu cariño incondicional. Tu presencia ha sido un regalo invaluable en mi vida, y tu amor me ha convertido en una mejor persona, con la convicción de seguir adelante.

Si bien podría enumerar a cada miembro de mi entrañable familia, pero mi afecto y voluntad abarcan a todos sin excepción.

RESUMEN

Los morteros asfálticos con emulsiones poliméricas ofrecen una solución innovadora para la conservación vial, destacando por sus propiedades físicas y químicas mejoradas. La investigación evaluó su rendimiento en términos de densidad, porosidad, capacidad de carga y composición química, además de analizar su viabilidad económica en comparación con los métodos tradicionales de conservación vial.

Se realizaron ensayos de granulometría y calidad en los agregados de los ríos Jubones y Paute. Los agregados del río Jubones fueron descartados debido a resultados negativos en los ensayos de equivalente de arena y azul de metileno, mientras que los del río Paute cumplieron con los requisitos y fueron seleccionados para la elaboración de los morteros asfálticos con polímeros.

En cuanto a la emulsión asfáltica utilizada, se compararon dos variantes: una con 0.35% de polímero, proporcionada por EMULDEC, y otra modificada con 1.5% de resina de poliuretano. Los ensayos de viscosidad demostraron que ambas emulsiones eran aptas para su bombeo en planta y obra.

El diseño de morteros asfálticos con materiales del río Paute se realizó en dos fórmulas de trabajo diferentes, dependiendo del tipo de emulsión utilizada. Los resultados del análisis de pH y carga de la partícula indicaron que ambas emulsiones eran catiónicas, favoreciendo una unión adecuada entre el agregado y la emulsión.

Los morteros asfálticos con polímeros mejoran la durabilidad y resistencia de las infraestructuras viales, ofreciendo beneficios ambientales. Aunque su costo inicial es mayor, la menor necesidad de intervenciones a largo plazo puede generar ahorros significativos.

Palabras clave: morteros asfálticos, emulsiones poliméricas, densidad, porosidad, capacidad de carga.

ABSTRACT

Asphalt mortars with polymeric emulsions offer an innovative solution for road maintenance, emphasizing their improved physical and chemical properties. This research evaluated their performance in terms of density, porosity, load-bearing capacity, and chemical composition and analyzed their economic viability compared to traditional road maintenance methods.

Granulometry and quality tests were conducted on the aggregates of the Jubones and Paute rivers. Aggregates from the Jubones River were discarded due to negative results in sand equivalent and methylene blue tests, while those from the Paute River met the requirements and were selected for the production of polymer-modified asphalt mortars.

Two variants of the asphalt emulsion used were compared: one with 0.35% polymer, provided by the company Emulsiones del Ecuador (EMULDEC, by its Spanish acronym), and another modified with 1.5% polyurethane resin. Viscosity tests showed that both emulsions were suitable for pumping at the plant and on-site.

The design of asphalt mortars with materials from the Paute River was carried out using two different work formulas, depending on the type of emulsion used. Potential of hydrogen (pH) and particle charge analysis results indicated that both emulsions were cationic, facilitating proper bonding between the aggregate and the emulsion.

Polymer-modified asphalt mortars improve the durability and strength of road infrastructures, offering environmental benefits. Although their initial cost is higher, the reduced need for long-term interventions can generate significant savings.

Keywords: asphalt mortars, polymeric emulsions, density, porosity, load-bearing capacity

INDICE DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| DEDICATORIAS | 3 |
| AGRADECIMIENTOS | 5 |
| RESUMEN..... | 7 |
| ABSTRACT | 8 |
| INDICE DE CONTENIDO | 9 |
| INDICE DE TABLAS..... | 12 |
| INDICE DE FIGURAS..... | 14 |
| INDICE DE ILUSTRACIONES..... | 15 |
| CAPITULO I | 16 |
| 1. Generalidades | 16 |
| 1.1. Antecedentes generales | 16 |
| 1.2. Introducción..... | 18 |
| 1.3. Objetivos..... | 19 |
| 1.3.1. Objetivo General | 19 |
| 1.3.2. Objetivos Específicos..... | 19 |
| 1.4. Justificación del trabajo..... | 19 |
| CAPITULO II | 21 |
| 2. MARCO TEÓRICO..... | 21 |
| 2.1. Conservación vial y la sostenibilidad | 21 |
| 2.2. Mortero asfáltico..... | 21 |
| 2.2.1. Propiedades físicas y químicas: | 21 |
| 2.2.2. Composición..... | 22 |
| 2.3. Mortero asfáltico con emulsión polimérica..... | 22 |
| 2.3.1. Propiedades físicas y químicas | 22 |
| 2.3.2. Polímeros | 23 |
| 2.3.3 Comportamiento y desempeño | 24 |
| 2.3.4. Tipos de morteros asfálticos con polímeros | 25 |
| 2.4.1. Tipos de emulsiones..... | 26 |
| 2.6.1. Agregados de Paute | 30 |
| 2.6.2. Agregados de Jubones..... | 32 |
| 2.6.3 Tipos de agregados | 34 |
| 2.7. Aditivos | 36 |
| 2.8. Estabilidad de la emulsión asfáltica..... | 36 |

| | |
|---|----|
| 2.8.1 Tipo y cantidad de emulsificante..... | 37 |
| 2.8.2. Tamaño de las partículas de asfalto | 37 |
| 2.8.3. Condiciones de almacenamiento y transporte..... | 37 |
| 2.8.4. El pH y la conductividad del agua..... | 37 |
| 2.8.5. Compatibilidad de los componentes | 37 |
| 2.9. Micro pavimento y slurry seal | 37 |
| 2.9.1. Micro pavimento..... | 38 |
| 2.9.2. Slurry seal..... | 38 |
| 2.9.3. La comparativa entre el micro pavimento y el slurry seal | 38 |
| 2.9.4. Composición y materiales | 39 |
| 2.9.5. Espesor y aplicación | 39 |
| 2.9.6. Propósitos y beneficios | 39 |
| 2.9.7. Durabilidad y rendimiento | 39 |
| 2.10. Ventajas de los morteros asfálticos | 40 |
| 2.10.1. Durabilidad mejorada..... | 40 |
| 2.10.2. Flexibilidad y adaptabilidad..... | 40 |
| 2.10.3. Rapidez de construcción | 40 |
| 2.10.4. Bajo costo de mantenimiento | 40 |
| 2.10.5. Mejora de la seguridad vial | 41 |
| CAPITULO III | 42 |
| 3. Ensayos. | 42 |
| 3.1. Agregados | 42 |
| 3.1.1. Muestreo de los materiales, Norma ASTM D-75 / AASHTO T-2..... | 42 |
| 3.1.2. Granulometría de los agregados, Norma AASHTO T27 / AASHTO T11 / ASTM C-117 | 44 |
| 3.1.3. Índice de plasticidad, Norma ASTM D 4318-00..... | 50 |
| 3.1.4. Ensayos a resistencia de Sulfatos de Sodio de Magnesio, Norma AASHTO T 104/ ASTM C 88 | 55 |
| 3.1.5. Peso Unitario, Norma ASTM C-29 / AASHTO T-29 | 58 |
| 3.1.6. Gravedad específica, Norma ASTM C-128 / AASHTO T-84..... | 61 |
| 3.1.7. Abrasión, Norma ASTM C-131 / AASHTO T-9642..... | 65 |
| 3.1.7.2 Resultados Jubones..... | 68 |
| 3.1.8. Valor Azul de Metileno, Norma ISSA TB 145..... | 68 |
| 3.1.8.2 Resultados Jubones..... | 72 |
| 3.1.9. Equivalente de Arena, Norma AASHTO T-176/ AASHTO D-2419 | 72 |
| 3.1.10. Resumen ensayos de agregados..... | 76 |
| 3.2. Ensayos de Emulsiones Asfálticas..... | 78 |

| | |
|--|-----|
| 3.2.1 Residuos por Evaporación NTE INEN 905 | 78 |
| 3.2.2. Viscosidad Saybolt Furol, (25 °C) NTE INEN 1981 | 79 |
| 3.2.3. Ensayo del Tamiz #20 NTE INEN 906 | 81 |
| 3.2.4. Estabilidad Almacenamiento (24h) NTE INEN 909 | 82 |
| 3.2.5. Estabilidad Asentamiento (5 días) NTE INEN 910 | 84 |
| 3.2.6. Residuos por destilación NTE INEN 901 | 86 |
| 3.2.7. Carga de Partícula NTE INEN 908 | 88 |
| 3.2.8. Penetración, a 25 °C, 100g, 5s NTE INEN 917 | 90 |
| 3.2.9. Punto de Ablandamiento ASTM D-36..... | 91 |
| 3.2.10. Ductilidad, a 25 °C, 5 cm/min..... | 93 |
| 3.2.11. Recuperación Elástica Torsional 4-05-024/02 SCT | 95 |
| 3.2.12. Recuperación Elástica por Ductilómetro 4-05-026/02 SCT | 96 |
| 3.2.13. Solubilidad en Tricloroetileno NTE INEN 915..... | 98 |
| 3.2.14. Resultados generales de los Ensayos de Emulsiones Asfálticas y Ensayos en el Residuos Asfáltico | 100 |
| 3.3. Ensayo de morteros asfálticos..... | 100 |
| 3.3.1. Especificaciones según la Norma ASTM | 100 |
| 3.3.2. Determinación del porcentaje teórico de emulsión (MÉTODO ISSA TB-118) | 101 |
| 3.3.3. Ensayo de tiempo de mezcla ISSA TB-113 | 103 |
| 3.3.4. DESPRENDIMIENTO POR HUMEDAD ISSA TB-114 | 107 |
| 3.3.5. ENSAYO DE CONSISTENCIA ISSA TB-106..... | 110 |
| 3.3.6. ENSAYO DE COMPATIBILIDAD ISSA TB-115 | 114 |
| 3.3.7. ENSAYO DE COHESIÓN ISSA TB-139..... | 121 |
| 3.3.8. ENSAYO DE ADHESIVIDAD RIEDEL WEBER MTC E 220-2000..... | 128 |
| 3.3.9. ENSAYO DE ABRASIÓN EN HÚMEDO (ISSA TB-100)..... | 132 |
| 3.3.10. ENSAYO DE ADHERENCIA POR DE RUEDA CARGADA (ISSA TB-109) | 136 |
| 3.3.11. DESPLAZAMIENTO LATERAL Y VERTICAL (ISSA TB-147) | 140 |
| 3.3.12. ENSAYO SCHULZE BREUER RUCK (ISSA TB-144)..... | 142 |
| 3.3.13. ANÁLISI ECONÓMICO | 146 |
| CAPITULO IV..... | 150 |
| 4. Conclusiones y Recomendaciones..... | 150 |
| 4.1. Conclusiones | 150 |
| 4.2. Recomendaciones | 152 |
| REFERENCIAS | 153 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|-----|
| Tabla 1 Tipo de agregados..... | 47 |
| Tabla 2 Granulometría Rio Paute | 47 |
| Tabla 3 Granulometría del rio jubones | 49 |
| Tabla 4 Limites de consistencia rio Paute | 53 |
| Tabla 5 Limites de Consistencia rio Jubones..... | 54 |
| Tabla 6. Resistencia de sulfatos del rio Paute | 57 |
| Tabla 7 Resistencia de sulfatos del rio Jubones..... | 58 |
| Tabla 8 Peso Unitario del rio Paute | 60 |
| Tabla 9 Peso unitario del rio Jubones | 60 |
| Tabla 10 Gravedad especifica del rio Paute..... | 64 |
| Tabla 11 Gravedad especifica del rio jubones | 65 |
| Tabla 12 Abrasión del rio Paute. | 68 |
| Tabla 13 Abrasión del rio Jubones..... | 68 |
| Tabla 14 Azul de metileno del rio paute | 71 |
| Tabla 15 Azul de metileno del rio Jubones..... | 72 |
| Tabla 16. Equivalente de arena rio Paute..... | 74 |
| Tabla 17. Equivalente de arena rio Jubones..... | 75 |
| Tabla 18. Resumen rio Paute..... | 76 |
| Tabla 19. Resumen rio Jubones | 77 |
| Tabla 20. Resultados generales de emulsiones asfálticas y de residuos solidos..... | 100 |
| Tabla 21. Porcentaje teórico de emulsión método ISSA TB-118..... | 103 |
| Tabla 22. Determinación de tiempo de mezcla..... | 107 |
| Tabla 23. Porcentaje de nivel de agua | 109 |
| Tabla 24. Cantidad de recubrimiento..... | 109 |
| Tabla 25. Cantidad optima de agua nivel de consistencia para la muestra..... | 111 |
| Tabla 26. Cantidad optima de agua y nivel de consistencia para la muestra | 112 |
| Tabla 27. Cantidad optima de agua y nivel de consistencia para la muestra | 112 |
| Tabla 28. Porcentaje de agregados para la mezcla..... | 115 |
| Tabla 29 Prueba de consistencia de la muestra | 116 |
| Tabla 30 Porcentaje de agregados para la mezcla..... | 117 |
| Tabla 31. Prueba de consistencia de la muestra..... | 118 |
| Tabla 32. Porcentaje de agregados para la muestra | 119 |
| Tabla 33. Prueba de la mezcla de la muestra | 120 |
| Tabla 34. Porcentaje de emulsión para las muestras | 124 |
| Tabla 35. Determinación de tiempo para el ensayo de cohesión | 124 |
| Tabla 36. Porcentaje de emulsión para las muestras | 125 |
| Tabla 37. Determinación de tiempo para el ensayo de cohesión | 126 |
| Tabla 38. Porcentaje de emulsión para las muestras | 127 |
| Tabla 39. Determinación de tiempo para el ensayo de cohesión..... | 127 |
| Tabla 40. Resultados de la solución del ensayo..... | 131 |
| Tabla 41. Ensayo de perdida por abrasión en húmedo (1H) | 135 |
| Tabla 42. Ensayo de perdida por abrasión en húmedo (6 días)..... | 135 |
| Tabla 43. Limites especificados de abrasión | 135 |
| Tabla 44. Porcentaje de agregado para la muestra | 135 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 45. Ensayo adherencia de arena..... | 139 |
| Tabla 46. Limites especificados | 139 |
| Tabla 47. Desplazamiento lateral y vertical..... | 141 |
| Tabla 48. Medidas de las muestras después de 1000 ciclos..... | 142 |
| Tabla 49. Resultados rio Paute | 145 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 1. Ubicación rio Paute | 32 |
| Figura 2. Ubicación del rio Jubones..... | 34 |
| Figura 3. Faja Granulométrica del rio Paute | 48 |
| Figura 4 Faja Granulométrica del rio Jubones | 49 |
| Figura 5. Límites de plasticidad | 52 |
| Figura 6 Obtención limite liquido del rio Paute | 53 |
| Figura 7 Obtención limite liquido del rio Paute | 55 |
| Figura 8. Ensayo de consistencia | 113 |
| Figura 9. Características de rotura y curado | 125 |
| Figura 10. Características de rotura y curado | 126 |
| Figura 11. Características de rotura y curado | 127 |
| Figura 12. Abrasión en húmedo y rueda cargada | 139 |

INDICE DE ILUSTRACIONES

| | | |
|-----------------------|--|-----|
| Ilustración 1 | Toma de muestras con equipo mecánico | 43 |
| Ilustración 2 | Toma de muestras con equipo manual | 43 |
| Ilustración 3 | Enrazado y pesado de la muestra | 59 |
| Ilustración 4 | Enrazado del material | 61 |
| Ilustración 5 | Determinación de gravedad específica por medio de un picnómetro | 62 |
| Ilustración 6 | Compactado de la muestra..... | 62 |
| Ilustración 7 | Ensayo con máquina de los Ángeles..... | 66 |
| Ilustración 8 | Ensayo Azul de Metileno..... | 70 |
| Ilustración 9 | Preparación Azul de Metileno..... | 70 |
| Ilustración 10 | Azul de metileno rio Paute..... | 71 |
| Ilustración 11 | Azul de metileno rio Jubones | 72 |
| Ilustración 12 | Reposo de la muestra para equivalente de arena | 74 |
| Ilustración 13 | Preparación para la mezcla de la muestra | 105 |
| Ilustración 14 | Compactación de los agregados con el ligante asfáltico | 106 |
| Ilustración 15 | Consistencia total del tiempo en mezclado | 107 |
| Ilustración 16 | Cantidad optima de agua para la muestra..... | 109 |
| Ilustración 17 | Nivel de consistencia de la muestra | 111 |
| Ilustración 18 | Nivel de consistencia de la muestra | 112 |
| Ilustración 19 | Nivel de consistencia de la muestra | 113 |
| Ilustración 20 | Nivel de consistencia de la muestra | 115 |
| Ilustración 21 | Prueba de la muestra..... | 116 |
| Ilustración 22 | Porcentaje de agua para la muestra | 117 |
| Ilustración 23 | Nivel de consistencia de la muestra | 117 |
| Ilustración 24 | Prueba de la muestra..... | 118 |
| Ilustración 25 | Porcentaje de agua para la muestra | 119 |
| Ilustración 26 | Nivel de consistencia de la muestra | 119 |
| Ilustración 27 | Prueba de la mezcla | 120 |
| Ilustración 28 | Porcentaje de agua en la muestra | 121 |
| Ilustración 29 | Preparación y compactación de las muestras asfálticas..... | 122 |
| Ilustración 30 | Colocación de muestras a temperatura..... | 123 |
| Ilustración 31 | Aplicación de carga en las diferentes pruebas..... | 123 |
| Ilustración 32 | sustrato de prueba de la muestra | 128 |
| Ilustración 33 | Evaluación del adhesivo o revestimiento | 129 |
| Ilustración 34 | Curado del pegamento | 130 |
| Ilustración 35 | Comparación de los resultados | 130 |
| Ilustración 36 | Curado de la muestra a condiciones de temperatura y humedad controlada | 133 |
| Ilustración 37 | Máquina de abrasión..... | 133 |
| Ilustración 38 | Ensayo de abrasión en húmedo..... | 134 |
| Ilustración 39 | Aplicación de la lechada asfáltica sobre la placa | 137 |
| Ilustración 40 | Curado de la muestra en condiciones optimas | 137 |
| Ilustración 41 | Ensayo de rueda cargada..... | 138 |
| Ilustración 42 | Ensayo Schulze-Breuer-Ruck | 143 |
| Ilustración 43 | Dejar las muestras en un periodo de condicionamiento | 144 |
| Ilustración 44 | Mediciones de las muestras | 144 |

CAPITULO I

1. Generalidades

1.1. Antecedentes generales

La aplicación de mortero de emulsión polimérica no solo destaca por sus mejoras en la conservación vial, sino también por su potencial impacto medioambiental y económico, para esto se tiene un estudio mediante el cual se verá la optimización de los parámetros experimentales del mortero compuesto (Masa, 2018).

La posible reducción de mantenimiento y la mayor durabilidad podrían traducirse en beneficios económicos a largo plazo, mientras que el uso de polímeros y la optimización de materiales pueden contribuir a prácticas más sostenibles en la construcción vial, se tiene que encontrar el vínculo entre el comportamiento a la fractura y la capacidad de corte del compuesto, evaluando experimentalmente (Gali & Subramaniam, 2019). Investigaciones futuras podrían abordar la optimización de formulaciones, considerando factores económicos, medioambientales y de rendimiento, para consolidar la posición de esta tecnología como una alternativa efectiva y sostenible en la conservación vial (Susmel, 2019).

Esta emulsión presenta una adecuada adhesión, recubrimiento y trabajabilidad con agregados con alto contenidos de materiales finos. Entre las funciones principales de la emulsión polimérica se tiene que proporcionar una película resistente a la penetración de agua y una significativa disminución de eflorescencia (Cañola, Granda Ramírez, & Arroyave Rojas, 2020). Mantiene la resistencia estructural y adhesiva, esto es importante para tener en cuenta una emulsión más eficiente al momento de aumentar la naturaliza hidrófoba de los polímeros (Bassett, 2019).

Uno de los parámetros a considerar de los más importantes es la viscosidad en una emulsión, al igual que el pH, debido a que los sistemas de emulsión son sensibles a los cambios de pH, por lo que debe estar entre 2.5 a 5.5 para tener un pH óptimo, también un análisis de la finura de los agregados por la norma ASTM D 422, y mediante el uso de ultrasonido, mediante norma ASTM C597-16 (ASTM, 2018). Esta escala se alcanza mediante el uso de un sistema

tampón. El sistema tampón es una solución que ayuda a mantener estable el pH de una sustancia, resistiendo cambios significativos en la acidez o alcalinidad al agregar ácidos o bases, actuando como un regulador manteniendo el equilibrio en soluciones (Berber, 2020)

La aplicación del mortero de emulsión polimérica se encuentra en la intersección de la ingeniería vial y la geotecnia, teniendo en cuenta que la concentración óptima es del 1% y 2.5 gal por saco de cemento (Meleán, Pereira, & Mas, 2019).

Diversos tipos de suelos y terrenos requieren soluciones específicas. Este enfoque científico se traduce en la necesidad de comprender las interacciones suelo-materiales de construcción, destacando la importancia de evaluar la capacidad del mortero para adaptarse a diferentes tipos de suelos y terrenos, un aspecto crucial en la sostenibilidad y eficacia a largo plazo de las carreteras, para esto se tiene que hacer estudios en laboratorios como por ejemplo la granulometría (Pino & Álvarez, 2018).

La normativa europea UNE-EN 12004 se aplica a todos los adhesivos para colocación de emulsiones en paredes o suelos. Para tener en cuenta como es la aplicación se debe de tener en cuenta el amasado, que se realiza con mezcladora para poder tener la ausencia de grumos y burbujas de aire, y también la colocación que tiene que ser en capas gruesas, aplicando el producto sobre el pavimento. La durabilidad del mortero está dada por la normativa europea EN 12004 2001. La composición de los morteros es de conglomerantes como cemento blanco, gris y cal, áridos de naturaleza carbonatada, pigmentos estables a la luz solar y aditivos como lo mencionado anteriormente para la permeabilidad del agua (Azkárate, y otros, 2018)

Los avances en la tecnología del asfalto conllevan a la búsqueda de materiales alternativos, que en la actualidad aporten mejorar sus propiedades y al mismo tiempo contribuyan con reducir la contaminación del medio ambiente. (Bobadilla y Tigre, 2022)

Las mezclas asfálticas densas en caliente, empleadas actualmente para la pavimentación de las vías, son mecanismos que están generando un impacto ambiental negativo debido a la utilización de los materiales pétreos, los cuales debido a su ubicación no cumplen con las especificaciones técnicas o son de difícil acceso en algunas zonas de nuestro país. Es por ello que estudios realizados han demostrado que la fabricación de mezclas con asfalto convencional no ha sido suficiente para soportar la acción del tránsito y el clima; por lo tanto, se ha recomendado

emplear polímeros con el fin de mejorar las características o propiedades mecánicas. (Camargo y Suarez, 2010)

Desde una perspectiva científica, la durabilidad y sostenibilidad de las infraestructuras viales son puntos clave de estudio. La aplicación del mortero de emulsión polimérica presenta un potencial significativo para mejorar la vida útil de las carreteras, reduciendo la necesidad de mantenimiento y minimizando el impacto ambiental asociado con la construcción y reparación frecuentes.

1.2. Introducción

La emulsión polimérica como opción innovadora en la conservación vial marca un hito significativo en la búsqueda de soluciones eficaces y sostenibles. Este material, que combina elementos poliméricos con propiedades físicas y químicas únicas, será sometido a un análisis detallado y exhaustivo para desentrañar su rendimiento integral. Se profundizará en sus características físicas, desglosando aspectos como densidad, porosidad y capacidad de carga. Del mismo modo, se explorará su composición química, identificando componentes clave y su interacción en diferentes contextos ambientales.

La investigación abordará la viabilidad económica del mortero, considerando costos de instalación y mantenimiento a largo plazo. Además, las proporciones óptimas de arena y polímeros, para alcanzar la mayor resistencia (estabilidad); se evaluará también el impacto ambiental del mortero de emulsión polimérica, contribuyendo con la sostenibilidad en la conservación vial.

Se pretende que los resultados de esta investigación proporcionarán una base sólo para la implementación efectiva del mortero de emulsión polimérica en proyectos de conservación vial, mejorando su durabilidad y sostenibilidad. Este enfoque ofrece soluciones eficaces para enfrentar los desafíos actuales.

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivo General

Examinar la viabilidad y efectividad del mortero de emulsión polimérica como solución innovadora para la conservación vial, centrándose en mejorar la durabilidad, resistencia y sostenibilidad de las infraestructuras viales.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar el agregado mineral de cada fuente estudiada
- Denotar las propiedades físicas y químicas del mortero de emulsión polimérica.
- Determinar las proporciones óptimas de formulación de los morteros, con cada uno de los materiales pétreos utilizados
- Comparar el rendimiento del mortero con métodos de conservación vial convencionales.
- Analizar la viabilidad económica del uso del mortero en comparación con métodos tradicionales.

1.4. Justificación del trabajo.

La ciudad de Cuenca enfrenta desafíos significativos en su red vial, marcados por el deterioro pronunciado, altos costos de mantenimiento y la limitada disponibilidad de materiales asequibles y de calidad. La infraestructura vial muestra signos evidentes de deterioro prematuro, afectando la eficiencia del transporte y la conectividad urbana. Esta degradación acelerada contribuye a la congestión del tráfico, accidentes y disminución de la calidad de vida de los ciudadanos.

Los métodos convencionales de conservación vial han demostrado ser económicamente onerosos, con un impacto significativo en el presupuesto gubernamental. La inversión continua en reparaciones frecuentes absorbe recursos que podrían destinarse a proyectos de desarrollo más amplios. Además, la ciudad enfrenta desafíos para asegurar materiales de construcción de alta calidad a costos razonables, limitando la ejecución eficiente de proyectos de infraestructura vial.

En este contexto, la investigación sobre el mortero de emulsión polimérica se presenta como una alternativa prometedora y sostenible para abordar los problemas específicos de Cuenca. La innovación en materiales de construcción es esencial para superar los desafíos actuales y mejorar la durabilidad de las infraestructuras viales. Este proyecto se erige como respuesta a estos desafíos, buscando no solo comprender la viabilidad técnica del mortero de emulsión polimérica, sino también ofrecer una solución práctica y económicamente eficiente para mejorar la red vial de Cuenca. Al centrarse en estos ejes clave, la investigación se alinea con las necesidades específicas de la ciudad, contribuyendo al progreso y la sostenibilidad de su infraestructura vial.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Conservación vial y la sostenibilidad

La conservación vial es fundamental para garantizar la seguridad y la funcionalidad de las infraestructuras de transporte, como carreteras y calles urbanas (AASHTO, 2017). Sin embargo, tradicionalmente, las técnicas de conservación vial han tenido impactos negativos en el medio ambiente y han generado altos costos de mantenimiento a largo plazo (Wang et al., 2018). Por lo tanto, es crucial buscar soluciones sostenibles que puedan mantener la integridad de las vías de comunicación sin comprometer los recursos naturales ni generar impactos ambientales adversos.

2.2. Mortero asfáltico

El mortero asfáltico es una mezcla compuesta principalmente por un ligante asfáltico, agregados finos y, en algunos casos, aditivos que mejoran sus propiedades. Se utiliza en aplicaciones de pavimentación, impermeabilización y en la reparación de superficies viales debido a su capacidad para proporcionar una capa resistente y duradera.

El mortero asfáltico es un material ampliamente utilizado en la construcción de infraestructuras viales debido a sus propiedades viscoelásticas y su capacidad para soportar cargas vehiculares y climáticas extremas (Liu et al., 2018). Se compone principalmente de asfalto y agregados pétreos, con posibles adiciones de aditivos o modificadores para mejorar sus propiedades (Bueno et al., 2017).

2.2.1. Propiedades físicas y químicas:

Las propiedades físicas del mortero asfáltico, como la densidad, la porosidad y la absorción de agua, son críticas para su desempeño en servicio (Rocca et al., 2019). Además, sus propiedades químicas, incluida la composición del asfalto y la interacción entre sus componentes, influyen en su comportamiento ante factores ambientales y de carga (Abdelrahman et al., 2020).

- **Impermeabilidad:** Debido a la naturaleza hidrofóbica del asfalto, los morteros asfálticos son altamente efectivos para evitar la penetración de agua en las superficies pavimentadas (Aguado & Botella, 2020).
- **Elasticidad:** Su capacidad de deformarse sin fracturarse es esencial para absorber tensiones en pavimentos sometidos a cargas dinámicas (Organización Internacional del Asfalto, 2022).
- **Durabilidad:** El mortero asfáltico muestra alta resistencia a la intemperie, soportando la acción de los rayos UV, el ozono y las variaciones térmicas, lo que garantiza una larga vida útil (García et al., 2018).

2.2.2. Composición.

La composición del mortero asfáltico incluye:

- **Ligante asfáltico:** Un material bituminoso que actúa como el principal componente cohesivo, proporcionando elasticidad y resistencia a la mezcla (Asociación Española de la Carretera, 2020).
- **Agregados:** Estos consisten en arena y polvo de piedra, que aportan estabilidad y cuerpo a la mezcla. La granulometría de los agregados es crucial para determinar la trabajabilidad y la resistencia del mortero (Instituto Nacional de Vías, 2019).
- **Aditivos:** Se pueden añadir polímeros, fibras o agentes de adherencia para mejorar características específicas, como la resistencia al envejecimiento o la elasticidad (Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas, 2021).

2.3. Mortero asfáltico con emulsión polimérica.

El mortero asfáltico con emulsión polimérica es una mezcla avanzada que combina emulsiones asfálticas con polímeros, agregados finos y aditivos para mejorar el desempeño del material en aplicaciones de pavimentación e impermeabilización.

2.3.1. Propiedades físicas y químicas

Las propiedades físicas del mortero asfáltico polimérico, como la densidad, la porosidad y la resistencia a la compresión, son mejoradas significativamente por la adición de polímeros (Wang et al., 2020). Además, la interacción entre el asfalto y los polímeros influye en la

estabilidad y durabilidad del material ante cargas vehiculares y condiciones climáticas extremas (Li et al., 2018).

- **Elasticidad mejorada:** Gracias a los polímeros, este tipo de mortero tiene una mayor capacidad para soportar deformaciones sin fisurarse, lo que es crucial en áreas con cargas dinámicas como carreteras y aeropuertos (Fernández & Pérez, 2021).
- **Resistencia a la fisuración:** Los polímeros refuerzan la matriz asfáltica, lo que mejora la resistencia a la fisuración por fatiga y por contracción térmica (Rodríguez & Martínez, 2022).
- **Adherencia y cohesión superior:** La combinación de emulsión asfáltica con polímeros mejora la adherencia del mortero a diferentes superficies, incluyendo concreto y otros tipos de asfalto, garantizando una mejor integración de capas (González, 2019).
- **Durabilidad y resistencia a la intemperie:** Este tipo de mortero tiene una alta resistencia a la acción de agentes climáticos adversos, como la lluvia, el calor extremo y el congelamiento, lo que prolonga la vida útil de la superficie tratada (Peña & Torres, 2020).

2.3.2. Polímeros

Se añaden a la emulsión asfáltica para mejorar la elasticidad, adherencia y resistencia a la deformación del mortero. Los polímeros más comunes son el estireno-butadieno-estireno (SBS) y el estireno-butadieno (SB) (García et al., 2022).

Los polímeros son macromoléculas formadas por la repetición de unidades estructurales más pequeñas llamadas monómeros. Estas cadenas largas de moléculas son el resultado de procesos de polimerización, donde los monómeros se enlazan entre sí mediante reacciones químicas. Los polímeros pueden ser naturales, como la celulosa y el caucho, o sintéticos, como el polietileno y el nylon. Su versatilidad en la estructura y propiedades físicas permite su uso en una amplia gama de aplicaciones, desde materiales plásticos hasta fibras textiles y componentes electrónicos.

Una de las características más destacadas de los polímeros es su capacidad para modificarse y adaptarse a diferentes usos mediante la alteración de su composición química y estructura molecular. Por ejemplo, la adición de diferentes tipos de monómeros o la modificación de las condiciones de polimerización puede alterar la rigidez, la elasticidad o la resistencia

térmica del polímero resultante. Esta capacidad de personalización es lo que hace que los polímeros sean tan valiosos en la fabricación de productos industriales y de consumo.

Los polímeros sintéticos, como los plásticos, han transformado la vida moderna debido a su durabilidad, bajo costo de producción y versatilidad. Sin embargo, estos materiales también presentan desafíos ambientales significativos, principalmente debido a su resistencia a la degradación natural. Los plásticos, al ser polímeros no biodegradables, pueden persistir en el medio ambiente durante siglos, lo que ha llevado a la acumulación de residuos plásticos en los océanos y otros ecosistemas, generando un impacto ambiental considerable.

En respuesta a estos desafíos, ha habido un creciente interés en el desarrollo de polímeros biodegradables y reciclables. Estos materiales están diseñados para descomponerse de manera más rápida y segura en el medio ambiente, reduciendo su huella ecológica. La investigación en polímeros biodegradables se centra en utilizar fuentes renovables como materia prima y en la creación de productos que mantengan las propiedades deseadas, como la resistencia y la durabilidad, mientras se descomponen de manera eficiente al final de su vida útil.

Además de su aplicación en materiales plásticos, los polímeros tienen un papel crucial en la biomedicina, donde se utilizan para desarrollar implantes, prótesis y sistemas de liberación de fármacos. Los polímeros biomédicos deben cumplir con estrictos requisitos de biocompatibilidad y funcionalidad, lo que implica un diseño cuidadoso de su estructura molecular. Estos avances en la ciencia de los polímeros han permitido el desarrollo de tecnologías médicas innovadoras que mejoran la calidad de vida de los pacientes.

Los polímeros son materiales fundamentales en la sociedad moderna, con aplicaciones que van desde productos de consumo cotidiano hasta avanzadas tecnologías médicas. Sin embargo, su uso también presenta retos, especialmente en términos de sostenibilidad ambiental. Por ello, la investigación y el desarrollo continuo en el campo de los polímeros son esenciales para encontrar soluciones que maximicen sus beneficios mientras se minimizan sus impactos negativos (Asociación Internacional de Polímeros, 2024).

2.3.3 Comportamiento y desempeño

El proceso de fabricación del mortero asfáltico polimérico es similar al del mortero asfáltico convencional, pero requiere condiciones específicas de temperatura y tiempo de mezcla

para garantizar una dispersión uniforme de los polímeros y una adecuada compactación del material (Fang et al., 2019). La calidad de la mezcla es crucial para el desempeño del mortero en servicio y su resistencia a la deformación permanente (Zhang et al., 2018).

2.3.4. Tipos de morteros asfálticos con polímeros

Los morteros asfálticos con polímeros son una variedad de mezclas asfálticas modificadas con aditivos poliméricos que mejoran sus propiedades mecánicas y de durabilidad. Estos morteros se utilizan ampliamente en la construcción de carreteras, pavimentos y otras aplicaciones de infraestructura vial. (Morcillo & Álvarez, 2018).

A continuación, se detallan algunos tipos comunes de morteros asfálticos con polímeros:

- **Mortero asfáltico con polímeros elastoméricos:**

Este tipo de mortero contiene polímeros elastoméricos que le confieren una mayor capacidad de deformación y resistencia a la fatiga. Estos morteros son ideales para áreas con alto tráfico vehicular y condiciones climáticas extremas, ya que pueden soportar cargas dinámicas y cambios de temperatura sin sufrir deformaciones permanentes. (García & Ramírez, 2017).

- **Mortero asfáltico con polímeros plastoméricos:**

Estos morteros están formulados con polímeros plastoméricos que les otorgan una mayor flexibilidad y adherencia. Son adecuados para aplicaciones donde se requiere una buena adherencia a sustratos diversos, como concreto, asfalto existente u hormigón. Además, su capacidad de sellado los hace útiles en la reparación de grietas y juntas en pavimentos. (Martínez & Sánchez, 2020).

- **Mortero asfáltico con polímeros modificados con SBS (estireno-butadieno-estireno):**

Este tipo de mortero se caracteriza por la adición de polímeros SBS, que mejoran significativamente sus propiedades de resistencia al envejecimiento por oxidación y a la acción de agentes químicos. Los morteros SBS modificados son especialmente útiles en zonas con climas cálidos, donde la radiación solar y la exposición a combustibles y aceites pueden degradar rápidamente el asfalto convencional. (Pérez & González, 2016).

- **Mortero asfáltico con polímeros modificados con APP (polipropileno atáctico):**

Estos morteros contienen polímeros APP, que les confieren una mayor resistencia a la deformación permanente a altas temperaturas. Son adecuados para aplicaciones en climas calurosos donde las altas temperaturas pueden provocar la deformación del pavimento. Además, los morteros APP modificados son menos susceptibles al reblandecimiento por efecto del calor, lo que los hace ideales para pavimentos expuestos a cargas pesadas y altas temperaturas. (Rodríguez & Fernández, 2019).

2.4. Emulsiones asfálticas.

El asfalto es el aglutinante que mantiene unidos los agregados. Se obtiene del refinamiento del petróleo y posee propiedades viscoelásticas que le permiten adaptarse a variaciones de temperatura y carga de tráfico. El tipo de asfalto utilizado puede variar, incluyendo asfaltos modificados con polímeros para mejorar la resistencia a la deformación y al envejecimiento (López & Torres, 2015).

Las emulsiones asfálticas son dispersiones estables de asfalto en agua, donde el asfalto se encuentra en forma de pequeñas gotas dispersas en la fase acuosa. Estas emulsiones se utilizan comúnmente en la construcción y mantenimiento de carreteras, ya que ofrecen una forma conveniente de aplicar el asfalto en frío. Las emulsiones asfálticas permiten que el asfalto se adhiera a los agregados pétreos en la superficie de la carretera, proporcionando una capa de sellado, impermeabilización o adherencia. (Hicks, R. G., 1990. Emulsions, Emulsifiers, and Emulsión Stability)

2.4.1. Tipos de emulsiones

Los tipos de emulsiones aparecen según las fases y cuan concentradas están:

- **Emulsión directa:** el asfalto está disperso en la fase acuosa (se tiene mayor cantidad de agua que de asfalto).
- **Emulsión inversa:** una fase acuosa se dispersa en el asfalto (se tiene mayor cantidad de asfalto que de agua).

Según el tipo de emulgente usado, pueden ser aniónicas y catiónicas.

- **Emulsiones Aniónicas:** En este caso, el agente emulsificante genera en los glóbulos
- **Emulsiones Catiónicas:** En esta característica, los glóbulos reciben una polaridad positiva por parte del agente emulsificante (carga positiva).

Mientras tanto, según su estabilidad pueden ser:

Las emulsiones asfálticas se pueden clasificar en emulsiones de ruptura rápida y de ruptura lenta (Vidal & Molina, 2017)

- **Emulsiones asfálticas de ruptura rápida:**

Las emulsiones de ruptura rápida son aquellas que se desestabilizan rápidamente cuando se exponen al agua y el calor, lo que permite una rápida unión entre las partículas de asfalto y los agregados (Vidal & Molina, 2017).

Este tipo de emulsión se utiliza comúnmente en tratamientos superficiales como el riego de liga y el sello de grietas, donde se requiere una rápida adherencia entre el asfalto y la superficie existente (Vidal & Molina, 2017).

- **Emulsiones asfálticas de ruptura lenta:**

Por otro lado, las emulsiones de ruptura lenta son aquellas que mantienen su estabilidad durante un período de tiempo prolongado antes de desestabilizarse y permitir la unión entre el asfalto y los agregados (Hugo et al., 2019).

Estas emulsiones se utilizan en aplicaciones donde se requiere una mayor flexibilidad en el tiempo de curado, como en la fabricación de mezclas asfálticas en frío y en tratamientos superficiales de larga duración (Hugo et al., 2019).

- **De Rompimiento Medio:** Usadas para carpetas mezcladas en frío cuya elaboración sea en planta, con un contenido de finos $\leq 2\%$. También se usan en bacheos, nivelaciones y sobre carpetas.

Para Impregnación: Son empleadas para impregnar sub bases y/o bases hidráulicas.

- **Super Estables:** Usadas para estabilizar materiales o recuperar pavimentos.

En el caso de Ecuador, se han realizado estudios para evaluar el comportamiento de las emulsiones asfálticas. Por ejemplo, Gavilanes (2022) analizó el comportamiento de emulsiones asfálticas catiónicas de rompimiento lento (CSS-1h), recomendando el reposo de la mezcla al menos cinco horas antes de los ensayos, dado que es necesario fraguar el contenido de agua. También determinaron que el porcentaje de emulsión debe adicionarse en cerca del 3%, para alcanzar valores máximos de CBR (California Bearing Ratio o Relación de Soporte de California; Gavilanes, 2022).

Por otro lado, Jaramillo y Places (2022) analizaron una emulsión catiónica de ruptura lenta, aplicando ensayos de viscosidad Saybolt Furol (25°C) y obteniendo 26 segundos; un residuo por evaporación de 59, 62%; estabilidad y asentamiento de 1, 30% y 2, 52% y una polaridad de carga positiva de las partículas (Jaramillo y Places, 2022).

En complemento, Quirola y Reinoso (2017) emplearon una emulsión super estable al comparar el uso de dos tipos de emulsificantes catiónicos líquidos (Asfier 240 y Asfier 211). Los autores concluyen que la solución 240 presenta otro comportamiento que la 211, especialmente en lo que respecta al mayor tiempo de mezcla (Asfier 240), dotando un mayor recubrimiento de agregado

En la industria de la construcción vial, las emulsiones asfálticas desempeñan un papel fundamental en una variedad de aplicaciones, cada una diseñada para satisfacer necesidades específicas en diferentes etapas de la construcción y mantenimiento de carreteras. A través de estudios y análisis en el campo de la ingeniería civil, se han identificado varios tipos de emulsiones asfálticas, cada una con sus propias características y ventajas. A continuación, se presenta una descripción de algunos de los tipos más comunes de emulsiones asfálticas, respaldada por evidencia citada:

- **Emulsiones asfálticas modificadas con polímeros:**

Las emulsiones asfálticas modificadas con polímeros son aquellas en las que se añaden polímeros al sistema emulsionado para mejorar sus propiedades mecánicas, resistencia al agua y durabilidad (Schmidt et al., 2020).

Estas emulsiones son especialmente adecuadas para aplicaciones en las que se requiere una mayor resistencia a la deformación permanente y una mejor adherencia a superficies no tradicionales, como suelos estabilizados y materiales reciclados (Schmidt et al., 2020).

- **Emulsiones asfálticas de rejuvenecimiento:**

Las emulsiones de rejuvenecimiento son diseñadas para restaurar las propiedades físicas y químicas del asfalto envejecido, prolongando así la vida útil del pavimento (Martínez et al., 2018).

Estas emulsiones se utilizan en la rehabilitación de pavimentos existentes, donde se aplican para penetrar y restaurar la flexibilidad y la capacidad de sellado del asfalto envejecido, mejorando así su resistencia y durabilidad (Martínez et al., 2018).

En conclusión, existen varios tipos de emulsiones asfálticas diseñadas para satisfacer diferentes necesidades en la construcción y mantenimiento de carreteras, desde la unión rápida de superficies hasta la rehabilitación de pavimentos existentes. La elección del tipo adecuado de emulsión depende de las características específicas del proyecto y los requisitos de rendimiento.

2.5. Emulsiones modificadas con polímeros.

Las emulsiones modificadas con polímeros son sistemas coloidales en los cuales los polímeros se utilizan para estabilizar y modificar las propiedades de las emulsiones. Estos polímeros pueden ser naturales o sintéticos y se dispersan en la fase continua o dispersa de la emulsión para proporcionar estabilidad contra la coalescencia y la sedimentación, así como para alterar la viscosidad, la reología y otras propiedades importantes de la emulsión. Este tipo de emulsiones son ampliamente utilizadas en diversas aplicaciones industriales, incluyendo la industria alimentaria, cosmética, farmacéutica y química. (Walstra, P. 2003, Physical Chemistry of Foods)

El mortero asfáltico polimérico es una variante del mortero asfáltico convencional que incorpora polímeros en su composición para mejorar sus propiedades mecánicas y su resistencia a factores ambientales adversos (Mirzababaei et al., 2019). Este material ha ganado popularidad en la construcción de carreteras y otras infraestructuras debido a su capacidad para proporcionar una superficie de rodadura duradera y de alto rendimiento (Zhang et al., 2021).

El mortero de emulsión polimérica es una alternativa sostenible para la conservación vial que combina los beneficios de los polímeros con la versatilidad de las emulsiones asfálticas (Chen et al., 2020). Esta tecnología permite la reparación y el mantenimiento de pavimentos de manera eficiente, prolongando su vida útil y reduciendo la generación de residuos (Li et al., 2021). El mortero de emulsión polimérica se aplica en diversas actividades de conservación vial, como parcheo de baches, sellado de grietas y restauración de superficies deterioradas.

2.6. Agregados

Los agregados son partículas minerales que forman la estructura granular del mortero. Pueden ser de diferentes tamaños y tipos, como arenas y gravas, y su selección depende de las propiedades mecánicas deseadas para el mortero asfáltico. Los agregados deben ser limpios, duros y duraderos para garantizar la estabilidad y resistencia del pavimento.

En el contexto de la construcción de infraestructura vial, la selección y caracterización de agregados es crucial para asegurar la calidad y durabilidad de los pavimentos. Este estudio se enfoca en los agregados provenientes de las canteras de los ríos Paute y Jubones, ubicadas en la provincia de Azuay Ecuador, evaluando sus propiedades físicas y mecánicas para su uso en mezclas asfálticas. Cumplan con los estándares técnicos y de calidad establecidos por las autoridades locales y los organismos reguladores pertinentes, con la normativa ASHTON Y ASTM, la selección de los agregados adecuados puede variar según las especificaciones de cada proyecto y las condiciones específicas de la región.

Los agregados para la ciudad de Cuenca, Ecuador, se refieren a materiales pétreos como la grava, la arena y la piedra triturada que se utilizan como componentes principales en la fabricación de concreto y asfalto. Estos agregados se extraen de canteras locales o se importan a la ciudad según las necesidades de los proyectos de construcción y mantenimiento de infraestructuras, como carreteras, edificios, puentes y otros tipos de estructuras.

2.6.1. Agregados de Paute

El río Paute, ubicado en la región austral de Ecuador, es una fuente importante de agregados para la construcción. La geología de los agregados en esta zona está influenciada por la composición geológica de la cuenca hidrográfica, que incluye una variedad de formaciones rocosas como ígneas, metamórficas y sedimentarias. Estas formaciones son el resultado de

procesos tectónicos y erosivos que han modelado el paisaje durante millones de años, contribuyendo a la diversidad mineralógica de los agregados presentes en el río (Piedra et al., 2016).

La composición mineralógica de los agregados del río Paute está dominada por minerales como cuarzo, feldespatos y micas, típicos de las rocas ígneas y metamórficas de la región. Estos minerales aportan a los agregados características como alta resistencia y durabilidad, lo que los hace adecuados para su uso en la construcción. Sin embargo, la presencia de minerales secundarios, como los óxidos de hierro, puede influir en aspectos como el color y la reactividad de los agregados, lo que podría afectar su durabilidad a largo plazo (Ramírez & Gómez, 2019).

En cuanto a las características físicas, los agregados del río Paute suelen ser de formas redondeadas debido al transporte fluvial, un proceso que ocurre cuando el agua arrastra partículas a lo largo del lecho del río, suavizando sus bordes. Esta redondez es beneficiosa para aplicaciones como el concreto y el asfalto, donde se requieren agregados con formas más regulares para mejorar la trabajabilidad y la compactación del material (Carrillo & Sánchez, 2018).

La calidad de los agregados del río Paute es generalmente alta, aunque puede variar dependiendo de la zona específica de extracción y de la composición de las rocas fuente. Ensayos de laboratorio son esenciales para determinar propiedades clave como la resistencia a la compresión, la absorción de agua y la reactividad química. Estos ensayos garantizan que los agregados cumplan con los estándares necesarios para su uso en proyectos de construcción (Zambrano & Torres, 2020)

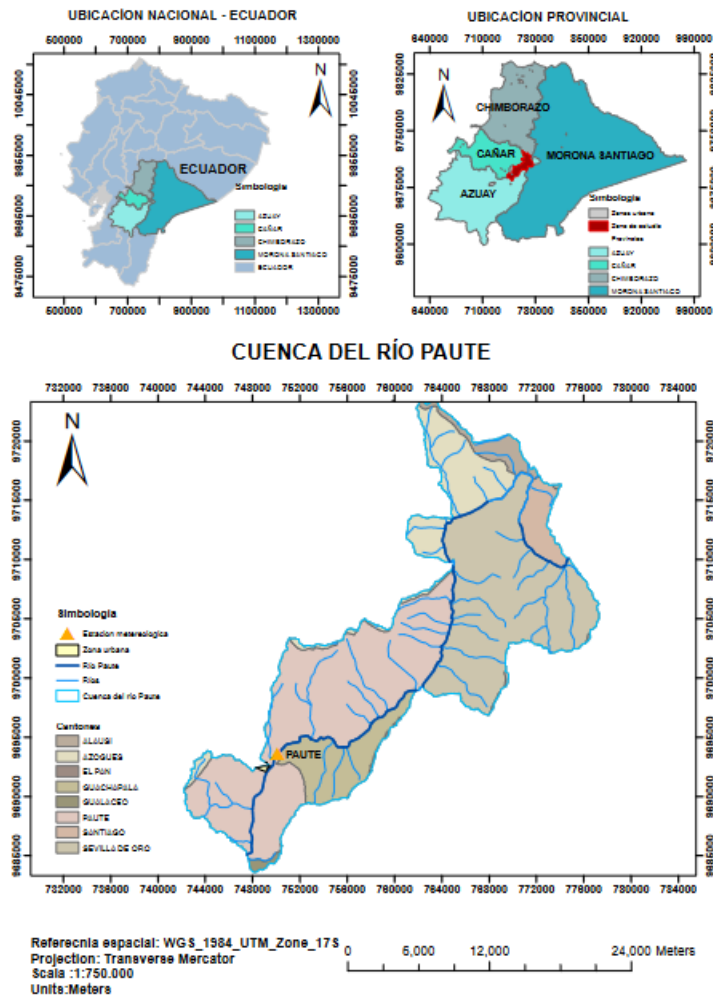


Figura 1. Ubicación río Paute

Fuente: Autoría propia.

2.6.2. Agregados de Jubones

El río Jubones, ubicado en la región sur de Ecuador, es una fuente significativa de agregados utilizados en la construcción. La geología de los agregados en el río Jubones está influenciada por la composición geológica de la cuenca hidrográfica, la cual atraviesa diversas formaciones rocosas de origen ígneo, metamórfico y sedimentario. Estos materiales se originan a partir de la erosión de las rocas que conforman la cordillera de los Andes, que han sido transportados y depositados a lo largo del curso del río, formando una mezcla variada de agregados que son aprovechados en la industria de la construcción (Salinas & Gómez, 2016).

La composición mineralógica de los agregados del río Jubones es diversa, predominando minerales como el cuarzo, feldspatos y micas, típicos de las rocas ígneas y metamórficas que

caracterizan la región. Estos minerales contribuyen a la resistencia y durabilidad de los agregados, lo que los hace adecuados para su uso en la construcción. Sin embargo, la presencia de minerales secundarios como la calcita y la dolomita puede afectar la durabilidad de los agregados, especialmente en ambientes expuestos a la acción de agentes agresivos como sulfatos y ácidos (Paredes & Lara, 2017).

En cuanto a las características físicas, los agregados del río Jubones presentan una forma subredondeada debido al proceso de transporte fluvial, que ha suavizado las aristas de las partículas. Esta característica es favorable para la producción de concretos, ya que facilita la mezcla y la trabajabilidad del material. Además, la granulometría de los agregados es bastante variada, desde arenas finas hasta gravas gruesas, lo que permite su utilización en diversas aplicaciones, desde mezclas asfálticas hasta concretos estructurales (Villacís & Cárdenas, 2018).

La calidad de los agregados del río Jubones es generalmente alta, aunque puede variar en función de la zona de extracción y de la historia geológica local. Los ensayos de laboratorio, como la prueba de resistencia a la compresión, la absorción de agua y la reactividad química, son esenciales para asegurar que los agregados cumplan con los requisitos técnicos para su uso en la construcción. Estos ensayos también son importantes para identificar la presencia de minerales reactivos que podrían causar problemas como la reacción álcali-sílice (Rodríguez & Espinoza, 2019).

Por último, los factores geotécnicos, como la actividad tectónica y la dinámica fluvial en la cuenca del río Jubones, juegan un papel crucial en la estabilidad y disponibilidad de los agregados. La región está sujeta a procesos tectónicos activos, lo que puede generar deslizamientos de tierra y cambios en la configuración del lecho del río. Además, la erosión fluvial es un factor continuo que afecta la disponibilidad de materiales en los depósitos aluviales, lo que puede influir en la calidad y cantidad de los agregados disponibles (Mendoza & Vega, 2020).

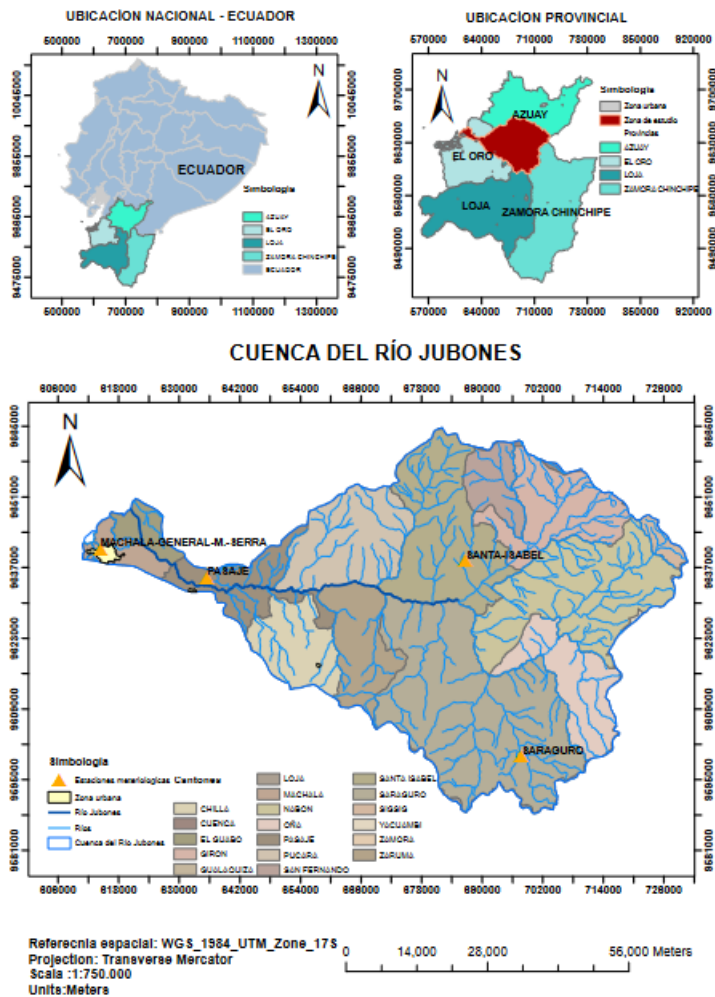


Figura 2. Ubicación del rio Jubones

Fuente: Autoría propia.

2.6.3 Tipos de agregados

En la construcción de infraestructuras viales, los agregados son materiales esenciales que forman la base de las mezclas asfálticas y de concreto. Los agregados se clasifican en varios tipos según sus características físicas y mecánicas, así como su idoneidad para diferentes aplicaciones en la construcción de carreteras. A continuación, se detallan los tipos de agregados más comunes: Tipo I, Tipo II y Tipo III, junto con sus propiedades y aplicaciones.

La clasificación de los agregados en Tipo I, Tipo II y Tipo III permite seleccionar el material más adecuado para cada proyecto de construcción, asegurando así la calidad y

durabilidad de las infraestructuras viales. La correcta elección del tipo de agregado, basada en sus propiedades físicas y mecánicas, es fundamental para optimizar el rendimiento y la longevidad de las obras civiles.

- **Agregados Tipo I**

Los agregados Tipo I son aquellos que cumplen con los requisitos básicos de calidad para ser utilizados en la construcción de pavimentos y estructuras de concreto. Estas son algunas de sus características principales:

Generalmente consisten en rocas sedimentarias como calizas y areniscas, o en algunos casos, rocas ígneas de calidad media.

Tienen un bajo contenido de partículas deleznable y materia orgánica, lo que asegura una buena adherencia con el cemento y el asfalto.

Se utilizan principalmente en la construcción de carreteras de tráfico ligero a moderado, aceras, y estructuras de concreto no sometidas a grandes cargas.

- **Agregados Tipo II**

Los agregados Tipo II presentan mejores características mecánicas y de durabilidad en comparación con los agregados Tipo I. Estas son sus propiedades distintivas:

Suelen estar compuestos por rocas ígneas como basaltos y andesitas, que son más duras y resistentes.

Poseen una menor cantidad de materiales deleznable y una mayor consistencia en la composición mineralógica.

Ideales para la construcción de carreteras de tráfico moderado a intenso, capas de rodadura, y estructuras de concreto sometidas a mayores cargas.

- **Agregados Tipo III**

Los agregados Tipo III son los de mayor calidad, utilizados en aplicaciones que requieren alta resistencia y durabilidad. Sus propiedades son las siguientes:

Constituidos por rocas ígneas y metamórficas de alta resistencia, como el granito y el cuarzo.

Máxima pureza con prácticamente nula presencia de partículas deleznable y materia orgánica.

Utilizados en la construcción de autopistas de tráfico muy intenso, aeropuertos, puentes y otras estructuras de concreto que requieren máxima resistencia y durabilidad.

2.7. Aditivos

Los aditivos son sustancias añadidas al mortero asfáltico para mejorar ciertas características. Estos pueden incluir agentes antidesgaste, modificadores de viscosidad, y aditivos que aumentan la adherencia y la resistencia al agua. Los aditivos son esenciales para optimizar el rendimiento del mortero en condiciones específicas de uso.

2.8. Estabilidad de la emulsión asfáltica

La estabilidad de una emulsión asfáltica se refiere a su capacidad para mantenerse uniformemente dispersa y resistir la coalescencia de las partículas de asfalto durante el almacenamiento, transporte y aplicación. Una emulsión asfáltica es una dispersión coloidal de asfalto en agua, estabilizada por agentes emulsionantes y estabilizantes.

Una adecuada evaluación de la estabilidad de la emulsión asfáltica se realiza mediante pruebas de laboratorio, como la determinación del tiempo de rompimiento, la estabilidad al almacenamiento, la sedimentación y la resistencia a la coalescencia. Estas pruebas ayudan a identificar problemas potenciales de estabilidad y a optimizar la formulación de la emulsión para su aplicación en el campo.

Una emulsión asfáltica estable es aquella que conserva sus propiedades físicas y químicas durante un período de tiempo prolongado, sin separación de fases ni cambio significativo en su apariencia o comportamiento reológico. La estabilidad de la emulsión es crucial para su uso en la

construcción de carreteras y pavimentos, ya que afecta directamente la calidad y durabilidad del revestimiento asfáltico.

Factores que afectan la estabilidad de una emulsión asfáltica incluyen:

2.8.1 Tipo y cantidad de emulsificante

Los emulsificantes ayudan a reducir la tensión interfacial entre el agua y el asfalto, facilitando la formación y estabilización de la emulsión. La elección del emulsificante y su concentración afectan la estabilidad de la emulsión. (Abbas et al., 2016).

2.8.2. Tamaño de las partículas de asfalto

Emulsiones con partículas de tamaño uniforme tienden a ser más estables que aquellas con una distribución de tamaño de partícula más amplia. Un tamaño de partícula más pequeño puede mejorar la estabilidad de la emulsión. (Kumar et al., 2019).

2.8.3. Condiciones de almacenamiento y transporte

Es importante mantener una temperatura constante y proporcionar agitación regular para evitar la sedimentación y coalescencia de las partículas de asfalto. (Jamshidi et al., 2020).

2.8.4. El pH y la conductividad del agua

Utilizada en la preparación de la emulsión pueden afectar su estabilidad, ya que influyen en la carga superficial de las partículas de asfalto y en la interacción con los emulsificantes. (Gomez et al., 2017).

2.8.5. Compatibilidad de los componentes

La compatibilidad entre el asfalto, los emulsificantes y otros aditivos utilizados en la formulación de la emulsión es crucial para garantizar su estabilidad a largo plazo. (Hugener et al., 2018).

2.9. Micro pavimento y slurry seal

El micro pavimento y el slurry seal son tratamientos superficiales utilizados en la rehabilitación y mantenimiento de pavimentos asfálticos. Ambos procesos son ampliamente reconocidos en la ingeniería de carreteras por sus capacidades de mejorar la resistencia y

durabilidad del pavimento existente. Aquí se proporciona una descripción de cada uno de ellos, respaldada por investigaciones y publicaciones especializadas:

2.9.1. Micro pavimento

El micro pavimento es un revestimiento delgado que consiste en una mezcla de agregados finos, asfalto emulsionado, agua y aditivos específicos. Según estudios realizados por Woodhams et al. (2018), el micro pavimento se aplica en capas delgadas, generalmente de 6 a 10 mm de espesor, sobre la superficie del pavimento existente. Este tratamiento se utiliza para restaurar la textura superficial del pavimento, mejorar la resistencia al deslizamiento y sellar pequeñas grietas y fisuras. Además, el micro pavimento puede proporcionar una capa protectora contra la abrasión y los efectos del envejecimiento causados por la exposición a la intemperie y al tráfico vehicular.

2.9.2. Slurry seal

El slurry seal, como lo describe Zhang y White (2019), es una mezcla homogénea de agregados finos, emulsión asfáltica, agua y aditivos poliméricos. Este tratamiento se aplica en capas delgadas, típicamente de 6 a 10 mm de espesor, sobre la superficie del pavimento existente. El slurry seal se utiliza para mejorar la textura superficial del pavimento, proporcionar impermeabilización, sellar grietas menores y restaurar el color del pavimento. Además, el slurry seal puede ayudar a prevenir la oxidación del asfalto y prolongar la vida útil del pavimento.

Estos tratamientos superficiales ofrecen una alternativa rentable y eficaz para mantener y rehabilitar pavimentos asfálticos, mejorando su rendimiento y prolongando su vida útil.

2.9.3. La comparativa entre el micro pavimento y el slurry seal

Ofrece una visión integral sobre dos tratamientos superficiales ampliamente utilizados en la rehabilitación y mantenimiento de pavimentos asfálticos. A través de estudios y análisis comparativos realizados por expertos en ingeniería vial, se pueden identificar diferencias significativas en términos de materiales, proceso de aplicación, durabilidad y rendimiento. A continuación, se presenta una comparativa detallada respaldada por investigaciones citadas:

2.9.4. Composición y materiales

El micro pavimento se compone típicamente de agregados finos, asfalto emulsionado, agua y aditivos específicos (Woodhams et al., 2018).

Por otro lado, el slurry seal está compuesto principalmente por agregados finos, emulsión asfáltica, agua y aditivos poliméricos (Zhang & White, 2019).

2.9.5. Espesor y aplicación

El micro pavimento se aplica en capas delgadas, generalmente de 6 a 10 mm de espesor, sobre la superficie del pavimento existente (Woodhams et al., 2018).

El slurry seal también se aplica en capas delgadas, con un espesor similar de 6 a 10 mm, sobre la superficie del pavimento existente (Zhang & White, 2019).

2.9.6. Propósitos y beneficios

Tanto el micro pavimento como el slurry seal se utilizan para restaurar la textura superficial del pavimento, mejorar la resistencia al deslizamiento y sellar grietas menores (Woodhams et al., 2018; Zhang & White, 2019).

Además, ambos tratamientos proporcionan una capa protectora contra la abrasión, el envejecimiento y la oxidación del asfalto, lo que contribuye a prolongar la vida útil del pavimento (Woodhams et al., 2018; Zhang & White, 2019).

2.9.7. Durabilidad y rendimiento

Estudios han demostrado que tanto el micro pavimento como el slurry seal pueden proporcionar resultados duraderos y satisfactorios cuando se aplican correctamente y se mantienen adecuadamente.

Sin embargo, la durabilidad y el rendimiento de cada tratamiento pueden variar dependiendo de factores como el tráfico vehicular, las condiciones climáticas y la calidad de los materiales utilizados en la aplicación (Woodhams et al., 2018; Zhang & White, 2019).

En conclusión, tanto el micro pavimento como el slurry seal ofrecen soluciones efectivas y rentables para el mantenimiento y la rehabilitación de pavimentos asfálticos, cada uno con sus propias características y beneficios específicos.

2.10. Ventajas de los morteros asfálticos

Las ventajas de los morteros asfálticos son ampliamente reconocidas en la industria de la construcción vial debido a sus características y beneficios específicos, respaldados por investigaciones y estudios realizados por expertos en ingeniería civil. A continuación, se presentan algunas de las ventajas clave de los morteros asfálticos, respaldadas por evidencia citada:

2.10.1. Durabilidad mejorada

Según estudios realizados por García-Martín et al. (2020), los morteros asfálticos ofrecen una mayor durabilidad en comparación con otros materiales de pavimentación. La combinación de agregados minerales y asfalto proporciona una capa resistente a la abrasión y a los efectos del tráfico vehicular, lo que contribuye a una vida útil prolongada del pavimento.

2.10.2. Flexibilidad y adaptabilidad

Investigaciones realizadas por Yu et al. (2019) han demostrado que los morteros asfálticos exhiben una excelente flexibilidad y capacidad de adaptación a las deformaciones causadas por cargas vehiculares y cambios de temperatura. Esta característica permite que el pavimento mantenga su integridad estructural y reduzca la formación de grietas y fisuras.

2.10.3. Rapidez de construcción

De acuerdo con estudios de Olivera et al. (2018), los morteros asfálticos se pueden aplicar de manera rápida y eficiente, lo que resulta en menores tiempos de construcción y menos interrupciones en el tráfico. Esta ventaja es especialmente beneficiosa en proyectos de mantenimiento y rehabilitación de carreteras donde se requiere una rápida puesta en servicio del pavimento.

2.10.4. Bajo costo de mantenimiento

Según investigaciones de Zhang et al. (2021), los morteros asfálticos tienen costos de mantenimiento más bajos en comparación con otros tipos de pavimentos. Su resistencia a la

abrasión y la formación de grietas reduce la necesidad de reparaciones frecuentes, lo que resulta en ahorros significativos a lo largo de la vida útil del pavimento.

2.10.5. Mejora de la seguridad vial

Estudios realizados por Zhao et al. (2020) han demostrado que los morteros asfálticos pueden mejorar la seguridad vial al proporcionar una superficie de rodadura con buena adherencia y resistencia al deslizamiento. Esto reduce el riesgo de accidentes y mejora la comodidad y la experiencia de conducción para los usuarios de la carretera.

CAPITULO III

3. Ensayos.

3.1. Agregados

3.1.1. Muestreo de los materiales, Norma ASTM D-75 / AASHTO T-2

La norma ASTM D75/AASHTO T-2 proporciona directrices para el muestreo de materiales agregados en construcción, asegurando que las muestras sean representativas del lote o pila del material, siendo su propósito proveer un método estándar para obtener muestras representativas de agregados (grava, arena, piedra triturada) en varias etapas de la producción y uso en proyectos de construcción.

Al seguir los procedimientos descritos en la norma ASTM D75 / AASHTO T2, los ingenieros y técnicos pueden garantizar que las muestras de materiales recolectadas sean representativas y adecuadas para su análisis en el laboratorio, lo que contribuye a la calidad y confiabilidad de los resultados de las pruebas y, en última instancia, a la construcción de pavimentos seguros y duraderos

Un muestreo adecuado es vital para garantizar la fiabilidad de los resultados de las pruebas de laboratorio. Una muestra representativa proporciona datos precisos sobre las propiedades del material, lo que permite tomar decisiones informadas sobre su idoneidad para el uso previsto. Además, ayuda a identificar y corregir problemas potenciales en la fuente de material antes de que afecten la calidad del proyecto final.

- **Métodos de Muestreo:**
 - Tomar muestras de al menos tres ubicaciones diferentes de la pila.
 - Evitar las zonas de segregación visibles.
 - Recoger material de diferentes niveles y profundidades.
- **Resultados.**



Ilustración 1 Toma de muestras con equipo mecánico

Fuente: Autoría Propia

El muestreo de agregados es una etapa fundamental en la evaluación de materiales de construcción. Los resultados obtenidos permiten determinar si los agregados cumplen con las especificaciones requeridas, especialmente para su uso en morteros asfálticos. Como se puede observar en la ilustración 1, los agregados analizados cumplen de manera óptima con los estándares establecidos.



Ilustración 2 Toma de muestras con equipo manual

Fuente: Autoría Propia

En caso de que no sea factible utilizar equipo mecanizado, las muestras del apilamiento se extraerán del tercio superior, de la zona media y del tercio inferior del volumen de la pila,

procurando que las muestras tomadas sean lo más homogéneas posible, como se muestra en la ilustración 2.

Las muestras fueron almacenadas en bolsas plásticas para prevenir pérdidas o contaminación. Asimismo, estas bolsas se colocaron dentro de sacos adicionales para evitar el daño del contenido durante su transporte.

3.1.2. Granulometría de los agregados, Norma AASHTO T27 / AASHTO T11 / ASTM C-117

La granulometría de los agregados es un aspecto fundamental en el diseño de mezclas asfálticas y de hormigón, ya que influye directamente en las propiedades mecánicas y de comportamiento de los materiales de construcción. La norma AASHTO T-27 / AASHTO T-11 y su equivalente ASTM C-117 establecen los procedimientos estándar para determinar la granulometría de los agregados.

Este análisis se lleva a cabo mediante un proceso de tamizado, en el cual la muestra se pasa a través de una serie de tamices de mallas progresivamente más finas. Cada tamiz retiene las partículas de un tamaño determinado, y se pesa el material retenido en cada uno de ellos.

- Equipos y materiales
- Tamices (series de tamices)

Tamices de malla metálica de diferentes tamaños (tamaños típicos: 75 mm, 50 mm, 25 mm, 19 mm, 12.5 mm, 9.5 mm, 4.75 mm, 2.36 mm, 1.18 mm, 600 μm , 300 μm , 150 μm , y 75 μm).

Un tamiz con fondo o receptor.

- Agitador mecánico de tamices

Máquina para agitar y sacudir los tamices durante el ensayo (opcional, pero recomendado para obtener resultados más precisos).

- Balanza

Capaz de pesar con una precisión de 0.1 g para muestras pequeñas y hasta 0.1% del peso total para muestras grandes.

- Horno

Capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C para secar la muestra.

- Cepillo y espátula

Para limpiar y transferir el material.

- Recipientes de muestra

Para contener la muestra durante el secado y el pesaje.

- Agua destilada (para el procedimiento ASTM C-117 y AASHTO T11).

Se utiliza para la eliminación de partículas finas por lavado.

- **Procedimiento**

- Secado inicial: Si la muestra está húmeda, se debe secar en el horno a 110 ± 5 °C hasta alcanzar un peso constante.

- Enfriamiento: Deja enfriar la muestra a temperatura ambiente.

- Pesaje inicial: Pesa la muestra total y registra el peso.

- Lavado de la muestra (ASTM C-117 / AASHTO T11)

- Lavado: Pasa la muestra por un tamiz de 75 μm con agua destilada para eliminar partículas finas (limos y arcillas).

- Secado después del lavado: La muestra lavada se seca en el horno nuevamente a 110 ± 5 °C hasta que alcance un peso constante. Luego, enfría y pesa la muestra seca.

- Tamizado (AASHTO T27)

- Montaje de los tamices: Coloca los tamices en orden decreciente de tamaño de apertura, con el tamiz de mayor abertura en la parte superior y el tamiz de fondo en la parte inferior.

- Tamizado: Coloca la muestra en el tamiz superior y tamiza mecánicamente o manualmente hasta que el material fino ya no pase a través de los tamices.



Ilustración 3 Tamizaje de las muestras

Fuente: Autoría Propia

- Pesaje: Pesa el material retenido en cada tamiz y en el fondo, y registra los pesos.
- Peso retenido: Calcula el porcentaje de material retenido en cada tamiz en relación con el peso total de la muestra.
- Acumulado retenido: Calcula el porcentaje acumulado retenido y el porcentaje que pasa por cada tamiz.
- Distribución granulométrica: Presenta los resultados en forma de tabla y gráficamente en una curva granulométrica, mostrando el porcentaje de material que pasa por cada tamiz.
- **Tipos de agregados. (ASTM C-117, 2001)**

La gradación es de gran importancia porque permite determinar el tipo de faja granulométrica en el cual encaja para esta investigación, ya sea TIPO I, TIPO II o III. Una vez tamizado, el porcentaje del tamiz no debe variar más del rango de tolerancia. (ASTM C-117, 2001).

Tabla 1 Tipo de agregados

| TIPOS DE AGREGADOS | | | | | | | | |
|--------------------|----------------|----------------------------------|-----|-----------------------------------|-----|------------------------------------|-----|--|
| TAMIZ TAMAÑO | TAMAÑO (mm) | TIPO I PORCENTAJE QUE PASA | | TIPO II PORCENTAJE QUE PASA | | TIPO III PORCENTAJE QUE PASA | | RESERVAS TOLERANCIA DE LA GRADACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA |
| | | LI | LS | LI | LS | LI | LS | |
| 3/8 (9,5 mm) | 9.5 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| # 4 (4,75 mm) | 4.75 | 100 | 100 | 90 | 100 | 70 | 90 | 5% |
| # 8 (2,36 mm) | 2.36 | 90 | 100 | 65 | 90 | 45 | 70 | 5% |
| # 16 (1,18 mm) | 1.18 | 65 | 90 | 45 | 70 | 28 | 50 | 5% |
| # 30 (600 um) | 0.6 | 40 | 65 | 30 | 50 | 19 | 34 | 5% |
| # 50 (330 um) | 0.33 | 25 | 42 | 18 | 30 | 12 | 25 | 4% |
| # 100 (150 um) | 0.15 | 15 | 30 | 10 | 21 | 7 | 18 | 3% |
| # 200 (75 um) | 0.075 | 10 | 20 | 5 | 15 | 5 | 15 | 2% |

Fuente: Granulometría ISSA de los agregados.

- Resultados**

Resultados Rio Paute

Tabla 2 Granulometría Rio Paute

| GRANULOMETRIA NORMA ASTM C-136 ; ASTM C-117 | | | | | | | | | |
|---|---------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| RIO PAUTE | | | | | | | | | |
| Tamiz No. | Abertura (mm) | Retenido parcial Muestra N°1 | Retenido parcial Muestra N°2 | R. Parcial Corregido Muestra N°1 | R. Parcial Corregido Muestra N°2 | Peso Parcial Promedio | Porcentaje Retenido Parcial | Porcentaje Retenido Acumulado | Porcentaje Que pasa (%) |
| 3/8" | 9.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| No. 4 | 4.75 | 104.89 | 103.37 | 105.69 | 104.24 | 105.0 | 13.13 | 13.13 | 86.87 |
| Pasa N° 4 | | 733.99 | 656.71 | 733.19 | 655.84 | 694.5 | | | |
| No. 8 | 2.360 | 183.90 | 158.06 | 185.30 | 159.40 | 172.3 | 21.56 | 34.69 | 65.31 |
| No. 16 | 1.180 | 154.42 | 140.99 | 155.60 | 142.18 | 148.9 | 18.62 | 53.31 | 46.69 |
| No. 30 | 0.600 | 122.29 | 108.88 | 123.22 | 109.80 | 116.5 | 14.57 | 67.88 | 32.12 |
| No. 50 | 0.300 | 92.02 | 85.00 | 92.72 | 85.72 | 89.2 | 11.16 | 79.04 | 20.96 |
| No. 100 | 0.150 | 57.75 | 48.88 | 58.19 | 49.29 | 53.7 | 6.72 | 85.77 | 14.23 |
| No. 200 | 0.075 | 27.56 | 25.30 | 27.77 | 25.51 | 26.6 | 3.33 | 89.10 | 10.90 |
| Pasante No 200 | | | | | | 87.2 | 10.90 | 100.00 | 0.00 |
| Total | | 838.88 | 760.08 | 838.88 | 760.08 | 799.5 | | | |

Fuente: Autoría Propia

En la Tabla 2, se presenta la granulometría del material proveniente del río Paute. Se realizaron dos tomas de muestra del mismo material con el objetivo de garantizar la representatividad y precisión de los resultados, también se hizo una corrección por humedad, conforme a los procedimientos establecidos en la normativa ASTM C-117.

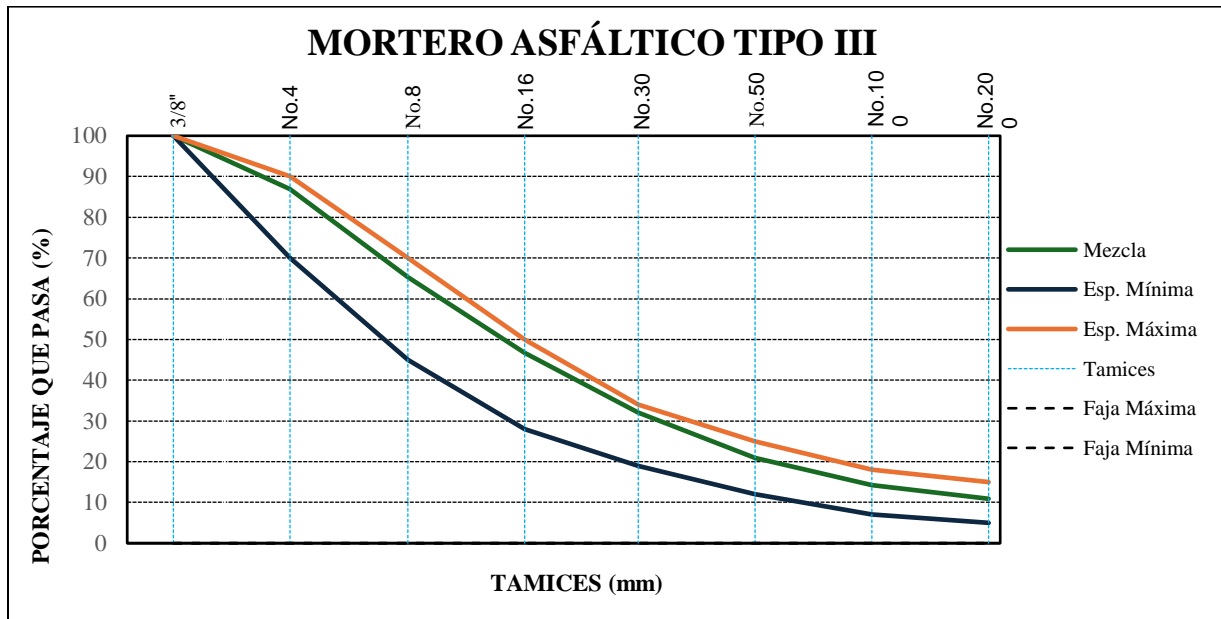


Figura 3. Faja Granulométrica del río Paute

Fuente: Autoría Propia

En la Figura 3 se observa que la curva granulométrica del material del río Paute se ajusta a los parámetros establecidos para una granulometría tipo 3. Esta granulometría es adecuada para su uso en mezclas asfálticas de alta densidad, proporcionando las características necesarias para aplicaciones en pavimentos de alto rendimiento

Resultados Rio Jubones

Tabla 3 Granulometría del rio jubones

| GRANULOMETRIA NORMA ASTM C-136 ; ASTM C-117 | | | | | | | | | |
|---|---------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| RIO JUBONES | | | | | | | | | |
| Tamiz No. | Abertura (mm) | Retenido parcial Muestra N°1 | Retenido parcial Muestra N°2 | R. Parcial Corregido Muestra N°1 | R. Parcial Corregido Muestra N°2 | Peso Parcial Promedio | Porcentaje Retenido Parcial | Porcentaje Retenido Acumulado | Porcentaje Que pasa (%) |
| 3/8" | 9.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| No. 4 | 4.75 | 3.40 | 1.50 | 3.45 | 1.52 | 2.5 | 0.48 | 0.48 | 99.52 |
| Pasa N° 4 | | 3.40 | 1.50 | 3.45 | 1.52 | 2.5 | | | |
| No. 8 | 2.360 | 20.30 | 11.50 | 21.30 | 12.14 | 16.7 | 3.25 | 3.73 | 96.27 |
| No. 16 | 1.180 | 42.10 | 61.50 | 42.42 | 61.65 | 52.0 | 10.12 | 13.85 | 86.15 |
| No. 30 | 0.600 | 72.30 | 107.56 | 72.32 | 108.23 | 90.3 | 17.55 | 31.41 | 68.59 |
| No. 50 | 0.300 | 113.80 | 119.34 | 114.52 | 121.14 | 117.8 | 22.91 | 54.32 | 45.68 |
| No. 100 | 0.150 | 140.80 | 139.23 | 141.25 | 140.30 | 140.8 | 27.37 | 81.69 | 18.31 |
| No. 200 | 0.075 | 32.20 | 21.45 | 33.32 | 22.32 | 27.8 | 5.41 | 87.10 | 12.90 |
| Pasante No 200 | | 89.10 | 52.43 | 91.23 | 53.12 | 72.2 | 14.03 | 100.00 | 0.00 |
| Total | | 514.00 | 514.51 | 514.00 | 514.51 | 514.3 | | | |

Fuente: Autoría Propia

De igual forma se realizó una granulometría del material del rio Jubones, como se muestra en la tabla 3.

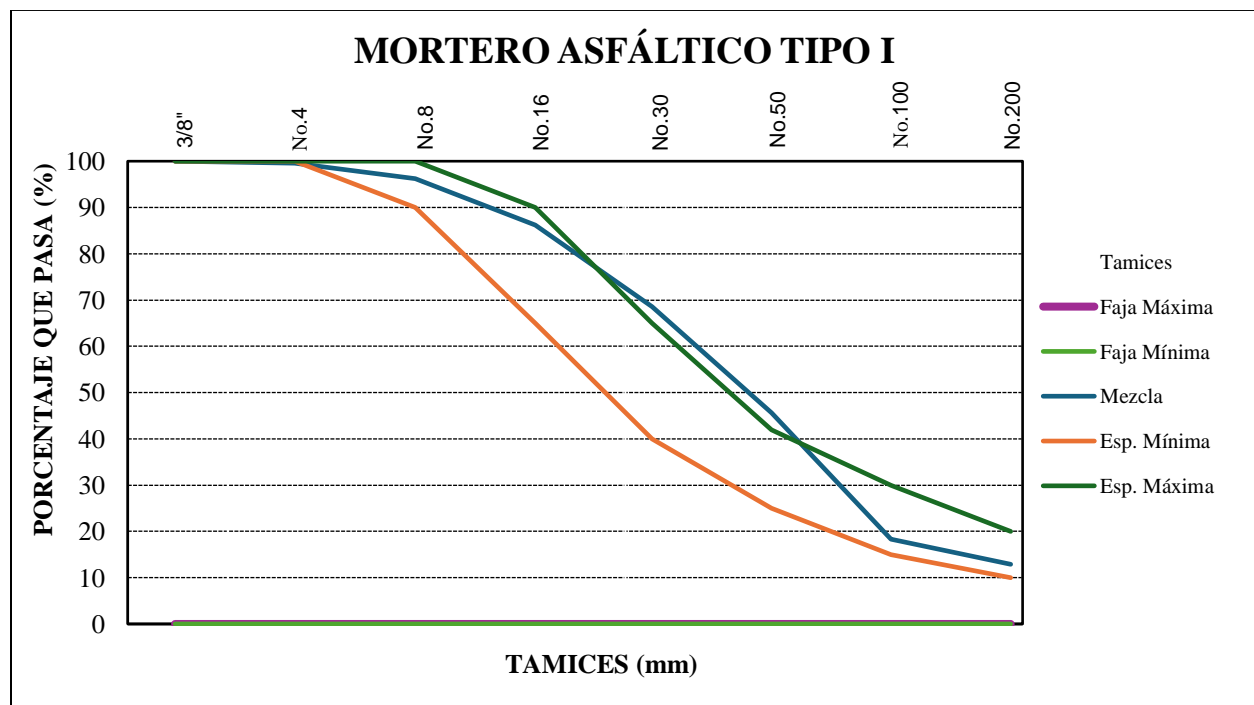


Figura 4 Faja Granulométrica del rio Jubones

Fuente: Autoría Propia

Como resultado en la figura 4 la curva granulométrica del material del río Jubones encaja con el material tipo I. Se utilizan principalmente en la construcción de carreteras de tráfico ligero a moderado, aceras, y estructuras de concreto no sometidas a grandes cargas.

3.1.3. Índice de plasticidad, Norma ASTM D 4318-00

El índice de plasticidad es una medida importante de las propiedades mecánicas de los suelos, específicamente su capacidad de deformación plástica. La norma ASTM D4318-00 proporciona los procedimientos estándar para determinar el índice de plasticidad, especialmente aplicable a suelos de tipo arcilloso.

Para determinar el índice de plasticidad según esta norma para suelos arcillosos, primero se determinan el límite líquido y el límite plástico del suelo utilizando métodos estandarizados, como la taza de Casagrande para el límite líquido y el método del hilo de corte para el límite plástico.

- **Equipos y Materiales**
 - Balanza: Capaz de pesar con una precisión de 0.01 g.
 - Tazas de Casagrande (Dispositivo de límite líquido): Incluye la taza de latón y el elevador ajustable con una manivela para realizar el ensayo del límite líquido.
 - Aguja para calibrar: Para ajustar la altura de caída de la taza en el dispositivo de Casagrande a 10 mm.
 - Placa de vidrio opaca o una superficie dura no absorbente: Para realizar el ensayo del límite plástico.
 - Rodillo: Un cilindro de vidrio o metálico, generalmente de 3 mm de diámetro, para extender los hilos de suelo en el ensayo del límite plástico.
 - Espátula: Para manipular las muestras.
 - Recipientes para humedad: Pequeños contenedores de aluminio con tapas, utilizados para determinar la humedad.
 - Horno: Capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
 - Agua destilada: Utilizada para ajustar la humedad de las muestras de suelo.
 - Papel filtro o paños absorbentes: Para contener la muestra cuando se seca parcialmente al aire.
 - Cronómetro: Para medir el tiempo durante los ensayos.

- **Procedimiento**

- **Recolección de la muestra:** Se recolecta una cantidad representativa de suelo, generalmente pasando por un tamiz No. 40 (425 μ m).
- **Humidificación:** Si la muestra está seca, se mezcla con agua destilada para obtener una consistencia homogénea y plástica. La muestra debe estar libre de grumos o material agregado.
- **Colocación de la muestra:** Coloca una porción de la muestra en la taza de Casagrande.
- **Formación de una ranura:** Con la herramienta de ranura, forma una hendidura en el centro de la muestra.
- **Golpes:** Gira la manivela para hacer que la taza caiga, cerrando la ranura en la muestra. El número de golpes necesarios para cerrar una distancia de 12.7 mm (0.5 pulgadas) se registra.



Ilustración 5 Determinación del límite líquido con ayuda de la máquina “casa grande”

Fuente: Autoría Propia

- **Muestreo y secado:** Se toma una porción de la muestra para determinar su contenido de humedad, secándola en el horno a 110 ± 5 °C.
- **Repetición:** Repite el ensayo con diferentes humedades hasta obtener datos suficientes para trazar la curva del límite líquido.

- Moldeado: Con una porción de la muestra, forma un cilindro y rueda la muestra en la placa de vidrio utilizando un rodillo.
- Rollo y agrietamiento: Continúa rodando hasta que el hilo de suelo se reduzca a un diámetro de aproximadamente 3 mm y comience a agrietarse.
- Muestreo y secado: La muestra se pesa y se seca en el horno para determinar su contenido de humedad, repitiendo el proceso hasta que la muestra no sea plástica.

- **Resultados:**

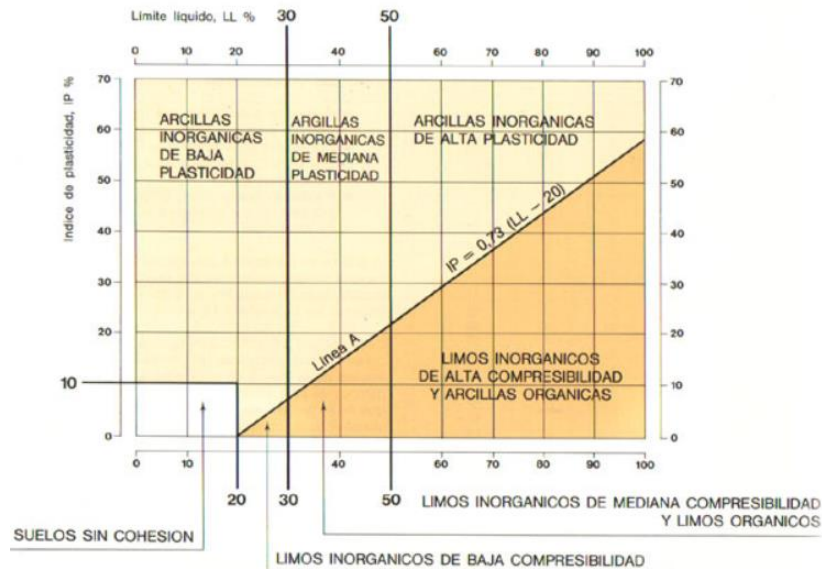


Figura 5. Límites de plasticidad

Autor: Norma ASTM D 4318-00

Realizando los ensayos, utilizando los materiales, los lechos del río Jubones y del río Paute, vamos a usar la figura 5 que es la carta de plasticidad de Casagrande, donde encontraremos índice de plasticidad (IP), una vez que tengamos el límite líquido (LL), de cada lecho.

- **Resultados río Paute**

Tabla 4 Límites de consistencia río Paute

| LIMITES DE CONSISTENCIA RIO PAUTE | | | |
|-----------------------------------|----------------|-------|-------|
| ASTM D 4318-00 | | | |
| | LIMITE LIQUIDO | | |
| TARA | 10 | 2 | 5 |
| Nro. DE GOLPES | 16 | 19 | 35 |
| PESO TARA | 23.25 | 25.34 | 24.21 |
| PESO TARA + SUELO HUMEDO (gr) | 34.12 | 35.34 | 34.32 |
| PESO TARA + MUESTRA SECA (gr) | 32.17 | 33.76 | 32.77 |
| PESO DEL AGUA | 1.95 | 1.58 | 1.55 |
| PESO SUELO SECO | 8.92 | 8.42 | 8.56 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%) | 21.86 | 18.76 | 18.11 |
| LIMITE LIQUIDO (LL) | 18 | | |

Fuente: Autoría Propia.

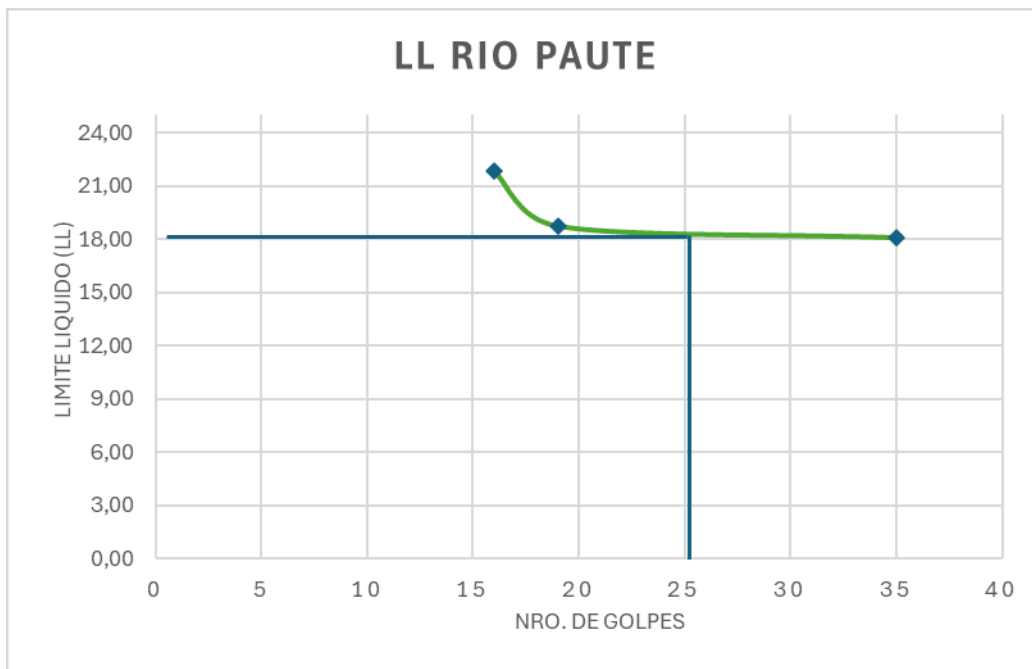


Figura 6 Obtención límite líquido del río Paute

Fuente: Autoría Propia

Como se observa en la Tabla 4 y la figura 6, se ha determinado un límite líquido del 18%. Utilizando la carta de Casagrande, se obtiene un índice de plasticidad (IP) nulo, lo cual refuerza

los resultados del ensayo de límite plástico, en el que fue imposible formar una masa adecuada para su manipulación, indicando que se trata de un material no plástico (NP).

En el caso de suelos no plásticos (NP), la normativa específica que, para suelos arenosos donde la plasticidad es mínima o nula, el índice de plasticidad puede ser cero o muy bajo. Esto se debe a la estructura granular suelta de los suelos arenosos, los cuales carecen de capacidad de deformación plástica.

De acuerdo con la norma ASTM D4318-00, el índice de plasticidad de suelos arenosos puede resultar en un valor muy bajo o nulo. Este resultado es indicativo de la baja plasticidad y de la mayor capacidad de drenaje de estos suelos en comparación con los suelos arcillosos. Por consiguiente, los suelos arenosos presentan una estructura que facilita el flujo de agua, disminuyendo la capacidad de retención de humedad y la susceptibilidad a deformaciones plásticas.

- **Resultados río Jubones**

Tabla 5 Límites de Consistencia río Jubones

| LIMITES DE CONSISTENCIA RIO JUBONES | | | |
|--|-----------------------|-------|-------|
| ASTM D 4318-00 | | | |
| | LIMITE LIQUIDO | | |
| TARA | 1 | 6 | 9 |
| Nro. DE GOLPES | 15 | 20 | 30 |
| PESO TARA | 23.55 | 24.23 | 24.15 |
| PESO TARA + SUELO HUMEDO (gr) | 36.16 | 36.91 | 36.79 |
| PESO TARA + MUESTRA SECA (gr) | 34.91 | 35.69 | 35.71 |
| PESO DEL AGUA | 1.25 | 1.22 | 1.08 |
| PESO SUELO SECO | 11.36 | 11.46 | 11.56 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%) | 11.00 | 10.65 | 9.34 |
| LIMITE LIQUIDO (LL) | 10 | | |

Fuente: Autoría Propia

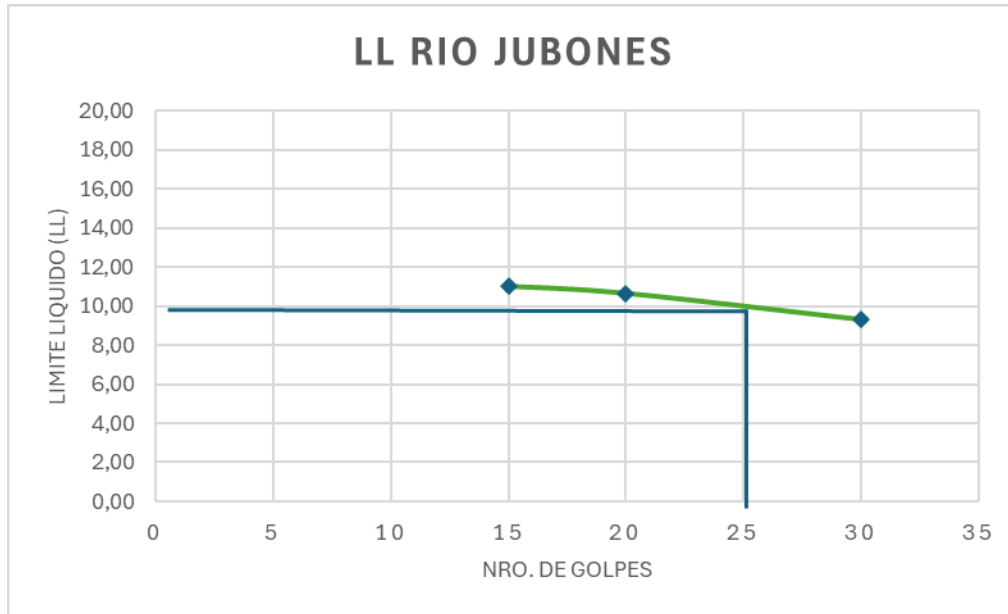


Figura 7 Obtención límite líquido del río Paute

Fuente: Autoría Propia

Como vemos en la tabla 5 y la figura 7 encontramos un límite líquido de 10%, donde usando la carta de Casa grande obtenemos un IP nulo, esto refuerza el ensayo del límite plástico donde fue imposible formar una masa adecuada para su manipulación, dando de resultado un material no plástico.

En el caso de suelos no plásticos (NP), la realización de los ensayos con materiales los materiales, se observó que estos materiales son No Plásticos (NP). Esto se determinó porque, al intentar formar un hilo en el ensayo de Límite Plástico, el material se rompe, lo que impide hilarlo.

3.1.4. Ensayos a resistencia de Sulfatos de Sodio de Magnesio, Norma AASHTO T 104/ ASTM C 88

Este método de ensayo cubre la prueba de los agregados para estimar su resistencia cuando son sometidos a la acción del clima en el concreto o en otras aplicaciones. (ASTM C-88, 2009)

- **Materiales y Equipos**
- Agregado: Muestra de agregado preparada según la gradación específica para el ensayo.

- Solución de sulfato de sodio o magnesio: Solución saturada de sulfato de magnesio (MgSO_4), la solución debe prepararse y mantenerse a una temperatura controlada.
- Recipientes resistentes a la corrosión: Recipientes no reactivos y resistentes a la corrosión para contener las soluciones y las muestras durante la inmersión.
- Balanza: Capaz de pesar con una precisión de 0.1 g para determinar el peso de las muestras antes y después del ensayo.
- Horno: Capaz de mantener una temperatura constante de 110 ± 5 °C para secar las muestras.
- Estufa o baño de inmersión: Para mantener la solución de sulfato a la temperatura requerida durante la inmersión de las muestras.
- Tamices: Tamices con las aberturas especificadas en la norma para la separación del material antes y después del ensayo.
- Cámaras de secado: Cámara con control de temperatura para secar las muestras después de la inmersión.
- Pinzas o guantes resistentes a productos químicos: Para manipular las muestras durante el proceso de inmersión y secado.
- **Procedimiento**
- Recolección y preparación: Obtén una muestra representativa de agregado y prepárala según la gradación requerida por la norma (generalmente, las partículas deben estar entre ciertos tamaños para ser ensayadas).
- Pesaje inicial: Pesa la muestra seca antes de comenzar el ensayo y registra el peso.
- Inmersión: Coloca la muestra de agregado en un recipiente que contenga la solución saturada de sulfato de sodio o magnesio. Asegúrate de que las partículas estén completamente sumergidas.
- Ciclos de inmersión y secado: Mantén la muestra en la solución por un período especificado (generalmente 16 a 18 horas) a una temperatura controlada. Luego, retira la muestra y sécala en el horno a 110 ± 5 °C hasta que alcance un peso constante. Este ciclo de inmersión y secado se repite un número determinado de veces, generalmente 5 ciclos.
- Enfriamiento: Después del ciclo final de secado, deja enfriar la muestra a temperatura ambiente.
- Tamizado: Tamiza la muestra utilizando el tamiz especificado (por ejemplo, No. 4 o 4.75 mm) para separar las partículas desintegradas.

- Pesaje final: Pesa el material retenido en el tamiz para determinar la cantidad de material que ha sufrido desintegración durante el ensayo

- **Resultados.**

- **Resultados del rio Paute.**

Tabla 6. Resistencia de sulfatos del rio Paute

| PAUTE | | | | | | |
|-----------------|----------|-------------|------------|-------------|-------------|---------|
| Número de Tamiz | | % | Peso | Peso | % que | % de |
| Pasa | Retenido | | | | | |
| | | Parcial del | de las | de las | más fino | parcial |
| | | agregado | fracciones | fracciones | después del | |
| | | | antes del | después del | ensayo | |
| | | | ensayo | ensayo | | |
| 3/8 | N°4 | 21.54% | 120 | 112.3 | 6.42% | 1.38% |
| N°4 | N°8 | 24.58% | 120 | 114.6 | 4.50% | 1.11% |
| N°8 | N°16 | 26.24% | 120 | 117.8 | 1.83% | 0.48% |
| N°16 | N°30 | 24.50% | 120 | 112.45 | 6.29% | 1.54% |
| TOTALES | | | 480 | | | 4.51% |

Fuente: Autoría Propia

El valor de 4.51% obtenido en la tabla 6 del agregado del rio Paute, sugiere que el material posee una resistencia relativamente favorable frente al ataque de sulfatos. Este porcentaje indica una moderada susceptibilidad a la acción de sulfatos, lo cual es aceptable en la mayoría de aplicaciones, siempre que no se espere una exposición intensa a ambientes sulfáticos, cumpliendo con la norma para morteros de asfaltos poliméricos.

- **Resultados del rio Jubones.**

Tabla 7 Resistencia de sulfatos del rio Jubones

| JUBONES | | | | | | |
|-----------------|----------|---------------------------------|---|---|---|-----------------------|
| Número de Tamiz | | % Retenido Parcial del agregado | Peso de las fracciones antes del ensayo | Peso de las fracciones después del ensayo | % que pasa el tamiz más fino después del ensayo | % de desgaste parcial |
| Pasa | Retenido | | | | | |
| 3/8 | N°4 | 24.50% | 120 | 114 | 5.00% | 1.23% |
| N°4 | N°8 | 22.14% | 120 | 107.23 | 10.64% | 2.36% |
| N°8 | N°16 | 23.65% | 120 | 112.5 | 6.25% | 1.48% |
| N°16 | N°30 | 25.87% | 120 | 113.2 | 5.67% | 1.47% |
| TOTALES | | | 480 | | | 6.53% |

Fuente: Autoría Propia

El valor de 6.53% obtenido del agregado del rio Jubones en el ensayo de resistencia a sulfatos para indica que el material presenta una moderada susceptibilidad al ataque de sulfatos. Este porcentaje sugiere que el agregado puede experimentar cierta degradación cuando se expone a ambientes con presencia significativa de sulfatos, lo que podría comprometer la durabilidad del mortero a largo plazo, recalcando que se encuentra dentro del rango de la normativa de asfaltos poliméricos.

3.1.5. Peso Unitario, Norma ASTM C-29 / AASHTO T-29

Este método permite determinar la densidad aparente de un árido tanto en su condición compactada o suelta, de tal manera que logremos determinar los huecos entre las partículas de los áridos finos. La densidad aparente también puede emplearse para determinar la relación masa/volumen. (ASTM C-29, 2002)

- **Materiales y Equipos**
 - Recipiente de medida: Un recipiente cilíndrico metálico con capacidad conocida (generalmente entre 0.01 y 0.1 m³). Los tamaños típicos son de 3, 7, 15, o 30 litros.
 - Balanza: Capaz de pesar con una precisión de 0.1% del peso total de la muestra.
 - Varilla compactadora: Varilla de acero con un diámetro de 16 mm (5/8 pulg.) y una longitud de al menos 600 mm (24 pulg.), con un extremo redondeado.
 - Cuchara o pala: Para llenar el recipiente con el agregado.

- Superficie de trabajo: Una superficie plana y nivelada sobre la cual realizar el ensayo.
 - Brocha: Para limpiar el material adherido a las paredes del recipiente.
 - Regla metálica recta: Para nivelar la superficie del agregado en el recipiente, asegurando un volumen constante.
- **Procedimiento**
 - Limpieza: Limpia y seca el recipiente de medida antes de usarlo.
 - Pesaje del recipiente: Pesa el recipiente vacío y seco, y registra su peso (W_1).
 - Llenado suelto: Llene el recipiente con el agregado utilizando la pala o cuchara, asegurándose de no aplicar compactación. Deja que el agregado caiga libremente dentro del recipiente.
 - Nivelado: Después de llenar el recipiente, usa la regla metálica para nivelar la superficie del agregado, eliminando cualquier exceso sin compactar.



Ilustración 3. Enrazado y pesado de la muestra

Fuente: Autoría Propia (laboratorio de suelos CITT)

- Llenado en capas: Llena el recipiente en tres capas aproximadamente iguales.
- Compactación: Compacta cada capa golpeándola 25 veces con la varilla compactadora. Distribuye los golpes de manera uniforme por toda la superficie de la capa.

- Nivelado: Después de llenar y compactar la última capa, nivela la superficie con la regla metálica.
- Pesaje: Pesa el recipiente lleno con el agregado suelto o compactado (W_2) y registra el peso.
- **Resultados.**
- **Resultados del rio Paute.**

Tabla 8 *Peso Unitario del rio Paute*

| PAUTE | | | |
|--------------|----------------|--------------------|---|
| PVS | 1.40 | gr/cm ³ | Peso volumétrico suelto gr/cm ³ |
| Gs1 | 7288 | gr | Peso 1 del agregado suelto más molde en gr |
| Gs2 | 7390 | gr | Peso 2 del agregado suelto más molde en gr |
| Gs3 | 7338.5 | gr | Peso 3 del agregado suelto más molde en gr |
| Gs prom | 7338.83 | gr | Peso promedio del agregado suelto más molde en gr |

Fuente: Autoría Propia

Un agregado con un peso unitario de 1.40 gr/cm³, es un material con una densidad moderada. Este valor sugiere que el material tiene un peso específico adecuado para su uso en aplicaciones para morteros asfálticos.

- **Resultados rio Jubones**

Tabla 9 *Peso unitario del rio Jubones*

| JUBONES | | | |
|----------------|---------|--------------------|---|
| PVS | 1.34 | gr/cm ³ | Peso volumétrico suelto gr/cm ³ |
| Gs1 | 6948 | gr | Peso 1 del agregado suelto más molde en gr |
| Gs2 | 7208.5 | gr | Peso 2 del agregado suelto más molde en gr |
| Gs3 | 7123 | gr | Peso 3 del agregado suelto más molde en gr |
| Gs prom | 7093.16 | gr | Peso promedio del agregado suelto más molde en gr |

Fuente: Autoría Propia

En el caso de agregados, un peso volumétrico de 1.34 gr/cm^3 indica que el material tiene una densidad media, Este valor sugiere que los agregados tienen una densidad media-baja, lo que podría influir en la estabilidad y la resistencia al desgaste del mortero asfáltico.



Ilustración 4. Enrazado del material

Fuente: Autoría Propia (laboratorio de suelos CITT)

3.1.6. Gravedad específica, Norma ASTM C-128 / AASHTO T-84

Este método cubre la determinación de la densidad relativa y la absorción de agregados finos. La gravedad específica, es utilizada para determinar el cálculo del volumen ocupado por el agregado fino en diferentes muestras. (ASTM C-128, 2004)

- **Equipos y materiales**
- Frasco volumétrico (Frasco de Chapman)

Capacidad de 500 mL, con marcas de calibración.

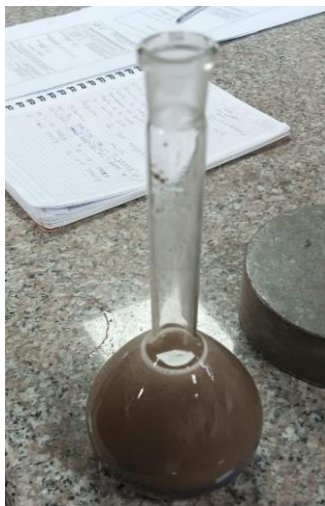


Ilustración 5. Determinación de gravedad específica por medio de un picnómetro

Fuente: Autoría propia

- Cesta de alambre o recipiente de absorción: Cesta de malla metálica fina (generalmente No. 60 o $425\ \mu\text{m}$) para sumergir la muestra de agregado.
- Balanza: Capaz de pesar con una precisión de 0.1 g.
- Horno: Capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5\ ^\circ\text{C}$ para secar las muestras.
- Superficie de absorción: Una placa de vidrio, superficie metálica o de cerámica lisa para extender la muestra durante el secado al aire.
- Cono de metal (moldes cónicos): Un cono truncado metálico para moldear la arena durante la determinación de la masa aparente.



Ilustración 6. Compactado de la muestra

Fuente: Autoría Propia

- Varilla de acero o vidrio: Varilla para mezclar y agitar la muestra de agregado.
 - Toalla absorbente: Para secar la muestra y eliminar el exceso de agua superficial.
 - Agua destilada: Para llenar el frasco y para las pruebas de absorción.
 - **Procedimiento**
 - Secado inicial: Si la muestra está húmeda, sécala en el horno a 110 ± 5 °C hasta que alcance un peso constante.
 - Enfriamiento: Deja enfriar la muestra a temperatura ambiente.
 - Pesaje inicial: Pesa una muestra de aproximadamente 500 g (P1) de agregado fino seco.
 - Inmersión en agua: Coloca la muestra en un recipiente con agua destilada y permite que se sature completamente, generalmente durante 24 horas.
 - Secado superficial: Después de la saturación, drena el exceso de agua y seca la muestra en una toalla absorbente hasta que quede húmeda pero no brillante. Este estado se llama "Superficie Seca Saturada" (SSS).
 - **Gravedad Específica Aparente:**
 - Pesaje en aire: Pesa la muestra en estado SSS (S).
 - Pesaje en agua: Inmediatamente después, sumerge la muestra en el frasco volumétrico lleno de agua y determina su peso bajo el agua (P3).
 - Gravedad Específica SSS (Superficie Seca Saturada):
 - Calibración del frasco: Llena el frasco volumétrico con agua destilada hasta la marca de 500 mL y registra el peso (P4).
 - Pesaje en frasco: Introduce la muestra en el frasco y registra el volumen desplazado por el agregado.
 - **Gravedad Específica Seco:**
 - Secado final: Seca la muestra en el horno a 110 ± 5 °C hasta que alcance un peso constante, enfríala y pesa la muestra seca (P5).
 - Cálculos
 - Gravedad Específica Parente (Gsa)
- $$Gsa = \frac{P2}{P2 - P3}$$
- Gravedad Específica en SSS (Gsss)

$$G_{sa} = \frac{P2}{(P2 - P3) + (P4 - P3)}$$

- Gravedad Especifica seco (Gsd)

$$G_{sa} = \frac{P5}{(P2 - P3) + (P4 - P3)}$$

- Absorción

$$\frac{P2 - P5}{P5} * 100$$

- **Resultados**
- **Resultados rio Paute**

Tabla 10 Gravedad especifica del rio Paute

| PAUTE | | | |
|---|--------|------|---|
| A | 293.85 | gr | MASA EN AIRE DE LA MUESTRA SECA AL HORNO |
| B | 647.5 | gr | PICNÓMETRO + AGUA HASTA LA MARCA DE CALIBRACIÓN |
| C | 831.6 | gr | PICNÓMETRO + AGUA + MUESTRA HASTA LA MARCA DE CALIBRACIÓN |
| S | 300 | gr | MASA DE LA MUESTRA SSS |
| GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA AL HORNO | | 2.53 | |
| GRAVEDAD ESPECÍFICA SATURADA SUPEFICIALMENTE SECO | | 2.58 | |
| GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE | | 2.67 | |
| % DE ABSORCIÓN | | 2.09 | |

Fuente: Autoría Propia

Un valor de 2.667 en la gravedad específica aparente indica que los agregados poseen una densidad adecuada para la conformación de mezclas asfálticas de alta calidad. El 2.09% de

absorción señala una capacidad moderada de los agregados para retener agua. Estas propiedades los hacen apropiados para su aplicación en morteros asfálticos.

- **Resultados rio Jubones**

Tabla 11 Gravedad específica del rio jubones

| JUBONES | | | |
|---|--------|-------|---|
| A | 289.15 | gr | MASA EN AIRE DE LA MUESTRA SECA AL HORNO |
| B | 660.25 | gr | PICNÓMETRO + AGUA HASTA LA MARCA DE CALIBRACIÓN |
| C | 836.6 | gr | PICNÓMETRO + AGUA + MUESTRA HASTA LA MARCA DE CALIBRACIÓN |
| S | 300 | gr | MASA DE LA MUESTRA SSS |
| GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA AL HORNO | | 2.33 | |
| GRAVEDAD ESPECÍFICA SATURADA SUPEFICIALMENTE SECO | | 2.42 | |
| GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE | | 2.563 | |
| % DE ABSORCIÓN | | 3.752 | |

Fuente: Autoría Propia

Un valor de 2.56 en la gravedad específica indica que los agregados son menos densos en comparación con otros materiales comúnmente empleados en mezclas asfálticas. Esta menor densidad podría afectar la estabilidad y la compactación del mortero asfáltico, comprometiendo la resistencia estructural del pavimento.

El 3.75% de absorción, relativamente alto, sugiere que los agregados tienen una considerable capacidad para absorber agua.

3.1.7. Abrasión, Norma ASTM C-131 / AASHTO T-9642

Este método describe la degradación de los áridos minerales de granulometría estándar, se realiza con agregados menores a 1 ½ pulgadas. (AASHTO T-96, 2002)

Los agregados deben ser capaces de resistir el desgaste irreversible y degradación durante la producción, colocación y compactación de las obras de pavimentación y sobre todo durante la vida de servicio del pavimento. (AASHTO T-96, 2002)

- **Materiales y Equipos**

- **Máquina de Los Ángeles:** Un cilindro de acero con un diámetro interno de 710 mm y una longitud de 510 mm, montado sobre ejes que le permiten girar. La máquina debe ser capaz de operar a una velocidad de 30 a 33 revoluciones por minuto (rpm).

Equipado con una tapa desmontable que permite la carga y descarga de muestras y bolas de acero.



Ilustración 7. Ensayo con máquina de los Ángeles

Fuente: Autoría Propia

- **Esferas de acero:** Entre 6 y 12 bolas de acero (dependiendo de la fracción del agregado) con un diámetro aproximado de 46.8 mm y un peso total de aproximadamente 4.6 a 5.0 kg.

- **Tamices:** Tamices de tamaño apropiado, típicamente No. 12 (1.70 mm) y otros tamaños según la gradación del agregado.

- **Balanza:** Capaz de pesar con una precisión de 0.1 g.

- **Horno:** Capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C para secar las muestras.

- **Recipientes para recolectar agregados:** Recipientes para almacenar y manipular las muestras de agregados.
- **Cepillo y brocha:** Para limpiar el material residual de las esferas y el interior de la máquina de Los Ángeles.
- **Procedimiento**
 - **Secado de la muestra:** Seca la muestra de agregado en el horno a 110 ± 5 °C hasta que alcance un peso constante. Luego, enfría a temperatura ambiente.
 - **Selección de la fracción de agregado:** Selecciona y prepara una muestra de agregado con un tamaño específico, generalmente entre 2.36 mm (No. 8) y 19.0 mm (No. 4). La cantidad de muestra utilizada depende del tamaño del agregado, pero típicamente está entre 5000 y 10,000 g.
 - **Colocación de la muestra:** Introduce la muestra de agregado preparada en el cilindro de la máquina de Los Ángeles.
 - **Adición de bolas de acero:** Añade las esferas de acero (generalmente 12 bolas para agregados grandes o 6 bolas para agregados más finos) al cilindro con la muestra de agregado.
 - **Rotación del cilindro:** Coloca la tapa del cilindro y gira el tambor a una velocidad de 30 a 33 revoluciones por minuto (rpm) durante un total de 500 revoluciones.
 - **Descarga de la muestra:** Después de completar las 500 revoluciones, detén la máquina y descarga el contenido, asegurándote de recoger todo el material (agregado y polvo) producido durante la prueba.
 - **Tamizado:** Pasa el material descargado a través de un tamiz No. 12 (1.70 mm) para separar las partículas finas producidas por la abrasión.
 - **Pesaje del material retenido:** Pesa el material retenido en el tamiz (W1) y registra el peso.
 - **Pesaje del material fino:** Pesa el material que pasa por el tamiz No. 12 (W2), el cual representa la pérdida por abrasión.
 - **Pérdida por abrasión:** Calcula el porcentaje de pérdida por abrasión usando la siguiente fórmula:

$$\text{Pérdida por abrasión (\%)} = \frac{W2}{\text{Peso inicial de la muestra}} * 100$$

Reporta el porcentaje de pérdida por abrasión. Este valor indica la resistencia del agregado al desgaste, un factor crucial en su selección para la construcción de carreteras, pavimentos y otras estructuras que estarán expuestas a abrasión significativa.

3.1.7.1 Resultados Paute

Tabla 12 Abrasión del rio Paute.

| ABRASIÓN DEL RIO DE PAUTE | | |
|----------------------------------|--------|----|
| PESO INICIAL | 5001 | gr |
| PESO FINAL | 4355,5 | gr |
| % PERDIDA MAXIMA | 12.90% | % |

Fuente: Autoría Propia

Indica que este material tiene una buena resistencia al desgaste y la degradación mecánica. En términos generales, un valor de abrasión más bajo refleja una mayor durabilidad del agregado cuando es sometido a fuerzas abrasivas.

3.1.7.2 Resultados Jubones

Tabla 13 Abrasión del rio Jubones.

| ABRASIÓN RIO JUBONES | | |
|-----------------------------|--------|----|
| PESO INICIAL | 5000.5 | gr |
| PESO FINAL | 4015.5 | gr |
| % PERDIDA MAXIMA | 19.70% | % |

Fuente: Autoría Propia

Con una pérdida máxima de 19,7% este material presenta una resistencia moderada al desgaste y la degradación mecánica. En términos prácticos, un valor de abrasión en este rango sugiere que el agregado puede ser susceptible a la generación de finos y a la pérdida de masa bajo condiciones de tráfico intenso o cargas repetidas.

3.1.8. Valor Azul de Metileno, Norma ISSA TB 145

Este valor permite conocer la cantidad de materia orgánica y arcilla que se presenta en el agregado fino. A través de los valores de reactividad de los finos del agregado se determina las

características del emulsificante químico a utilizar en el diseño de la emulsión asfáltica y porcentaje de aditivo retardador. (ISSA Tb-145, 2013)

- **Materiales y Equipos**

- Reactivo de Azul de Metileno: Solución de azul de metileno, preparada disolviendo una cantidad específica del reactivo en agua destilada.
- Balanza: Capaz de pesar con una precisión de 0.01 g para medir la cantidad de muestra de agregado.
- Agitador Mecánico o Manual: Equipo para agitar la mezcla de agregado y solución de azul de metileno. Puede ser un agitador mecánico o manual (varilla de vidrio o plástico).
- Pipetas o Bureta: Pipeta graduada o bureta para agregar la solución de azul de metileno en cantidades controladas.
- Beaker o Vaso de precipitados: De capacidad adecuada (500 mL o más) para mezclar la muestra de agregado con la solución de azul de metileno.
- Papel de filtro o papel absorbente: Observar la mancha de azul de metileno durante la prueba.
- Agua destilada: Utilizada para preparar la solución de azul de metileno y lavar los equipos.
- Cronómetro: Para medir los tiempos de agitación y reposo durante el ensayo.

- **Procedimiento**

- Secado de la muestra: Seca la muestra de agregado en el horno a 110 ± 5 °C hasta que alcance un peso constante. Luego, enfríala a temperatura ambiente.
- Pesaje de la muestra: Pesa una cantidad específica de muestra de agregado seco, generalmente entre 10 y 20 gramos (dependiendo del tamaño de partícula), y colócala en un beaker.
- Preparación: Disuelve una cantidad exacta de azul de metileno en agua destilada para obtener una solución de 0.01 M.
- Adición de agua destilada: Añade una cantidad suficiente de agua destilada a la muestra de agregado en el beaker para cubrir completamente las partículas.

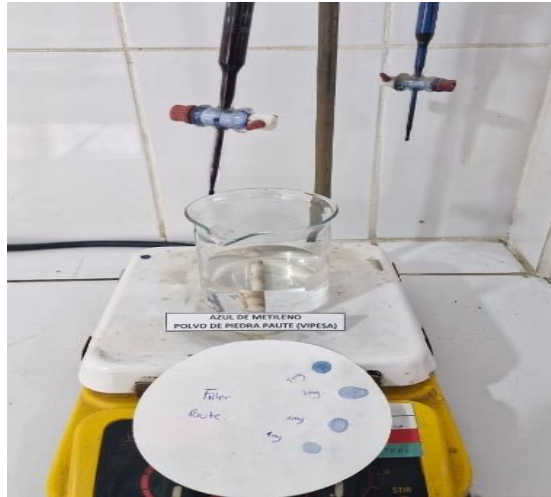


Ilustración 8. Ensayo Azul de Metileno

Fuente: Autoría Propia (laboratorios Emuldec)

- Adición de azul de metileno: Comienza agregando 10 mL de la solución de azul de metileno al beaker con la muestra de agregado y mezcla vigorosamente utilizando el agitador.



Ilustración 9. Preparación Azul de Metileno

Fuente: Autoría Propia (laboratorios Emuldec)

- Agitación: Agita la mezcla continuamente durante 1 minuto. Luego, permite que repose durante 30 segundos.

- Prueba de la mancha: Después de la primera adición, coloca una gota de la suspensión sobre un papel de filtro o papel absorbente. Observa la mancha formada:

Si la mancha tiene un halo azul claro alrededor de una zona central oscura, el ensayo se detiene aquí.

Si no se observa un halo claro, continúa agregando la solución de azul de metileno en incrementos de 1 mL, agitando durante 1 minuto y probando cada vez.

- Continuación del ensayo: Repite el procedimiento hasta que el halo claro sea visible, indicando la saturación de las partículas de arcilla con azul de metileno.

- Valor Azul de Metileno (VM): Se calcula como la cantidad de solución de azul de metileno consumida por gramo de agregado fino.

$$VM = \frac{\text{Volumen total de la solución de azul de metileno (mL)}}{\text{Peso de la muestra de agregado (g)}}$$

3.1.8.1 Resultados Paute

Tabla 14 Azul de metileno del rio paute

| Nº DE LECTURA | Azul de Metileno |
|---------------|------------------|
| Lectura | 5.00 mg-g |

Fuente: Autoría Propia

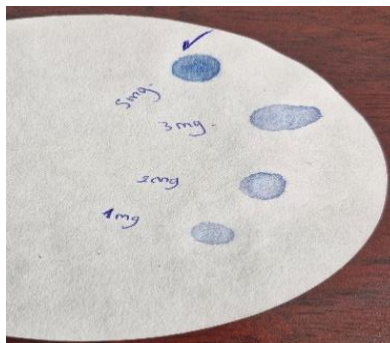


Ilustración 10 Azul de metileno rio Paute

Fuente: Autoría Propia

3.1.8.2 Resultados Jubones

Tabla 15 Azul de metileno del rio Jubones

| N° DE LECTURA | Azul de Metileno |
|---------------|------------------|
| Lectura | 25.00 mg-g |

Fuente: Autoría Propia

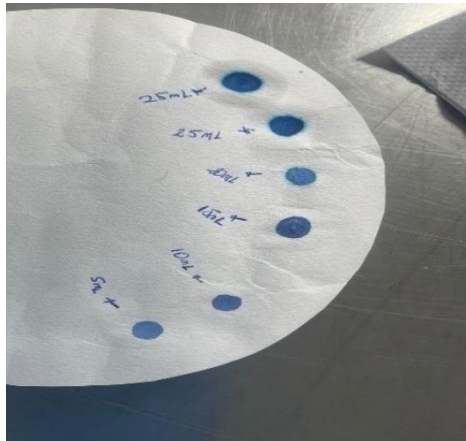


Ilustración 11. Azul de metileno rio Jubones

Fuente: Autoría Propia

3.1.9. Equivalente de Arena, Norma AASHTO T-176/ AASHTO D-2419

El método describe un procedimiento para determinar proporciones relativas de finos, arcillas y material orgánico que pasan el tamiz #4. (ASTM D-2419, 2002)

Para determinar el porcentaje de finos en una muestra, se incorpora una medida de suelo y solución en una probeta plástica graduada que luego de ser agitada separa el recubrimiento de finos de las partículas de arena, después de un periodo de tiempo, se pueden leer las alturas de arcilla y arena en la probeta. El equivalente de arena es la relación de la altura de arena respecto a la altura de arcilla, expresada en porcentaje. (ASTM D-2419, 2002)

- **Materiales y Equipos**
 - Frasco de lavado y cilindro graduado: Un cilindro de plástico transparente con una capacidad de 4 oz (aproximadamente 120 mL) y marcado en incrementos de 0.1 mL.

Un frasco de lavado de 1000 mL para preparar la solución y lavar la muestra.

- Solución de trabajo: Solución de cloruro de calcio (CaCl_2), glicerina y formaldehído diluidos en agua destilada. Es necesario seguir las especificaciones para preparar esta solución según la norma.
- Embudo de goma: Para agregar la solución de trabajo al cilindro sin derramarla.
- Varilla de metal o vidrio: De 305 mm (12 pulgadas) de largo y 4.75 mm (3/16 pulgadas) de diámetro para agitar la solución con la muestra.
- Tubo irrigador: Un tubo de plástico flexible conectado al frasco de lavado, con una boquilla metálica, para introducir la solución en el cilindro.
- Cronómetro: Para medir los tiempos de sedimentación y agitación durante el ensayo.
- Dispositivo de compactación manual o mecánico: Embolo o pisón utilizado para compactar la muestra en el cilindro.
- Horno: Capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C para secar las muestras.
- Tamices: Serie de tamices, típicamente No. 4 (4.75 mm) y No. 200 (75 μm), para preparar la muestra.
- Balanza: Pesar con precisión de 0.1 g.
- **Procedimiento**
- Selección de la muestra: Pasa una cantidad adecuada de suelo o agregado fino a través del tamiz No. 4 (4.75 mm). Generalmente, se utiliza una muestra de aproximadamente 100 g.
- Secado de la muestra: Seca la muestra en el horno a 110 ± 5 °C hasta alcanzar un peso constante. Luego, deja enfriar a temperatura ambiente.
- Preparación de la solución: Disuelve cloruro de calcio (CaCl_2), glicerina y formaldehído en agua destilada según las proporciones indicadas en la norma. Llena el frasco de lavado con la solución preparada.
- Adición de la muestra: Coloca una cantidad específica de muestra seca en el cilindro utilizando un embudo de goma para evitar derrames.
- Adición de la solución de trabajo: Añade la solución de trabajo al cilindro hasta la marca de 4 oz (120 mL).
- Agitación: Inserta la varilla de agitación y mueve la muestra vigorosamente hacia arriba y hacia abajo durante aproximadamente 30 segundos para asegurar una mezcla homogénea.

- Compactación manual: Utiliza un émbolo o pisón para compactar suavemente la muestra en el fondo del cilindro, asegurándote de que la superficie esté nivelada.
- Reposo de la muestra: Deja reposar el cilindro durante 20 minutos, permitiendo que las partículas finas se sedimenten en el fondo y las partículas más gruesas queden encima.
- Medición del nivel de arena: Después del tiempo de reposo, observa el nivel superior de la arena sedimentada en el cilindro y registra la lectura en milímetros.
- Medición del nivel de arcilla: Vuelve a agitar la muestra suavemente y permite que se asiente por 20 minutos adicionales. Luego, mide y registra el nivel superior del limo o arcilla en el cilindro.



Ilustración 12. Reposo de la muestra para equivalente de arena

Fuente: Autoría Propia

- **Resultados rio Paute**

Tabla 16. Equivalente de arena rio Paute

| DESCRIPCIÓN | Muestra N°1 | Muestra N°2 | Muestra N°3 | Muestra N°4 | PROMEDIO |
|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------|
| Lectura Arcilla | 5.15 Pulgada | 5.45 Pulgada | 5.60 Pulgada | 5.40 Pulgada | |
| Lectura Arena | 3.30 Pulgada | 3.60 Pulgada | 3.80 Pulgada | 3.50 Pulgada | |
| Equivalente de Arena | 64.08% | 66.06% | 67.86% | 64.81% | |

Fuente: Autoría Propia

Con un valor de equivalente de arena de 65.70% está compuesto por arena limpia, mientras que el 34.30% restante corresponde a finos o impurezas.

Un equivalente de arena de 65.70% se considera aceptable para ciertos usos, de mezclas asfálticas, donde la presencia de finos debe ser controlada para evitar problemas de durabilidad y resistencia en la estructura final.

- **Resultados rio Jubones**

Tabla 17. Equivalente de arena rio Jubones

| DESCRIPCIÓN | Muestra N°1 | Muestra N°2 | Muestra N°3 | Muestra N°4 | PROMEDIO |
|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------|
| Lectura Arcilla | 3.56 Pulgada | 3.55 Pulgada | 3.55 Pulgada | 4.40 Pulgada | |
| Lectura Arena | 2.10 Pulgada | 2.40 Pulgada | 2.37 Pulgada | 2.45 Pulgada | |
| Equivalente de Arena | 58.99% | 67.61% | 66.76% | 55.68% | |

Fuente: Autoría Propia

Dado que se obtuvieron resultados negativos en el ensayo de equivalente de arena para el río Jubones, se decidió no utilizar este material en los morteros asfálticos, ya que no cumple con las especificaciones recomendadas. Este material no satisfizo las exigencias previas requeridas para agregados destinados a micropavimentos

3.1.10. Resumen ensayos de agregados.

- Ensayos de agregados del rio Paute.

Tabla 18. Resumen rio Paute

| TABLA DE RESUMEN RIO PAUTE | | | | | | | | |
|----------------------------|----------------|--------|--|--------|--------|--------|-------------|--------|
| NORMA | | | ENSAYOS DE AGREGADOS | UNIDAD | MINIMO | MAXIMO | PAUTE | CUMPLE |
| ASTM | AASHTO | ISSA | | | | | | |
| C-117 | T 27 / T 11 | | Faja Granulométrica | | - | - | Tipo III | si |
| D 4318-00 | | | Índice de plasticidad | | NP | | No Plástico | si |
| C 88 | T 104 | | Estándar para sanidad de los agregados mediante el uso de sulfatos de magnesio | % | - | 25 | 6.53 | si |
| C-29 | T-29 | | Peso Unitario | gr/cm3 | - | - | 1.40 | si |
| C-131 | T-9642 | | Abrasión | % | - | 30 | 20 | si |
| C-128 | T-84 | | Gravedad Especifica | gr/cm3 | - | - | 2.23 | si |
| C-128 | T-84 | | Gravedad Especifica SSS | gr/cm3 | - | - | 2.38 | si |
| C-128 | T-84 | | Gravedad Especifica aparente | gr/cm3 | - | - | 2.61 | si |
| | | | % Absorción | | - | - | 6.53 | si |
| | | TB-145 | Valor de Azul de metileno | mg-g | - | 9 | 5 | si |
| | T-176 / D-2419 | | Equivalente de arena | % | 65 | - | 65.7 | si |

Fuente: Autoría Propia

- **Ensayos de agregados del rio Jubones.**

Tabla 19. Resumen rio Jubones

| TABLA DE RESUMEN RIO JUBONES | | | | | | | | |
|------------------------------|----------------|--------|--|--------|--------|--------|-------------|--------|
| NORMA | | | ENSAYOS DE AGREGADOS | UNIDAD | MINIMO | MAXIMO | JUBONES | CUMPLE |
| ASTM | AASHTO | ISSA | | | | | | |
| C-117 | T 27 / T 11 | | Faja Granulométrica | | - | - | Tipo I | si |
| D 4318-00 | | | Índice de plasticidad | | NP | | No Plastico | si |
| C 88 | T 104 | | Estándar para sanidad de los agregados mediante el uso de sulfatos de magnesio | % | - | 25 | 4.51 | si |
| C-29 | T-29 | | Peso Unitario | gr/cm3 | - | - | 1.34 | si |
| C-131 | T-9642 | | Abrasión | % | - | 30 | 19.7 | si |
| C-128 | T-84 | | Gravedad Especifica | gr/cm3 | - | - | 2.37 | si |
| C-128 | T-84 | | Gravedad Especifica SSS | gr/cm3 | - | - | 2.48 | si |
| C-128 | T-84 | | Gravedad Especifica aparente | gr/cm3 | - | - | 2.65 | si |
| | | | % Absorción | | - | - | 4.42 | si |
| | | TB-145 | Valor de Azul de metileno | mg-g | - | 9 | 25 | No |
| | T-176 / D-2419 | | Equivalente de arena | % | 65 | - | 62.26 | No |

Fuente: Autoría Propia

3.2. Ensayos de Emulsiones Asfálticas.

3.2.1 Residuos por Evaporación NTE INEN 905

El ensayo de residuos por evaporación según la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE) INEN 905 es fundamental para evaluar las características de los materiales bituminosos, especialmente emulsiones asfálticas. Este ensayo permite determinar la cantidad de residuo que queda después de evaporar el componente acuoso de la emulsión, lo que es crucial para evaluar la calidad y el desempeño del material asfáltico en aplicaciones de pavimentación y recubrimiento.

- **Equipos y materiales**

- Balanza analítica: Capaz de medir con precisión hasta 0.1 mg.
- Estufa: Capaz de mantener una temperatura constante de $180\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Desecador: Conteniendo un desecante adecuado (sílica gel o cloruro de calcio).
- Crisoles o cápsulas de evaporación: De material adecuado, preferentemente de porcelana o vidrio.

- Pinzas: Para manipular los crisoles o cápsulas.
- Pipetas y cilindros medidores: Para medir volúmenes de agua con precisión.
- Agua destilada: Para enjuagar y preparar las muestras.
- Guantes y gafas de seguridad: Para proteger al operador.

- **Procedimiento**

- Preparación de los crisoles o cápsulas: Los crisoles o cápsulas de evaporación serán limpiados con agua destilada y secados completamente. Posteriormente, se colocarán en una estufa a $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante un mínimo de 1 hora para eliminar cualquier residuo. Después, se enfriarán en un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente. Finalmente, se pesarán los crisoles en una balanza analítica y se registrará su peso (P1).

- Preparación de la muestra: Se medirá un volumen conocido de la muestra de agua utilizando una pipeta o cilindro medidor. El volumen recomendado puede variar, pero generalmente oscila entre 100 mL y 500 mL, dependiendo de la concentración esperada de residuos.

- Evaporación de la muestra: La muestra se verterá en el crisol o cápsula preparada y se colocará en una estufa a $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta que toda el agua se haya evaporado. Este proceso puede durar varias horas, dependiendo del volumen de la muestra. Se asegurará que la evaporación se realice de manera uniforme para evitar salpicaduras.

- Secado y enfriamiento: Tras la evaporación, los crisoles se mantendrán en la estufa a 180 °C por 1 hora adicional para asegurar la completa eliminación del agua.

Posteriormente, se retirarán de la estufa y se colocarán en un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente

- Peso final: Se pesarán los crisoles con los residuos secos en una balanza analítica y se registrará su peso (P2).

- Cálculo de los residuos por evaporación: La cantidad de residuos por evaporación se calculará utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Residuos por evaporación } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{(P2 - P1) * 100}{V}$$

P1 es el peso del crisol vacío (mg).

P2 es el peso del crisol con los residuos secos (mg).

V es el volumen de la muestra de agua (mL).

3.2.2. Viscosidad Saybolt Furol, (25 °C) NTE INEN 1981

El ensayo de viscosidad Saybolt Furol a 25 °C según la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE) INEN 1981 es un método estándar para determinar la viscosidad de emulsiones asfálticas. La viscosidad es una propiedad crucial que influye en la manejabilidad, la capacidad de recubrimiento de los agregados y el rendimiento general del material en aplicaciones de pavimentación.

El objetivo del ensayo es medir la viscosidad de una emulsión asfáltica a una temperatura controlada de 25 °C, utilizando un viscosímetro Saybolt Furol. Esta medida permite evaluar la resistencia al flujo del material, proporcionando una indicación de su comportamiento durante la aplicación y el servicio.

- **Equipos y materiales**

Viscosímetro Saybolt: Conformado por el tubo viscosímetro, el baño de calentamiento y los recipientes para recogida.

Termómetro: Capaz de medir la temperatura con precisión, preferentemente de rango -10 °C a 110 °C.

Cronómetro: Con precisión de al menos 0.1 segundos.

Baño de agua: Capaz de mantener una temperatura constante de 25 °C.

Recipientes de colección: Normalmente de vidrio, para recolectar la muestra que fluye del viscosímetro.

Solvente de limpieza: Para limpiar el viscosímetro después de cada uso.

Jeringas o pipetas: Para transferir la muestra al viscosímetro.

Guantes y gafas de seguridad: Para proteger al operador.

- **Procedimiento**

Limpiar el viscosímetro con un solvente adecuado y asegurarse de que esté completamente seco antes de usarlo se debe verificar que el baño de agua mantenga una temperatura constante de $25\text{ °C} \pm 0.1\text{ °C}$.

Homogeneizar la muestra antes de la medición para asegurar una consistencia uniforme. Y con eso llenar el tubo viscosímetro con la muestra utilizando una jeringa o pipeta, asegurándose de que no haya burbujas de aire en la muestra, colocar el viscosímetro lleno en el baño de agua a 25 °C y dejarlo estabilizarse térmicamente durante el tiempo necesario (generalmente alrededor de 10 minutos), luego abrir la válvula de salida del viscosímetro y empezar a medir el tiempo inmediatamente con el cronómetro, recolectar la muestra que fluye en el recipiente de colección hasta que se llene a un volumen predeterminado (usualmente 200) finalmente se debe registrar el tiempo transcurrido desde la apertura de la válvula hasta que el recipiente de colección se haya llenado al volumen especificado.

La viscosidad Saybolt Furol se calcula directamente a partir del tiempo medido, ya que el aparato está calibrado para proporcionar la viscosidad en segundos Saybolt Furol (SSF).

3.2.3. Ensayo del Tamiz #20 NTE INEN 906

Es una técnica fundamental en la ingeniería, particularmente en la caracterización de materiales granulares como arena, grava, suelo, entre otros. Este ensayo se centra en determinar la distribución del tamaño de partículas de un material a través de un tamiz de malla número 20, es decir, con una abertura nominal de 0.85 mm.

- **Equipos y materiales**

Tamiz #20: Un tamiz con abertura de malla de 850 micrómetros, según la norma.

Balanza: Capaz de pesar con una precisión de 0.1 g.

Juego de tamices: Con diferentes tamaños de malla para la realización del análisis granulométrico completo.

Agitador mecánico de tamices: Para asegurar una separación adecuada y uniforme de las partículas.

Cepillo de cerdas suaves: Para limpiar los tamices antes y después del uso.

Recipiente o bandeja de recolección: Para recolectar las fracciones de material que pasan a través de los tamices.

Guantes y gafas de seguridad: Para proteger al operador durante la manipulación de los materiales.

- **Procedimiento**

Asegurar que el tamiz #20 y todos los equipos estén limpios y libres de cualquier residuo antes de comenzar el ensayo.

Tomar una muestra representativa del material a ensayar. El tamaño de la muestra debe ser adecuado para asegurar una representación precisa del material.

Pesar una cantidad conocida de la muestra utilizando la balanza. Registrar este peso inicial (W) y colocar la muestra en el tamiz #20. Si se realiza un análisis granulométrico

completo, colocar la muestra en la parte superior del juego de tamices, en el agitador mecánico de tamices. Asegurar que esté bien fijado y ajustar el tiempo de agitación según las especificaciones del ensayo o hasta obtener una separación completa y consistente.

Después de completar el tamizado, recolectar y pesar la fracción de material que ha pasado a través del tamiz #20. Registrar este peso (P).

Para calcular el porcentaje de material que pasa a través del tamiz #20 se determina utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje que pasa el tamiz (\%)} = \left(\frac{P}{W} \right) * 100$$

Donde:

P es el peso del material que pasó el tamiz #20.

W es el peso inicial de la muestra.

3.2.4. Estabilidad Almacenamiento (24h) NTE INEN 909

La estabilidad de almacenamiento durante 24 horas, según la normativa NTE INEN 909, es un parámetro crítico en la evaluación de materiales de construcción, especialmente aquellos que puedan ser afectados por cambios en su estado físico o químico durante el almacenamiento prolongado.

- **Equipos y materiales**

Recipientes de almacenamiento: Recipientes herméticos de vidrio o plástico que no reaccionen con la muestra, de capacidad adecuada para la cantidad de muestra a ensayar.

Balanza analítica: Capaz de medir con precisión hasta 0.1 mg.

Termómetro: Capaz de medir con precisión en el rango de temperatura especificado para el ensayo.

Estufa o cámara de almacenamiento controlada: Capaz de mantener una temperatura constante de $25 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas.

Cronómetro: Para medir el tiempo de almacenamiento con precisión.

Agitador magnético o mecánico: Para homogenizar las muestras antes y después del almacenamiento.

Guantes y gafas de seguridad: Para proteger al operador durante la manipulación de las muestras.

- **Procedimiento**

Asegurarse de que los recipientes de almacenamiento estén limpios y secos antes de utilizarlos, tratar de homogeneizar bien la muestra utilizando un agitador magnético o mecánico para asegurar una distribución uniforme de los componentes antes del inicio del ensayo.

Pesar una cantidad conocida de la muestra utilizando la balanza analítica y registrar este peso inicial (W_0), se debe transferir la muestra a los recipientes de almacenamiento de manera uniforme y hermética.

Colocar los recipientes con las muestras en la estufa o cámara de almacenamiento controlada, manteniendo una temperatura constante de $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ durante 24 horas.

Utilizar el cronómetro para asegurar que las muestras se mantengan almacenadas por el tiempo exacto de 24 horas, pasado las horas retirar los recipientes de almacenamiento de la estufa o cámara controlada.

Homogeneizar nuevamente las muestras utilizando un agitador magnético o mecánico para asegurar una distribución uniforme de los componentes.

Observar cualquier cambio en la apariencia, color, separación de fases u otras características físicas de las muestras, pesar nuevamente las muestras y registrar el peso final (W_1) para evaluar cualquier cambio en la masa.

Calcular cualquier cambio en la masa de la muestra utilizando la diferencia entre el peso inicial y final:

$$\Delta W = W_1 - W_0$$

W0 = es el peso inicial de la muestra

W1 = es el peso final de la muestra después de 24 horas de almacenamiento

Analizar los resultados y comparar con los criterios de aceptación especificados en la norma NTE INEN 909 para determinar si la muestra cumple con los requisitos de estabilidad de almacenamiento.

3.2.5. Estabilidad Asentamiento (5 días) NTE INEN 910

La estabilidad de asentamiento durante 5 días, de acuerdo con la normativa NTE INEN 910, es un parámetro crucial en la evaluación de materiales de construcción que experimentan cambios en su volumen o forma con el tiempo, como los morteros y hormigones.

- **Equipos y materiales**

Recipientes de almacenamiento: Recipientes de vidrio o plástico que no reaccionen con la muestra, de capacidad adecuada para la cantidad de muestra a ensayar.

Balanza analítica: Capaz de medir con precisión hasta 0.1 mg.

Termómetro: Capaz de medir con precisión en el rango de temperatura especificado para el ensayo.

Estufa o cámara de almacenamiento controlada: Capaz de mantener una temperatura constante de $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ durante 5 días.

Cronómetro: Para medir el tiempo de almacenamiento con precisión.

Agitador magnético o mecánico: Para homogenizar las muestras antes y después del almacenamiento.

Papel de filtro: Para filtrar las muestras si es necesario.

Guantes y gafas de seguridad: Para proteger al operador durante la manipulación de las muestras.

- **Procedimiento**

Asegurar que los recipientes de almacenamiento estén limpios y secos antes de utilizarlos.

Homogeneizar bien la muestra utilizando un agitador magnético o mecánico para asegurar una distribución uniforme de los componentes antes del inicio del ensayo, se debe pesar una cantidad conocida de la muestra utilizando la balanza analítica y registrar este peso inicial (W_0).

Transferir la muestra a los recipientes de almacenamiento de manera uniforme y hermética.

Colocar los recipientes con las muestras en la estufa o cámara de almacenamiento controlada, manteniendo una temperatura constante de $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ durante 5 días.

Utilizar el cronómetro para asegurar que las muestras se mantengan almacenadas por el tiempo exacto de 5 días, pasado de los 5 días, retirar los recipientes de almacenamiento de la estufa o cámara controlada.

Homogeneizar nuevamente las muestras utilizando un agitador magnético o mecánico para asegurar una distribución uniforme de los componentes.

Observar cualquier cambio en la apariencia, color, separación de fases u otras características físicas de las muestras, filtrar las muestras utilizando papel de filtro y pesar los residuos sólidos.

Pesar nuevamente las muestras y registrar el peso final (W_1) para evaluar cualquier cambio en la masa.

Calcular cualquier cambio en la masa de la muestra utilizando la diferencia entre el peso inicial y final:

$$\Delta W = W_1 - W_0$$

W_0 = es el peso inicial de la muestra

W1 = es el peso final de la muestra después de 5 días de almacenamiento

Analizar los resultados y comparar con los criterios de aceptación especificados en la norma NTE INEN 910 para determinar si la muestra cumple con los requisitos de estabilidad de asentamiento

3.2.6. Residuos por destilación NTE INEN 901

La presencia de residuos en productos químicos y petroquímicos puede afectar su calidad y desempeño en diversas aplicaciones industriales y comerciales. La normativa NTE INEN 901 establece procedimientos para determinar la cantidad de residuos que quedan después de la destilación de un producto, lo que proporciona información importante sobre su pureza y composición.

- **Equipos y materiales**

Aparato de destilación: Conformado por un matraz de destilación, un condensador, una trampa de residuos y un sistema de calefacción ajustable.

Termómetro: Capaz de medir la temperatura en el rango requerido por la prueba con una precisión adecuada.

Balanza analítica: Capaz de medir con precisión hasta 0.1 mg.

Recipientes de recolección: De vidrio o material resistente a los productos químicos destilados.

Agua destilada: Para limpieza y enjuague del equipo.

Disolvente adecuado: Para limpiar el aparato de destilación después de cada uso.

Guantes y gafas de seguridad: Para proteger al operador durante la manipulación de las muestras y los equipos.

- **Procedimiento**

Lavar el matraz de destilación, el condensador y otros componentes con agua destilada y un disolvente adecuado para asegurar que estén libres de contaminantes.

Ensamblar el aparato de destilación de acuerdo con las especificaciones del fabricante, asegurando que todas las conexiones estén bien ajustadas y no haya fugas.

Homogeneizar bien la muestra para asegurar una distribución uniforme de los componentes antes del inicio del ensayo.

Pesar una cantidad conocida de la muestra utilizando la balanza analítica y registrar este peso inicial (W0).

Transferir la muestra al matraz de destilación. Asegurarse de que el matraz no esté lleno más allá de su capacidad máxima para evitar salpicaduras.

Iniciar el calentamiento del matraz de destilación gradualmente hasta alcanzar la temperatura de destilación especificada en la norma.

A medida que la muestra se destila, recolectar el destilado en un recipiente adecuado a través del condensador, continuar el proceso de destilación hasta que no se obtenga más destilado, asegurando que todo el líquido volátil haya sido destilado.

Permitir que el matraz de destilación y los residuos restantes se enfríen a temperatura ambiente.

Pesar el matraz de destilación con los residuos no volátiles restantes y registrar este peso final (W1).

Calcular la cantidad de residuos por destilación utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Residuos por destilacion (\%)} = \left(\frac{W1 - W0}{W0} \right) * 100$$

Donde:

W0 es el peso inicial de la muestra.

W1 es el peso del matraz de destilación con los residuos no volátiles.

Comparar los resultados obtenidos con los criterios de aceptación especificados en la norma NTE INEN 901 para determinar si la muestra cumple con los requisitos de residuos por destilación.

3.2.7. Carga de Partícula NTE INEN 908

La carga de partícula es un aspecto crucial en la caracterización de materiales granulares, ya que influye directamente en su estabilidad y comportamiento bajo cargas externas. La normativa NTE INEN 908 establece procedimientos para determinar la carga de partícula de un material, lo que proporciona información valiosa para su diseño y uso en proyectos de ingeniería civil y geotécnica.

- **Equipos:**

Balanza analítica: Capaz de medir con precisión hasta 0.1 mg.

Microscopio o lupa de alta resolución: Para la observación y conteo de partículas.

Aparato de filtración: Incluye embudo de filtración, papel de filtro adecuado y sistema de vacío.

Pipeta y dispensador automático: Para la medida exacta de volúmenes. Desecador: Para secar y enfriar las muestras.

Recipientes de vidrio o plástico: Que no reaccionen con las muestras.

Papel de filtro: De porosidad adecuada para retener las partículas de interés.

Agua destilada: Para la preparación y enjuague de las muestras.

Soluciones buffer o de referencia: Según especificaciones de la norma para ajustar el pH o concentración.

Muestras: De los materiales a ensayar.

Guantes de laboratorio

Gafas de seguridad

- **Procedimiento**

Lavar todos los recipientes y el aparato de filtración con agua destilada y secarlos completamente.

Pesar el papel de filtro limpio y seco en la balanza analítica y registrar el peso inicial (P0).

Homogeneizar bien la muestra utilizando métodos adecuados para asegurar una distribución uniforme de las partículas antes del inicio del ensayo.

Usar una pipeta o dispensador automático para medir un volumen exacto de la muestra.

Colocar el papel de filtro en el aparato de filtración y pasar la muestra a través del filtro usando un sistema de vacío si es necesario. Asegurarse de que toda la muestra haya pasado a través del papel de filtro.

Enjuagar el papel de filtro con agua destilada para asegurarse de que todas las partículas se retengan en el filtro. Permitir que el papel de filtro se seque completamente en un desecador.

Utilizar el microscopio o lupa de alta resolución para observar y contar las partículas retenidas en el papel de filtro.

Pesar el papel de filtro con las partículas retenidas en la balanza analítica y registrar el peso final (P1).

Calcular la carga de partículas utilizando la diferencia entre el peso inicial y final del papel de filtro:

$$\text{Carga de Partículas } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \left(\frac{P1-P0}{V} \right) * 100$$

Donde:

P0 es el peso inicial del papel de filtro (mg).

P1 es el peso del papel de filtro con las partículas retenidas (mg).

V es el volumen de la muestra filtrada (mL).

3.2.8. Penetración, a 25 °C, 100g, 5s NTE INEN 917

La prueba de penetración es esencial en la evaluación de la consistencia de diversos materiales, especialmente aquellos con aplicaciones en la industria de lubricantes, asfaltos y productos similares. La normativa NTE INEN 917 establece un método estandarizado para realizar esta prueba y obtener resultados precisos y reproducibles.

- **Equipos y materiales**

Penetrómetro: Un dispositivo con un mecanismo de liberación y un conjunto de pesas que permiten la penetración de una aguja en el asfalto.

Aguja de penetración: Una aguja de acero inoxidable, con un diámetro de 1.0 mm y longitud de 50 mm.

Cronómetro: Para medir con precisión el tiempo de penetración (5 segundos).

Baño termostático: Para mantener las muestras a una temperatura constante de $25^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$.

Recipientes para muestras: Generalmente de latón o de acero inoxidable, con dimensiones especificadas en la norma.

Termómetro: Para verificar la temperatura de las muestras y del baño termostático.

Pesa de 100 g: Utilizada junto con la aguja de penetración.

Dispositivo de transferencia de muestra: Para llevar la muestra desde el baño termostático al penetrómetro sin alterar la temperatura.

- **Procedimiento**

Calienta la muestra de asfalto hasta que esté completamente fluida y sin burbujas. Vierte la muestra en el recipiente, llenándolo hasta una profundidad de al menos 10 mm más que la profundidad de penetración esperada.

Deja enfriar la muestra a temperatura ambiente durante al menos una hora.

Coloca la muestra en el baño termostático a 25°C y mantenla a esa temperatura durante al menos 1 hora.

Limpia la aguja de penetración y colócala en el soporte del penetrómetro y asegúrate de que el penetrómetro esté correctamente calibrado y nivelado, luego coloca la muestra, aún en su recipiente, en el soporte del penetrómetro.

Ajusta la aguja de manera que toque suavemente la superficie de la muestra sin aplicar presión adicional.

Coloca la pesa de 100 g en la aguja y libera el mecanismo para permitir la penetración durante exactamente 5 segundos.

Al final de los 5 segundos, bloquea el mecanismo y registra la profundidad de penetración en décimas de milímetro.

Realiza al menos tres mediciones en diferentes puntos de la muestra, asegurando que cada punto esté al menos a 10 mm de distancia de los otros y del borde del recipiente.

Calcula la media de las tres mediciones para obtener el valor de penetración final.

3.2.9. Punto de Ablandamiento ASTM D-36

La determinación del punto de ablandamiento según ASTM D-36 ofrece información valiosa sobre las propiedades térmicas y mecánicas de los materiales asfálticos. Los resultados de este ensayo son fundamentales para la selección y especificación de materiales en proyectos de construcción de carreteras y pavimentación.

- **Equipos y materiales**

Aparato de punto de ablandamiento: Consiste en un baño con soporte para los anillos y un termómetro, junto con un sistema para controlar la tasa de calentamiento del baño.

Anillos de acero: Dos anillos de acero con dimensiones especificadas (interior: 15.9 mm de diámetro, 6.4 mm de altura).

Bolas de acero inoxidable: Dos bolas de acero inoxidable con un diámetro de 9.5 mm y un peso de 3.5 g.

Termómetro: Preciso y calibrado para medir temperaturas en el rango adecuado, generalmente hasta 100°C o más.

Baño de calefacción: Un recipiente adecuado para contener agua o glicerina (dependiendo del rango de temperaturas a probar) y que permita un calentamiento controlado.

Placas de soporte y guías para bolas: Para mantener las bolas centradas sobre los anillos.

Moldes para anillos: Para preparar las muestras bituminosas en los anillos.

Fuente de calor: Un dispositivo para calentar el baño de manera controlada, como una placa calefactora o un baño de aceite.

- **Procedimiento**

Calienta el material bituminoso hasta que esté completamente fluido y sin burbujas.

Llena los anillos con el material bituminoso caliente, evitando que queden burbujas o vacíos.

Deja enfriar los anillos a temperatura ambiente y luego colócalos en un refrigerador a 5°C durante al menos 30 minutos.

Llena el baño con agua si se espera que el punto de ablandamiento esté por debajo de 80°C. Si el punto de ablandamiento es superior, usa glicerina.

Coloca el baño en la fuente de calor y monta el soporte para los anillos y el termómetro.

Saca los anillos del refrigerador y colócalos en el soporte del aparato de punto de ablandamiento.

Ajusta el baño de calefacción para que la temperatura aumente a una tasa de 5°C por minuto.

Inicia la medición de la temperatura cuando las bolas comiencen a moverse debido al ablandamiento del material bituminoso.

Observa y registra la temperatura a la cual cada bola cae una distancia de 25 mm desde su posición inicial.

Repite la prueba con una nueva muestra si los resultados de los dos anillos no coinciden dentro de una tolerancia aceptable.

3.2.10. Ductilidad, a 25 °C, 5 cm/min

La ductilidad de los materiales bituminosos es una propiedad importante para evaluar su capacidad de resistir deformaciones bajo cargas y condiciones ambientales variables. El ensayo de ductilidad proporciona información valiosa sobre la capacidad de estiramiento del material antes de que ocurra la rotura. Este procedimiento se lleva a cabo según las normativas y estándares aplicables.

- **Equipos y materiales**

Aparato de ductilidad: Consiste en una máquina que estira la muestra de asfalto a una velocidad constante de 5 cm/min y mide la distancia hasta la rotura.

Molde para ductilidad: Generalmente un molde de bronce o acero inoxidable con dimensiones específicas (forma de briqueta).

Baño termostático: Mantiene el agua a una temperatura constante de $25^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$.

Termómetro: Para verificar la temperatura del baño.

Dispositivo de medición: Para medir la longitud de la muestra estirada hasta la rotura.

Material de limpieza: Disolventes adecuados y paños para limpiar el molde y el aparato.

Espátula o cuchillo caliente: Para cortar el material bituminoso al nivel del molde.

Pinzas: Para manipular las muestras sin contaminarlas.

- **Procedimiento**

Calienta el material bituminoso hasta que esté completamente fluido y sin burbujas.

Llena el molde para ductilidad con el material caliente, asegurándote de evitar la formación de burbujas o vacíos.

Deja enfriar la muestra a temperatura ambiente durante al menos 30 minutos.

Coloca el molde en un baño a 25°C y deja que la muestra permanezca en el baño durante 1 a 1.5 horas para asegurar que alcance la temperatura del ensayo.

Saca el molde del baño y separa cuidadosamente los extremos del molde para liberar la muestra sin deformarla.

Coloca la muestra en el aparato de ductilidad, asegurándote de que esté centrada y bien sujeta en ambos extremos.

Inicia el aparato de ductilidad, que comenzará a estirar la muestra a una velocidad constante de 5 cm/min.

Observa y registra la longitud a la cual la muestra se rompe. Esta longitud es la medida de la ductilidad del material.

Repite el procedimiento con al menos dos muestras adicionales para asegurar la reproducibilidad de los resultados.

Calcula la media de las longitudes de las muestras para obtener el valor final de ductilidad.

3.2.11. Recuperación Elástica Torsional 4-05-024/02 SCT

La recuperación elástica torsional es un parámetro importante para evaluar la capacidad de un material asfáltico para recuperar su forma original después de aplicarle una torsión. Este ensayo proporciona información valiosa sobre la resistencia del material a la deformación permanente y su capacidad para soportar cargas repetidas.

- **Equipos y materiales**

Aparato de recuperación elástica torsional: Consiste en un dispositivo que aplica una torsión controlada a la muestra bituminosa.

Molde para muestras: Molde metálico o de acero inoxidable con dimensiones especificadas para preparar las muestras de bitumen.

Termómetro: Para medir y asegurar la temperatura correcta del baño y de las muestras.

Baño termostático: Para mantener las muestras a una temperatura constante de 25°C.

Cronómetro: Para medir el tiempo de torsión y recuperación.

Dispositivo de medición de torsión: Para aplicar y medir la torsión aplicada a la muestra.

Espátula o cuchillo caliente: Para nivelar la superficie del bitumen en el molde.

Pinzas: Para manipular las muestras.

- **Procedimiento**

Calienta el material bituminoso hasta que esté completamente fluido y sin burbujas.

Llena el molde con el material caliente, asegurándote de evitar la formación de burbujas o vacíos.

Deja enfriar la muestra a temperatura ambiente durante al menos 30 minutos.

Coloca el molde con la muestra en un baño a 25°C y deja que la muestra permanezca en el baño durante 1 hora para asegurar que alcance la temperatura de ensayo.

Saca la muestra del molde cuidadosamente para no deformarla.

Coloca la muestra en el aparato de recuperación elástica torsional.

Aplica una torsión específica a la muestra usando el dispositivo de medición de torsión. La magnitud de la torsión debe ser conforme a las especificaciones de la norma.

Mantén la torsión durante un tiempo específico (por ejemplo, 10 segundos), asegurando una aplicación uniforme.

Una vez retirada la torsión, mide inmediatamente la deformación residual de la muestra.

Deja la muestra en reposo durante un tiempo específico (por ejemplo, 30 minutos) a la misma temperatura controlada.

Mide la recuperación de la muestra después del periodo de reposo para determinar el grado de recuperación elástica.

Calcula la recuperación elástica usando la fórmula especificada en la norma, que generalmente es una relación entre la deformación inicial y la deformación residual después del periodo de reposo.

3.2.12. Recuperación Elástica por Ductilómetro 4-05-026/02 SCT

La recuperación elástica por ductilómetro es un parámetro importante para evaluar la capacidad de un material asfáltico para recuperar su forma original después de sufrir deformación bajo condiciones de carga y temperatura. Este ensayo proporciona información valiosa sobre la resistencia del material a la deformación permanente.

- **Equipos y materiales**
- Ductilómetro: Un dispositivo que estira la muestra de bitumen a una velocidad constante y mide la distancia hasta la rotura.
- Molde para ductilidad: Molde de bronce o acero inoxidable con dimensiones específicas (forma de briqueta).
- Baño termostático: Para mantener el agua a una temperatura constante de $25^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$.

- Termómetro: Para verificar la temperatura del baño.
- Cronómetro: Para medir el tiempo de estiramiento y recuperación.
- Dispositivo de medición: Para medir la longitud de la muestra estirada hasta la rotura y durante la recuperación.
- Material de limpieza: Disolventes adecuados y paños para limpiar el molde y el aparato.
- Espátula o cuchillo caliente: Para cortar el material bituminoso al nivel del molde.
- Pinzas: Para manipular las muestras sin contaminarlas.
- **Procedimiento**

Calienta el material bituminoso hasta que esté completamente fluido y sin burbujas.

Llena el molde para ductilidad con el material caliente, asegurándote de evitar la formación de burbujas o vacíos.

Deja enfriar la muestra a temperatura ambiente durante al menos 30 minutos.

Coloca el molde en un baño a 25°C y deja que la muestra permanezca en el baño durante 1 a 1.5 horas para asegurar que alcance la temperatura del ensayo.

Saca el molde del baño y separa cuidadosamente los extremos del molde para liberar la muestra sin deformarla.

Coloca la muestra en el ductilómetro, asegurándote de que esté centrada y bien sujeta en ambos extremos.

Inicia el ductilómetro para estirar la muestra a una velocidad constante de 5 cm/min.

Estira la muestra hasta una longitud de 20 cm (u otra longitud especificada en la norma).

Una vez alcanzada la longitud especificada, corta la muestra por la mitad con una cuchilla caliente.

Deja que las dos mitades de la muestra se mantengan en el baño a 25°C durante 1 hora.

Después del periodo de reposo, junta las dos mitades y mide la distancia recuperada.

Calcula el porcentaje de recuperación elástica utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Recuperacion Elastica (\%)} = \left(\frac{L - L_r}{L} \right) * 100$$

donde L es la longitud de estiramiento inicial y L_r es la longitud recuperada.

3.2.13. Solubilidad en Tricloroetileno NTE INEN 915

La solubilidad en tricloroetileno es un parámetro relevante para evaluar la pureza y la composición de diversos productos químicos y materiales, especialmente en la industria de los polímeros y los asfaltos. La normativa NTE INEN 915 establece un método estandarizado para determinar este parámetro.

- **Equipos y materiales**

Balanza analítica: Con precisión de al menos 0.001 g.

Recipientes de vidrio: Erlenmeyer de 250 ml con tapa esmerilada.

Disolvente: Tricloroetileno de alta pureza.

Papel filtro: Filtro cualitativo de 9 cm de diámetro.

Embudo de filtración: Compatible con el papel filtro utilizado.

Sistema de succión: Para la filtración al vacío (bomba de vacío y matraz de succión).

Estufa: Capaz de mantener una temperatura constante de 110°C ± 5°C.

Desecador: Para enfriar las muestras y los filtros después del secado.

Pinzas: Para manipular los filtros y otros materiales.

Guantes y gafas de seguridad: Para protección personal al manejar el tricloroetileno.

- **Procedimiento**

Pesa aproximadamente 2 g de la muestra de material bituminoso con la balanza analítica y registra la masa exacta.

Coloca la muestra en un erlenmeyer de 250 ml.

Añade 100 ml de tricloroetileno al erlenmeyer que contiene la muestra.

Cierra el erlenmeyer con la tapa esmerilada y agita suavemente hasta que el material bituminoso se disuelva completamente en el disolvente.

Prepara el embudo de filtración con el papel filtro y conéctalo al sistema de succión.

Filtra la solución bituminosa a través del papel filtro utilizando succión. Asegúrate de transferir toda la solución, enjuagando el erlenmeyer con pequeñas cantidades adicionales de tricloroetileno si es necesario.

Una vez que toda la solución haya pasado por el filtro, enjuaga el filtro y el embudo con tricloroetileno para asegurar que todos los materiales solubles hayan sido lavados a través del filtro.

Retira el papel filtro del embudo con pinzas y colócalo en una estufa a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ para secar durante aproximadamente 30 minutos.

Después del secado, coloca el papel filtro en un desecador hasta que alcance la temperatura ambiente.

Pesa el papel filtro seco con la balanza analítica y registra la masa exacta.

Calcula la masa del residuo insoluble restando la masa del filtro limpio y seco (medida antes del experimento) de la masa total del filtro y el residuo.

Calcula el porcentaje de solubilidad del material bituminoso en tricloroetileno utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Solubilidad (\%)} = \left(\frac{\text{masa inicial de la muestra} - \text{masa del residuo insoluble}}{\text{masa inicial de la muestra}} \right)$$

3.2.14. Resultados generales de los Ensayos de Emulsiones Asfálticas y Ensayos en el Residuos Asfáltico

Tabla 20. Resultados generales de emulsiones asfálticas y de residuos solidos

| REQUISITOS | | | | | RESULTADOS | |
|--|-----------------|---------|----------|--------|------------|----------|
| Ensayo | Norma de Ensayo | Unidad | Mínimo | Máximo | Valor | Aceptado |
| Residuos por Evaporación | NTE INEN 905 | % V | 62 | - | 63.1 | SI |
| Viscosidad Saybolt Furol, (25 °C) | NTE INEN 1981 | SSF | 20 | 100 | 33 | SI |
| Ensayo del Tamiz #20 | NTE INEN 906 | % | - | 0.1 | 0.002 | SI |
| Estabilidad Almacenamiento (24h) | NTE INEN 909 | % | - | 1 | 0.79 | SI |
| Estabilidad Asentamiento (5 días) | NTE INEN 910 | % | - | 5 | 1.98 | SI |
| Residuos por destilación | NTE INEN 901 | % | 62 | - | 63.1 | SI |
| Carga de Partícula | NTE INEN 908 | | Positivo | | | SI |
| Penetración, a 25 °C, 100g, 5s | NTE INEN 917 | 1/10 mm | 40 | 90 | 43.7 | SI |
| Punto de Ablandamiento | ASTM D-36 | °C | 57 | - | 57.2 | SI |
| Ductilidad, a 25 °C, 5 cm/min | NTE INEN 916 | Cm | 40 | - | 68 | SI |
| Recuperación Elástica Torsional | 4-05-024/02 SCT | % | 12 | - | 23 | SI |
| Recuperación Elástica por Ductilómetro | 4-05-026/02 SCT | % | 30 | - | 45 | SI |
| Solubilidad en Tricloroetileno | NTE INEN 915 | % | 97.5 | - | 98.3 | SI |

Fuente: Autoría Propia

Como vemos en esta tabla de resumen cumple con todos los ensayos emulsiones asfálticas.

3.3. Ensayo de morteros asfálticos

El diseño de morteros asfálticos es un proceso detallado y sistemático que implica la evaluación del pavimento existente, la selección y mezcla de materiales adecuados, la preparación de la superficie y la correcta aplicación y mantenimiento del mortero asfálticos. Esta técnica es una solución efectiva para mejorar la calidad de las carreteras y extender su vida útil, proporcionando una superficie de rodadura segura y cómoda para los usuarios.

3.3.1. Especificaciones según la Norma ASTM

Las especificaciones de los micro pavimentos según la normativa ASTM (American Society for Testing and Materials) aseguran que los materiales y procedimientos utilizados cumplen con los estándares de calidad requeridos. Estas especificaciones aseguran que los micro pavimentos cumplan con los estándares de calidad y rendimiento necesarios para proporcionar una superficie de rodadura duradera y segura.

3.3.2. Determinación del porcentaje teórico de emulsión (MÉTODO ISSA TB-118)

- **Descripción**

El Método ISSA TB-118 es una metodología estandarizada utilizada para determinar el porcentaje teórico de emulsión en una mezcla de micropavimento. Esta prueba es esencial para asegurar que la cantidad de emulsión utilizada en la mezcla sea adecuada para lograr una buena adhesión y cohesión de los agregados, así como para proporcionar las propiedades mecánicas necesarias para la durabilidad del pavimento.

- **Equipos y Materiales**

Emulsión asfáltica: De acuerdo a las especificaciones del proyecto.

Agregados: Seleccionados y preparados según las especificaciones del proyecto.

Recipientes de mezcla: Adecuados para la cantidad de muestra.

Balanza: Precisión de al menos 0.1 gramos.

Dispositivo de mezclado: Capaz de homogeneizar la mezcla de manera eficiente.

Equipo de ensayo de estabilidad: Para pruebas de estabilidad y cohesión.

Estufa: Capaz de mantener temperaturas específicas para el secado de muestras.

- **Procedimiento**

Agregados: Secar y tamizar los agregados para obtener la fracción granulométrica requerida.

Emulsión: Preparar la emulsión asfáltica según las especificaciones del proyecto.

Agregados y Emulsión: Comenzar con una proporción inicial de agregados y emulsión basada en experiencia previa o especificaciones del proyecto.

Aditivos: Si se utilizan, añadir en las proporciones especificadas.

Proceso de Mezclado: Mezclar los agregados con la emulsión y los aditivos en el recipiente de mezcla utilizando el dispositivo de mezclado. Asegurarse de que la mezcla sea homogénea.

Tiempo de Mezclado: Generalmente de 1 a 2 minutos, asegurando una distribución uniforme de la emulsión sobre los agregados.

Formación de Briquetas: Formar briquetas con la mezcla utilizando moldes específicos.

Curado de Briquetas: Curar las briquetas en condiciones controladas (generalmente a temperatura ambiente y humedad relativa estándar) durante un período especificado (normalmente 24 horas).

Ensayo de Estabilidad: Someter las briquetas a pruebas de estabilidad y cohesión utilizando el equipo de ensayo de estabilidad.

Evaluación de Resultados: Basado en los resultados de las pruebas de estabilidad y cohesión, ajustar las proporciones de emulsión y agregados.

Repetición del Ensayo: Repetir el proceso de mezclado y ensayo hasta obtener una mezcla que cumpla con los criterios de estabilidad y cohesión especificados.

Cálculo: El porcentaje teórico de emulsión se calcula como la cantidad de emulsión utilizada en la mezcla que proporcionó los mejores resultados de estabilidad y cohesión. Este porcentaje se expresa en peso de emulsión respecto al peso total de la mezcla de agregados y emulsión

$$\%L = (S.T.A * t * (0,02047) * (ASG)) + KA$$

Donde:

%L: Contenido de asfalto residual sobre el peso del agregado

S.T.A: Superficie teórica del agregado

t: Espesor de la película del mortero asfáltico

0,02047: Coeficiente de conversión de unidades

ASG: Peso específico del asfalto

%E: Porcentaje teórico de emulsión a aplicar en el mortero asfáltico

A.R: Porcentaje de asfalto residual de la emulsión a utilizar

- **Resultados**

Tabla 21. Porcentaje teórico de emulsión método ISSA TB-118

| PORCENTAJE TEÓRICO DE EMULSIÓN MÉTODO ISSA TB-118 | |
|--|----------------------------|
| Espesor de la Película de Asfalto en el Agregado (t) | 4.3 micrones |
| Gravedad Específica del Asfalto (ASG) | 1.003 gr/cm ³ |
| Porcentaje de asfalto residual de la Emulsión (AR) | 62.00 % |
| Absorción de Kerosene en el agregado (KA) | 5.20 % |
| Coeficiente de Conversión de Unidades | 0.02047 |
| $\%L = (S.T.A. * t * (0,02047) * (ASG)) + KA$ | 9.34 % |
| Porcentaje. Emulsión = (%L*100) / % AR | 15.06 % de emulsión |

Fuente: Autoría Propia

El ensayo realizado utilizando el método ISSA TB-118 permitió determinar con precisión el porcentaje teórico de emulsión requerido para el mortero polimérico asfáltico. El valor obtenido del 15.06% asegura que la mezcla cumple con las especificaciones y requisitos técnicos del proyecto, garantizando las propiedades deseadas en términos de durabilidad, adherencia y trabajabilidad.

Se recomienda seguir realizando ensayos periódicos para asegurar la consistencia y calidad de la mezcla a lo largo del proyecto. Además, es crucial ajustar las proporciones de los componentes según sea necesario para mantener las propiedades óptimas del mortero polimérico asfáltico.

3.3.3. Ensayo de tiempo de mezcla ISSA TB-113

- **Descripción**

Es un procedimiento estándar utilizado para determinar el tiempo de mezcla de los microaglomerados y lechadas asfálticas, cruciales en la pavimentación y el mantenimiento de carreteras. Este ensayo es fundamental para asegurar que la mezcla de estos materiales tiene la consistencia y homogeneidad adecuadas antes de su aplicación.

El ensayo evalúa el tiempo necesario para que una lechada asfáltica o microaglomerado alcance una consistencia óptima de mezcla, asegurando que todos los componentes estén adecuadamente distribuidos y que la mezcla sea homogénea.

- **Equipos y Materiales**

Equipos:

Batidora de laboratorio: Para mezclar los materiales.

Cronómetro: Para medir el tiempo de mezclado.

Balanza de precisión: Para pesar los materiales con exactitud.

Espátula o cuchara de mezcla: Para ayudar en la mezcla manual, si es necesario.

Vasos de precipitados: Para contener los materiales durante el proceso de mezcla.

Termómetro: Para medir la temperatura de los materiales y del ambiente.

Papel de filtro: Para filtrar las muestras, si es necesario.

Probeta graduada: Para medir los líquidos.

Agitador magnético: Opcional, para asegurar una mezcla homogénea.

Emulsión bituminosa: El material principal a ser evaluado.

Agregados: Generalmente arena o piedra triturada.

Agua destilada: Para ajustar la consistencia de la mezcla, si es necesario.

Aditivos: Cualquier aditivo que se va a utilizar en la mezcla, como estabilizadores o agentes de curado.

Agentes desmoldantes: Si es necesario para retirar la mezcla de los recipientes.

- **Procedimiento**

Preparación de la muestra: Se prepara una muestra de lechada asfáltica o microaglomerado según la formulación específica del proyecto.

Mezclado inicial: La muestra se mezcla en un dispositivo de mezclado estandarizado durante un tiempo determinado (generalmente entre 30 segundos y 2 minutos) para simular las condiciones de mezclado en el campo.



***Ilustración 13.** Preparación para la mezcla de la muestra*

Fuente: Autoría Propia (Laboratorios Emuldec)

Después del mezclado inicial, se toma una pequeña cantidad de la mezcla y se evalúa visualmente y mediante tacto para determinar su consistencia.

Se mide el tiempo requerido para que la mezcla alcance una consistencia adecuada, donde todos los agregados estén completamente recubiertos por el ligante asfáltico y la mezcla sea homogénea.



Ilustración 14. Compactación de los agregados con el ligante asfáltico

Fuente: Autoría Propia (laboratorios Emuldec)

Si la mezcla no alcanza la consistencia adecuada, se continúa mezclando en incrementos de tiempo predeterminados (por ejemplo, 30 segundos adicionales) hasta que se logre la consistencia deseada.

Registro del tiempo: Se registra el tiempo total de mezclado requerido para alcanzar la consistencia adecuada. Este tiempo se utiliza como una referencia para el control de calidad durante la producción y la aplicación de la mezcla en el campo.

- **Resultados**

Tabla 22. Determinación de tiempo de mezcla

| AGREGADO (%) | CEMENTO (%) | ADITIVO (%) | TIPO DE EMULSIÓN | AGUA (%) | EMULSIÓN (%) | TIEMPO DE MEZCLA | | |
|--------------|-------------|-------------|------------------|----------|--------------|------------------|--------------|--|
| | | | | | | MEZCLA | ROTURA | OBSERVACIONES |
| 100.0 % | 0.0 % | 0.0 % | CQS-1H-P | 10.0 % | 12.6 % | 5 segundos | 5 segundos | No se puede realizar la mezcla, no existe cubrimiento del agregado |
| 100.0 % | 0.0 % | 0.0 % | CQS-1H-P | 11.0 % | 12.6 % | 7 segundos | 7 segundos | No se puede realizar la mezcla, no existe cubrimiento del agregado |
| 100.0 % | 0.0 % | 0.0 % | CQS-1H-P | 12.0 % | 12.6 % | 14 segundos | 37 segundos | La mezcla no es trabajable y no es homogénea |
| 100.0 % | 0.0 % | 0.0 % | CQS-1H-P | 13.0 % | 12.6 % | 51 segundos | 68 segundos | La mezcla no es homogénea, pero presenta mejor trabajabilidad. |
| 100.0 % | 0.0 % | 0.0 % | CQS-1H-P | 14.0 % | 12.6 % | 121 segundos | 161 segundos | La mezcla es trabajable, pero le falta fluidez |
| 100.0 % | 0.5 % | 0.0 % | CQS-1H-P | 14.0 % | 12.6 % | 174 segundos | 185 segundos | La mezcla es homogénea y uniforme. El tiempo de mezcla es mayor a los 180 segundos |
| 100.0 % | 1.0 % | 0.0 % | CQS-1H-P | 14.0 % | 12.6 % | 191 segundos | 226 segundos | La mezcla es homogénea y uniforme. El tiempo de mezcla es mayor a los 180 segundos |

Fuente: Autoría Propia



Ilustración 15. Consistencia total del tiempo en mezclado

Fuente: Autoría Propia (laboratorios Emuldec)

Este resultado sugiere que la mezcla ha alcanzado un nivel adecuado de homogeneidad y uniformidad, cumpliendo con los requisitos de tiempo establecidos para asegurar una mezcla eficiente y bien integrada.

3.3.4. DESPRENDIMIENTO POR HUMEDAD ISSA TB-114

- **Descripción**

El ensayo de desprendimiento por humedad ISSA TB-114 se utiliza para evaluar la resistencia de una emulsión bituminosa frente a la acción del agua. Este ensayo determina la cantidad de material que se desprende de la superficie tratada cuando se expone a la humedad, lo cual es crucial para entender la durabilidad y desempeño de la emulsión en condiciones ambientales húmedas.

- **Equipos y Materiales**

Recipientes de inmersión: Para contener el agua y las muestras durante el ensayo.

Balanza de precisión: Para pesar las muestras antes y después del ensayo.

Cronómetro: Para medir el tiempo de exposición al agua.

Cepillo de cerdas suaves: Para eliminar suavemente el material suelto después del ensayo.

Agua destilada: Para asegurar que las pruebas sean consistentes y no se vean afectadas por impurezas en el agua.

Hornillo o estufa: Para secar las muestras después de la inmersión.

Papel de filtro: Para filtrar el agua si es necesario.

- **Procedimiento**

Preparación de la muestra: Las muestras de emulsión bituminosa y agregados se preparan y se dejan curar.

Inmersión en agua: Las muestras curadas se sumergen en agua destilada a una temperatura específica durante un tiempo determinado.

Secado: Después del tiempo de inmersión, las muestras se retiran del agua y se secan cuidadosamente.

Evaluación del desprendimiento: Se cepillan suavemente las muestras para remover el material suelto y se pesan para determinar la cantidad de material desprendido.

- **Resultados**

Tabla 23. Porcentaje de nivel de agua

| FÓRMULA DE TRABAJO | |
|--------------------|------------|
| Datos | Porcentaje |
| Agregado | 100.0 % |
| Cemento | 1.0 % |
| Agua | 14.0 % |
| Aditivo | 0.0 % |
| Emulsión | 12.6 % |

Fuente: Autoría Propia

Tabla 24. Cantidad de recubrimiento

| DESPRENDIMIENTO EN HÚMEDO | | SI CUMPLE |
|-----------------------------|---|-----------|
| Recubrimiento Menor al 75% | | |
| Recubrimiento entre 75%-90% | | |
| Recubrimiento Mayor al 90% | ✓ | |

Fuente: Autoría Propia

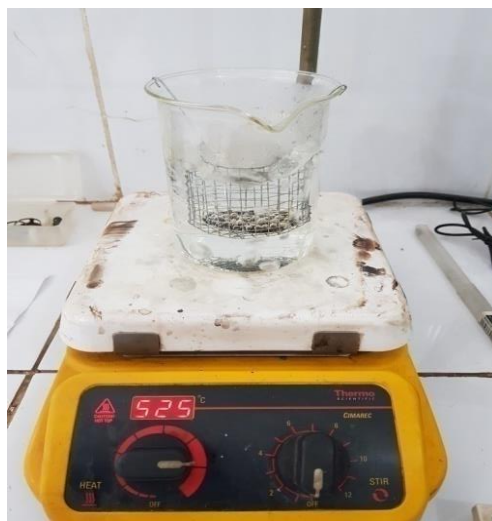


Ilustración 16. Cantidad optima de agua para la muestra

Fuente: Autoría propia (laboratorios Emuldec)

La emulsión bituminosa muestra una excelente resistencia a la acción del agua, manteniendo un recubrimiento mayor al 90%. Esta alta resistencia indica que la emulsión es muy duradera y estable bajo condiciones húmedas, lo que es un signo positivo para su desempeño a largo plazo en aplicaciones prácticas.

Estos resultados sugieren que la emulsión bituminosa es de alta calidad y está formulada adecuadamente para resistir las condiciones ambientales adversas, asegurando una larga vida útil y una buena protección de la superficie tratada. Por lo tanto, se recomienda el uso de esta emulsión en proyectos donde la exposición a la humedad sea un factor crítico.

3.3.5. ENSAYO DE CONSISTENCIA ISSA TB-106

- **Descripción**

El ensayo de consistencia ISSA TB-106 se utiliza para evaluar la fluidez de una mezcla de emulsión bituminosa y agregados. Este ensayo mide la consistencia de la mezcla para asegurar que sea adecuada para su aplicación en superficies pavimentadas.

- **Equipos y Materiales**

Tabla de consistencia: Una superficie plana y nivelada.

Molde de anillo: Para contener la mezcla durante el ensayo.

Paleta de mezcla: Para mezclar y aplicar la muestra.

Cronómetro: Para medir el tiempo de mezcla y asentamiento.

Balanza de precisión: Para pesar los materiales con exactitud.

Termómetro: Para medir la temperatura de los materiales y del ambiente.

Espátula: Para nivelar la superficie de la mezcla en el molde.

- **Procedimiento**

Preparación de la muestra: Pesar y medir todos los materiales necesarios de acuerdo con las proporciones especificadas.

Mezcla: Colocar los materiales en un recipiente y mezclarlos hasta obtener una consistencia homogénea.

Colocación en el molde: Verter la mezcla en el molde de anillo sobre la tabla de consistencia.

Asentamiento: Permitir que la mezcla se asiente y fluya durante un tiempo específico.

Medición: Medir el diámetro final de la mezcla asentada para determinar la consistencia.

- **Resultados**

Tabla 25. Cantidad optima de agua nivel de consistencia para la muestra

| FÓRMULA DE TRABAJO | |
|--------------------|------------|
| Datos | Porcentaje |
| Agregado | 100.0 % |
| Cemento | 1.0 % |
| Agua | 10.0 % |
| Aditivo | 0.0 % |
| Emulsión | 12.6 % |

| CONSISTENCIA (cm) | |
|-------------------|--------|
| Superior | 0.1 cm |
| Inferior | 0.2 cm |
| Derecha | 0.2 cm |
| Izquierda | 0.4 cm |
| Promedio: | 0.2 cm |

Fuente: Autoría propia (laboratorios Emuldec)



Ilustración 17. Nivel de consistencia de la muestra

Fuente: Autoría propia (laboratorios Emuldec)

Aunque hay una ligera variación en la dirección izquierda con un valor de 0.4 cm, la consistencia general de la mezcla es satisfactoria. Esto sugiere que la mezcla tiene una buena trabajabilidad y es capaz de proporcionar una cobertura uniforme y de alta calidad en aplicaciones prácticas.

Tabla 26. Cantidad optima de agua y nivel de consistencia para la muestra

| FÓRMULA DE TRABAJO | | CONSISTENCIA (cm) | |
|--------------------|-------------------|-------------------|--------|
| Datos | Porcentaje | Superior | 1.3 cm |
| Agregado | 100.0 % | Inferior | 1.1 cm |
| Cemento | 1.0 % | Derecha | 1.4 cm |
| Agua | 12.0 % | Izquierda | 1.5 cm |
| Aditivo | 0.0 % | Promedio: | 1.3 cm |
| Emulsión | 12.6 % | | |

Fuente: Autoría propia (laboratorios Emuldec)



Ilustración 18. Nivel de consistencia de la muestra

Fuente: Autoría propia (laboratorios Emuldec)

Presenta una buena consistencia con una variación promedio de 1.3 cm. Este nivel de consistencia indica una mezcla homogénea y una fluidez adecuada, lo que es crucial para su aplicación en superficies pavimentadas.

La uniformidad de los valores de consistencia en todas las direcciones sugiere que la mezcla es estable y que los componentes están bien distribuidos. Esto garantiza una fácil aplicación y nivelación del mortero, proporcionando una cobertura uniforme y de alta calidad

Tabla 27. Cantidad optima de agua y nivel de consistencia para la muestra

| FÓRMULA DE TRABAJO | | CONSISTENCIA (cm) | |
|--------------------|-------------------|-------------------|--------|
| Datos | Porcentaje | Superior | 2.5 cm |
| Agregado | 100.0 % | Inferior | 2.9 cm |
| Cemento | 1.0 % | Derecha | 2.6 cm |
| Agua | 14.0 % | Izquierda | 3.0 cm |
| Aditivo | 0.0 % | Promedio: | 2.8 cm |
| Emulsión | 12.6 % | | |

Fuente: Autoría propia (laboratorios Emuldec)



Ilustración 19. Nivel de consistencia de la muestra

Fuente: Autoría propia (laboratorios Emuldec)

La relativa uniformidad de los valores de consistencia en todas las direcciones indica una buena integración de los componentes, aunque una ligera variación sugiere que podría ser útil revisar el proceso de mezcla para asegurar una mayor homogeneidad. Es importante controlar la aplicación de la mezcla en campo para prevenir posibles problemas de segregación debido a la alta fluidez.

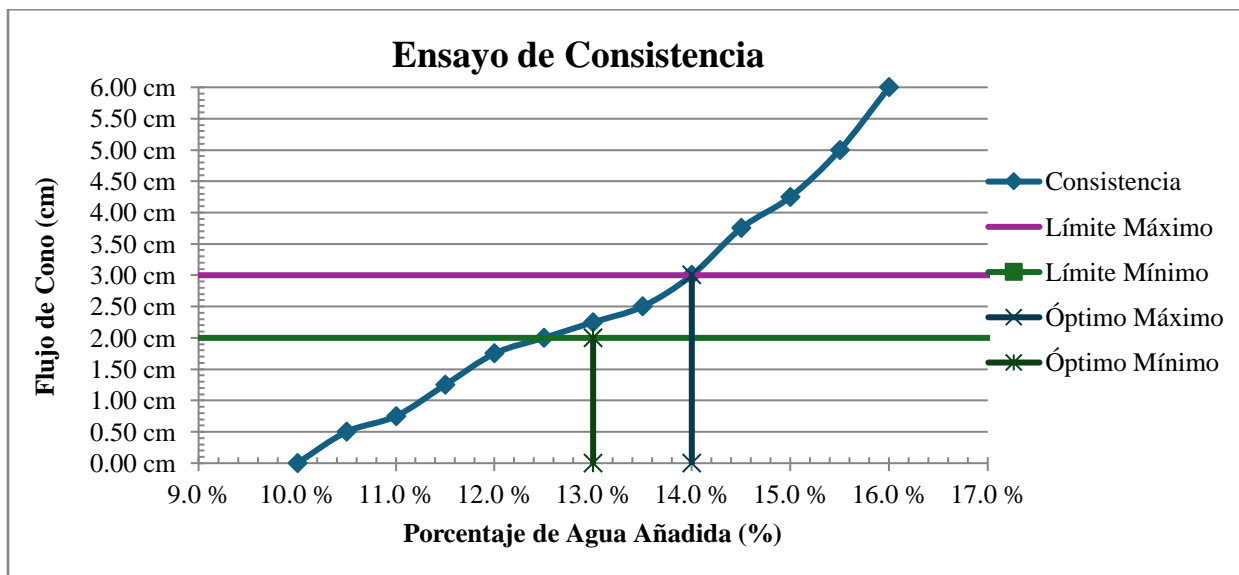


Figura 8. Ensayo de consistencia

Fuente: Autoría Propia

En el análisis de los datos obtenidos, la gráfica muestra que el porcentaje óptimo de agua es del 14%. Este valor se determinó tras realizar varios ensayos, lo que confirma que una proporción de agua del 14% maximiza el rendimiento de la mezcla en las condiciones evaluadas.

3.3.6. ENSAYO DE COMPATIBILIDAD ISSA TB-115

- **Descripción**

El ensayo de compatibilidad ISSA TB-115 se utiliza para evaluar la interacción entre una emulsión bituminosa y los agregados en una mezcla asfáltica. Este ensayo es crucial para garantizar que los componentes de la mezcla sean compatibles y que la emulsión se adhiera correctamente a los agregados, asegurando así la durabilidad y el desempeño del pavimento.

- **Equipos y Materiales**

Balanza de precisión: Para pesar los materiales con exactitud.

Mezclador: Para combinar la emulsión con los agregados.

Cernidor de laboratorio: Para separar los agregados en diferentes tamaños si es necesario.

Recipientes de inmersión: Para evaluar la estabilidad de la mezcla.

Termómetro: Para medir la temperatura de los materiales y del ambiente.

Cronómetro: Para medir el tiempo de mezclado y exposición.

Papel de filtro: Para eliminar el exceso de líquido de la mezcla si es necesario.

- **Procedimiento**

Pesar los agregados y la emulsión bituminosa según las proporciones especificadas en el estándar.

Mezclar los agregados con la emulsión bituminosa en el mezclador durante un tiempo determinado para asegurar una mezcla homogénea.

Tras el mezclado, transferir la mezcla a un recipiente de inmersión.

Evaluar la estabilidad de la mezcla observando la separación de los agregados y la emulsión.

Exponer la mezcla a condiciones específicas (como temperatura y humedad) durante un tiempo determinado para simular las condiciones en el campo.

- **Resultados**

Tabla 28. Porcentaje de agregados para la mezcla

| FÓRMULA DE TRABAJO | |
|---------------------------|-------------------|
| Datos | Porcentaje |
| Agregado | 100,0 % |
| Cemento | 1,0 % |
| Agua | 14,0 % |
| Aditivo | 0,0 % |
| Emulsión | 9,6 % |

Fuente: Autoría Propia

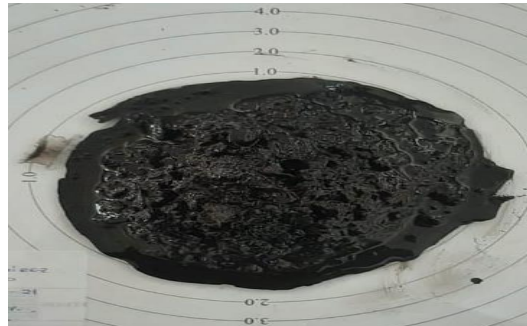


Ilustración 20. Nivel de consistencia de la muestra

Fuente: Autoría Propia

Tabla 29 Prueba de consistencia de la muestra

| | | |
|--|---|------|
| TIPO DE ENSAYO O PRUEBA | | PASA |
| CONSISTENCIA | | NO |
| Superficie Satisfactoria | | |
| Superficie No Satisfactoria | ✓ | |
| CONSISTENCIA DIVIDIDA | | NO |
| Muestra Uniforme | | |
| Muestra No Uniforme | ✓ | |
| COMPATIBILIDAD DE COPA DIVIDIDA | | |
| Diferencia del (%) Asfalto | | SI |
| Diferencia del (%) Reten. N°16 | | SI |
| DESPRENDIMIENTO EN HÚMEDO | | SI |
| Recubrimiento Menor al 75% | | |
| Recubrimiento entre 75%-90% | ✓ | |
| Recubrimiento Mayor al 90% | | |
| MEZCLA Y TRABAJABILIDAD | | NO |
| Mezcla mayor de 2 minutos | | |
| Mezcla menor de 2 minutos | ✓ | |

Fuente: Autoría Propia



Ilustración 21. Prueba de la muestra

Fuente: Autoría Propia



Ilustración 22. Porcentaje de agua para la muestra

Fuente: Autoría Propia

Tabla 30 Porcentaje de agregados para la mezcla

| FÓRMULA DE TRABAJO | |
|--------------------|------------|
| Datos | Porcentaje |
| Agregado | 100,0 % |
| Cemento | 1,0 % |
| Agua | 10,5 % |
| Aditivo | 0,0 % |
| Emulsión | 12,6 % |

Fuente: Autoría Propia

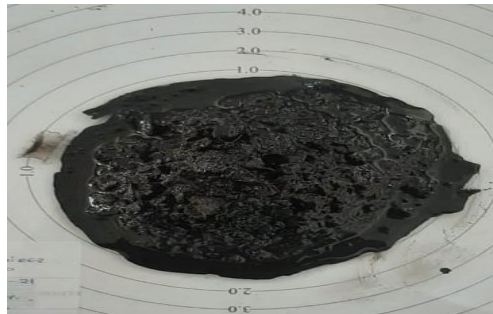


Ilustración 23. Nivel de consistencia de la muestra

Fuente: Autoría Propia

Tabla 31. Prueba de consistencia de la muestra

| TIPO DE ENSAYO O PRUEBA | | PASA |
|--|---|------|
| CONSISTENCIA | | SI |
| Superficie Satisfactoria | √ | |
| Superficie No Satisfactoria | | |
| CONSISTENCIA DIVIDIDA | | SI |
| Muestra Uniforme | √ | |
| Muestra No Uniforme | | |
| COMPATIBILIDAD DE COPA DIVIDIDA | | |
| Diferencia del (%) Asfalto | | SI |
| Diferencia del (%) Reten. N°16 | | SI |
| DESPRENDIMIENTO EN HÚMEDO | | SI |
| Recubrimiento Menor al 75% | | |
| Recubrimiento entre 75%-90% | | |
| Recubrimiento Mayor al 90% | √ | |
| MEZCLA Y TRABAJABILIDAD | | SI |
| Mezcla mayor de 2 minutos | √ | |
| Mezcla menor de 2 minutos | | |

Fuente: Autoría Propia



Ilustración 24. Prueba de la muestra

Fuente: Autoría Propia



Ilustración 25. Porcentaje de agua para la muestra

Fuente: Autoría Propia

Tabla 32. Porcentaje de agregados para la muestra

| FÓRMULA DE TRABAJO | |
|--------------------|------------|
| Datos | Porcentaje |
| Agregado | 100,0 % |
| Cemento | 1,0 % |
| Agua | 8,0 % |
| Aditivo | 0,0 % |
| Emulsión | 15,6 % |

Fuente: Autoría Propia

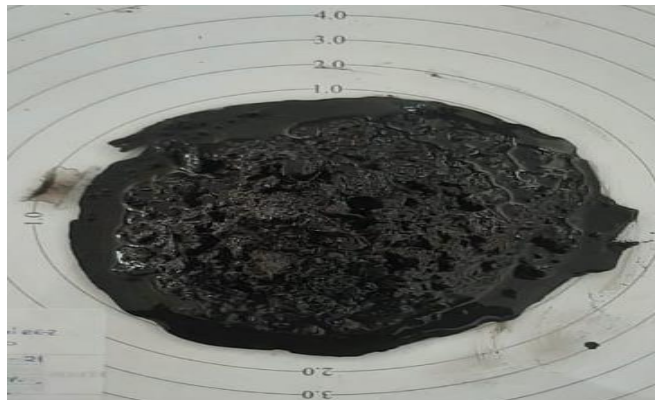


Ilustración 26. Nivel de consistencia de la muestra

Fuente: Autoría Propia

Tabla 33. Prueba de la mezcla de la muestra

| TIPO DE ENSAYO O PRUEBA | | PASA |
|--|---|------|
| CONSISTENCIA | | |
| Superficie Satisfactoria | ✓ | SI |
| Superficie No Satisfactoria | | |
| CONSISTENCIA DIVIDIDA | | |
| Muestra Uniforme | ✓ | SI |
| Muestra No Uniforme | | |
| COMPATIBILIDAD DE COPA DIVIDIDA | | |
| Diferencia del (%) Asfalto | | SI |
| Diferencia del (%) Reten. N°16 | | SI |
| DESPRENDIMIENTO EN HÚMEDO | | |
| Recubrimiento Menor al 75% | | |
| Recubrimiento entre 75%-90% | ✓ | SI |
| Recubrimiento Mayor al 90% | | |
| MEZCLA Y TRABAJABILIDAD | | |
| Mezcla mayor de 2 minutos | ✓ | SI |
| Mezcla menor de 2 minutos | | |

Fuente: Autoría Propia



Ilustración 27. Prueba de la mezcla

Fuente; Autoría propia



Ilustración 28. *Porcentaje de agua en la muestra*

Fuente: Autoría propia

Compatibilidad Adecuada: Si la mezcla permanece homogénea y no muestra signos significativos de separación o desprendimiento, se considera que la emulsión es compatible con los agregados. Esto sugiere que la emulsión tiene una buena adhesión y estabilidad en la mezcla.

Separación de Componentes: Si se observa una separación significativa de los agregados o un desprendimiento de la emulsión, esto indica una falta de compatibilidad. En este caso, puede ser necesario ajustar la formulación de la emulsión o los agregados para mejorar la compatibilidad.

Calidad de la Emulsión y Agregados: La compatibilidad también puede reflejar la calidad general de la emulsión bituminosa y los agregados. Una buena compatibilidad indica que ambos componentes están bien formulados para trabajar juntos eficazmente en aplicaciones de pavimentación.

Resultados Esperados

Los resultados del ensayo de compatibilidad ISSA TB-115 deben mostrar que la emulsión bituminosa y los agregados se mezclan de manera efectiva sin separación significativa. Una mezcla estable y homogénea indica que los materiales son compatibles y adecuados para su uso en la construcción de pavimentos.

3.3.7. ENSAYO DE COHESIÓN ISSA TB-139

- **Descripción**

El ensayo de cohesión ISSA TB-139 evalúa la capacidad de una mezcla asfáltica o emulsión bituminosa para mantener su integridad estructural y cohesión bajo condiciones específicas. Este ensayo es crucial para determinar la resistencia de la mezcla a la deformación y la separación de sus componentes durante el uso.

- **Equipos y Materiales**

Prensa de cohesión: Para aplicar una carga específica a la muestra y medir su resistencia.

Muestras de mezcla asfáltica: Preparadas de acuerdo con las especificaciones del ensayo.

Termómetro: Para controlar la temperatura durante el ensayo.

Balanza de precisión: Para medir las muestras con exactitud.

Cernidor de laboratorio: Para preparar y clasificar los agregados si es necesario.

- **Procedimiento**

Preparación de la Muestra:

Preparar las muestras de mezcla asfáltica según las especificaciones del ensayo, asegurando que sean representativas del material a evaluar.



Ilustración 29. Preparación y compactación de las muestras asfálticas

Fuente: Autoría propia

Colocar las muestras en un molde adecuado y compactarlas a la densidad requerida.

Exponer las muestras a una temperatura controlada durante un tiempo específico para simular las condiciones de uso.



Ilustración 30. Colocación de muestras a temperatura

Fuente: Autoría propia

Aplicar una carga específica a la muestra para evaluar su capacidad de mantener la cohesión bajo estrés.



Ilustración 31. Aplicación de carga en las diferentes pruebas

Fuente: Autoría Propia

Medir la cantidad de desplazamiento o separación de los componentes durante la prueba.

- **Resultados**

Los resultados del ensayo de cohesión ISSA TB-139 para la emulsión CSS-1H-P muestran una excelente capacidad de cohesión con un valor de rotura de 26 kg/cm y una

evaluación realizada durante 240 minutos. Estos resultados indican que la emulsión mantiene una buena resistencia a la separación y deformación bajo condiciones de estrés, lo que la hace adecuada para su uso en aplicaciones de pavimentación.

Tabla 34. *Porcentaje de emulsión para las muestras*

| FÓRMULA DE TRABAJO | |
|---------------------------|-------------------|
| Material | Porcentaje |
| Agregado | 100,0 % |
| Cemento Portland | 1,0 % |
| Agua Potable | 14,0 % |
| Aditivo | 0,0 % |
| Emulsión CSS-1H-P | 12,6 % |

Fuente: Autoría Propia

Tabla 35. *Determinación de tiempo para el ensayo de cohesión*

| ENSAYO DE COHESIÓN | |
|---------------------------|---------------|
| Tiempo | Torque |
| 30 minutos | 12 kg-cm |
| 60 minutos | 15 kg-cm |
| 90 minutos | 18 kg-cm |
| 120 minutos | 21 kg-cm |
| 180 minutos | 24 kg-cm |
| 240 minutos | 26 kg-cm |

Fuente: Autoría Propia

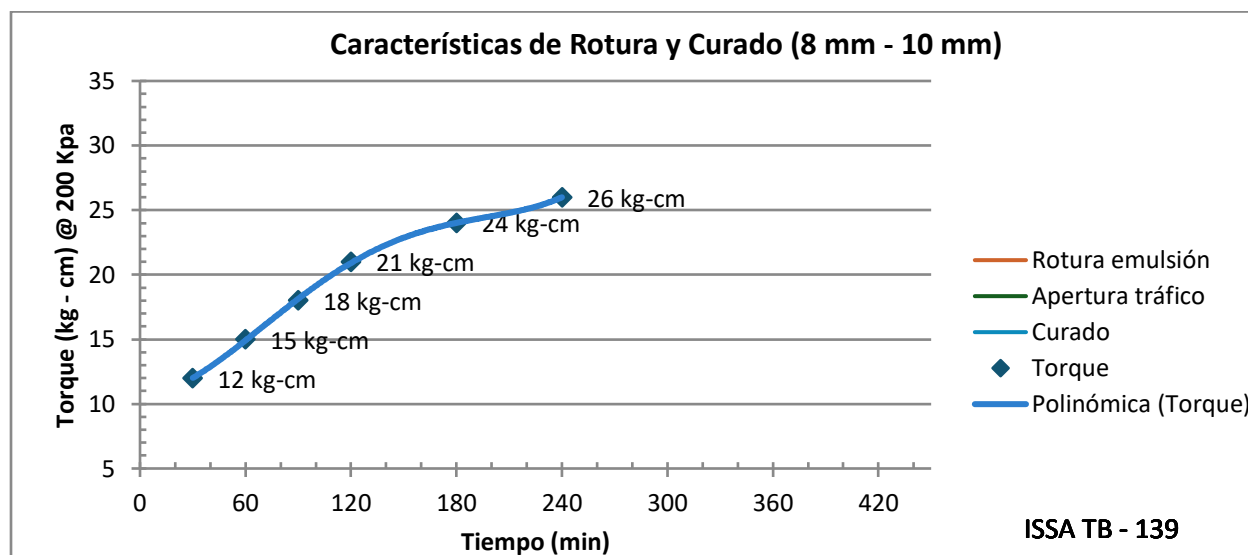


Figura 9. Características de rotura y curado

Fuente: Autoría propia

La capacidad de la emulsión para mantener su cohesión durante un período prolongado refuerza su calidad y durabilidad. Esta emulsión cumple con los requisitos de cohesión necesarios para garantizar un rendimiento óptimo en el campo.

Si se requieren más detalles o ajustes en la formulación de la emulsión, no dude en solicitar asistencia adicional.

Tabla 36. Porcentaje de emulsión para las muestras

| FÓRMULA DE TRABAJO | |
|--------------------|------------|
| Material | Porcentaje |
| Agregado | 100,0 % |
| Cemento Portland | 1,0 % |
| Agua Potable | 14,0 % |
| Aditivo | 0,0 % |
| Emulsión CSS-1H-P | 12,6 % |

Fuente: Autoría Propia

Tabla 37. Determinación de tiempo para el ensayo de cohesión

| ENSAYO DE COHESIÓN | |
|--------------------|----------|
| Tiempo | Torque |
| 30 minutos | 12 kg-cm |
| 60 minutos | 15 kg-cm |
| 90 minutos | 17 kg-cm |
| 120 minutos | 20 kg-cm |
| 180 minutos | 21 kg-cm |
| 240 minutos | 23 kg-cm |
| 300 minutos | 24 kg-cm |

Fuente: Autoría Propia

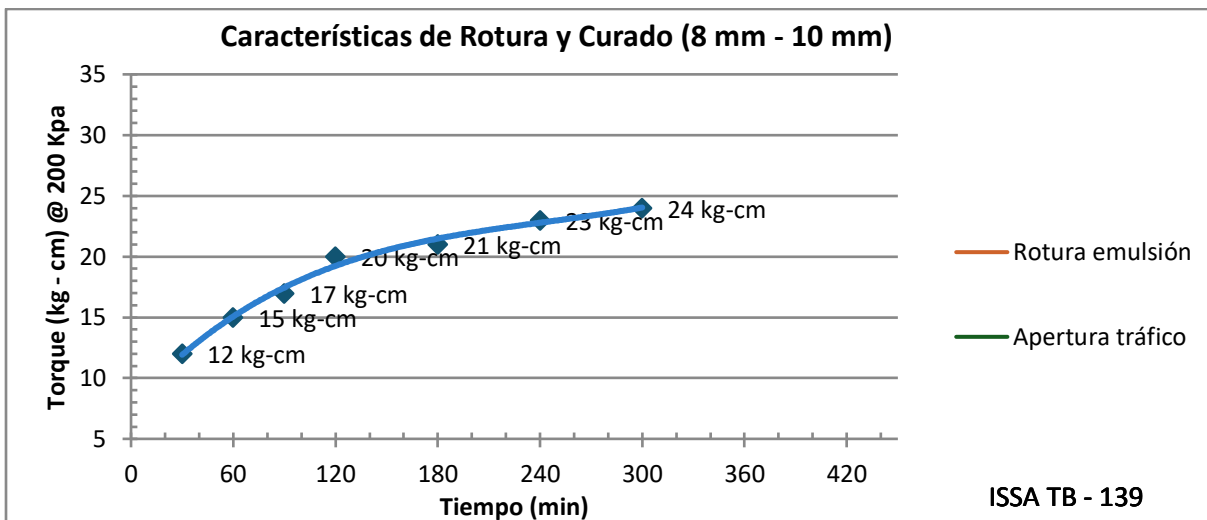


Figura 10. Características de rotura y curado

Fuente: Autoría Propia

Tabla 38. Porcentaje de emulsión para las muestras

| FÓRMULA DE TRABAJO | |
|--------------------|------------|
| Material | Porcentaje |
| Agregado | 100,0 % |
| Cemento Portland | 1,0 % |
| Agua Potable | 14,0 % |
| Aditivo | 0,2 % |
| Emulsión CSS-1H-P | 12,6 % |

Fuente: Autoría Propia

Tabla 39. Determinación de tiempo para el ensayo de cohesión

| ENSAYO DE COHESIÓN | |
|--------------------|----------|
| Tiempo | Torque |
| 30 minutos | 12 kg-cm |
| 60 minutos | 15 kg-cm |
| 120 minutos | 18 kg-cm |
| 180 minutos | 20 kg-cm |
| 240 minutos | 21 kg-cm |
| 300 minutos | 22 kg-cm |
| 360 minutos | 23 kg-cm |

Fuente: Autoría Propia

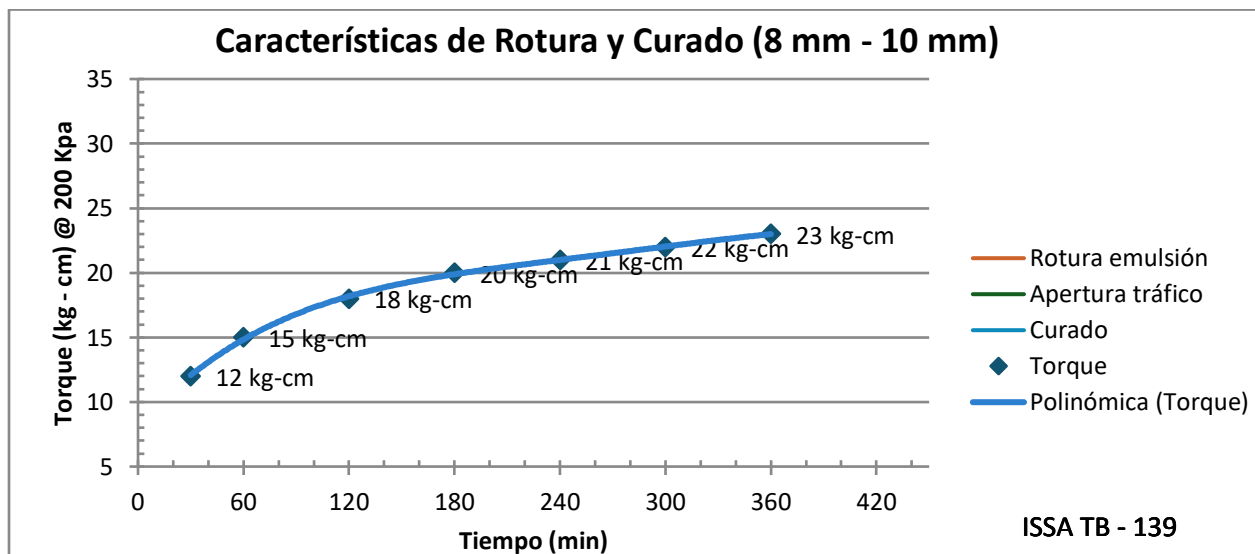


Figura 11. Características de rotura y curado

Fuente: Autoría propia

3.3.8. ENSAYO DE ADHESIVIDAD RIEDEL WEBER MTC E 220-2000

- **Descripción**

Un método para evaluar la capacidad adhesiva de materiales, generalmente utilizados en el contexto de revestimientos y morteros. Aquí hay un resumen del procedimiento general para llevar a cabo este ensayo:

- **Equipos y Materiales**

Sustrato de Prueba: Placas de sustrato estándar (como concreto o madera) sobre las cuales se aplicará el material a probar.



Ilustración 32. sustrato de prueba de la muestra

Fuente: Autoría propia

Material Adhesivo: El adhesivo o revestimiento que se va a evaluar.



Ilustración 33. Evaluación del adhesivo o revestimiento

Fuente: Autoría propia

Cortador de Adhesión: Herramienta para realizar cortes precisos en la superficie del material aplicado.

Dinamómetro: Dispositivo para medir la fuerza de tracción aplicada durante el ensayo.

Pegamento para Piezas de Tracción: Utilizado para adherir las piezas de tracción a la superficie del material de prueba.

Regla o Calibrador: Para medir dimensiones precisas de los cortes y la superficie de prueba.

Cinta Adhesiva: Utilizada para adherir las piezas de tracción.

- **Procedimiento**

Limpie y prepare la superficie del sustrato para asegurar una buena adherencia del material de prueba.

Aplique el material adhesivo al sustrato según las especificaciones del fabricante y deje que cure completamente.

Realice marcas y cortes precisos en la superficie del material curado utilizando el cortador de adhesión. Los cortes deben ser de dimensiones estándar y deben penetrar completamente el material hasta el sustrato.

Aplique el pegamento en la parte superior de las piezas de tracción y colóquelas sobre los cortes realizados en el material.

Deje que el pegamento cure completamente, asegurándose de que las piezas de tracción estén firmemente adheridas.



Ilustración 34. Curado del pegamento

Fuente: Autoría Propia

Conecte el dinamómetro a las piezas de tracción y aplique una fuerza de tracción perpendicular a la superficie del material.

Registre la fuerza necesaria para desprender el material del sustrato.

Calcule la resistencia adhesiva dividiendo la fuerza de tracción registrada por el área de la superficie de prueba.

Compare los resultados con los estándares de adhesividad especificados en la norma.



Ilustración 35. Comparación de los resultados

Fuente: Autoría propia

- **Resultados**

Tabla 40. Resultados de la solución del ensayo

| SOLUCIÓN DE ENSAYO | | INDICE |
|------------------------------------|---|--------|
| AGUA DESTILADA | | 0 |
| Desplazamiento Total del Ligante | | |
| Desplazamiento Parcial del Ligante | | |
| No hay desplazamiento del Ligante | √ | |
| MOLARIDAD M/256 | | 1 |
| Desplazamiento Total del Ligante | | |
| Desplazamiento Parcial del Ligante | | |
| No hay desplazamiento del Ligante | √ | |
| MOLARIDAD M/128 | | 2 |
| Desplazamiento Total del Ligante | | |
| Desplazamiento Parcial del Ligante | | |
| No hay desplazamiento del Ligante | √ | |
| MOLARIDAD M/64 | | 3 |
| Desplazamiento Total del Ligante | | |
| Desplazamiento Parcial del Ligante | | |
| No hay desplazamiento del Ligante | √ | |
| MOLARIDAD M/32 | | 4 |
| Desplazamiento Total del Ligante | | |
| Desplazamiento Parcial del Ligante | | |
| No hay desplazamiento del Ligante | √ | |
| MOLARIDAD M/16 | | 5 |
| Desplazamiento Total del Ligante | | |
| Desplazamiento Parcial del Ligante | √ | |
| No hay desplazamiento del Ligante | | |
| MOLARIDAD M/8 | | 6 |
| Desplazamiento Total del Ligante | √ | |
| Desplazamiento Parcial del Ligante | | |
| No hay desplazamiento del Ligante | | |
| MOLARIDAD M/4 | | 7 |
| Desplazamiento Total del Ligante | | |
| Desplazamiento Parcial del Ligante | | |
| No hay desplazamiento del Ligante | | |
| MOLARIDAD M/2 | | 8 |
| Desplazamiento Total del Ligante | | |
| Desplazamiento Parcial del Ligante | | |

| | | |
|---|--|-----------|
| No hay desplazamiento del Ligante | | |
| MOLARIDAD M/1 | | |
| Desplazamiento Total del Ligante | | 9 |
| Desplazamiento Parcial del Ligante | | |
| No hay desplazamiento del Ligante | | |
| Si no hay desplazamiento total con la Solución Molar M/1 | | 10 |

Fuente: Autoría propia

3.3.9. ENSAYO DE ABRASIÓN EN HÚMEDO (ISSA TB-100)

- **Descripción**

El ensayo de abrasión en húmedo según la norma ISSA TB-100 (International Slurry Surfacing Association) es utilizado para evaluar la resistencia a la abrasión de capas delgadas de revestimientos y lechadas aplicadas en pavimentos.

- **Equipos y Materiales**

Muestra de Prueba: La lechada o revestimiento que será evaluado.

Sustrato de Prueba: Superficie estándar donde se aplicará la muestra de prueba (generalmente placas de vidrio o acero).

Máquina de Abrasión en Húmedo: Equipo específico para este tipo de ensayo que incluye un cepillo rotatorio, depósito de agua y un mecanismo de medición.

Cepillo de Cerdas: Utilizado en la máquina de abrasión para simular el desgaste.

Agua Destilada: Para humedecer la muestra durante el ensayo.

Balanza de Precisión: Para medir el peso de la muestra antes y después del ensayo.

Termómetro y Cronómetro: Para controlar las condiciones de ensayo.

- **Procedimiento**

Aplice la lechada o revestimiento sobre el sustrato de prueba siguiendo las especificaciones del fabricante.

Deje que la muestra cure completamente a condiciones controladas de temperatura y humedad.

Pese la muestra seca y anote el peso inicial.



Ilustración 36. Curado de la muestra a condiciones de temperatura y humedad controlada

Fuente: Autoría Propia

Humedezca la muestra sumergiéndola en agua destilada durante un tiempo determinado (generalmente 24 horas).

Coloque la muestra en la máquina de abrasión.

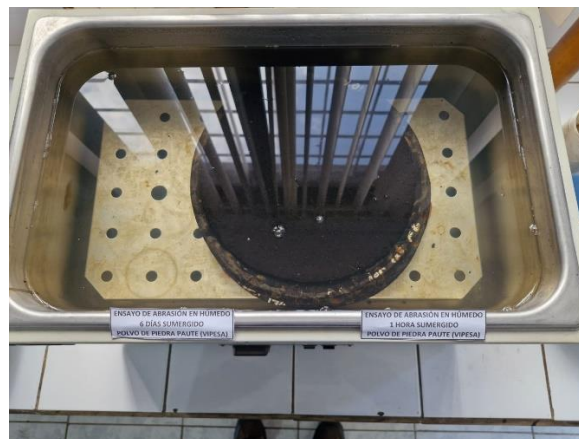


Ilustración 37. Máquina de abrasión

Fuente: Autoría Propia

Llene el depósito de agua de la máquina y asegúrese de que el cepillo de cerdas esté en contacto con la superficie de la muestra.

Inicie el ensayo haciendo que el cepillo rotatorio pase sobre la superficie de la muestra bajo condiciones controladas de velocidad y tiempo.



Ilustración 38. Ensayo de abrasión en húmedo

Fuente: Autoría Propia

Mantenga un suministro constante de agua destilada para asegurar que la muestra se mantenga húmeda durante todo el ensayo.

Después de completar el ensayo, seque la muestra completamente.

Pese la muestra seca nuevamente y registre el peso final.

Calcule la pérdida de masa debido a la abrasión restando el peso final del peso inicial.

La pérdida de masa se utiliza como un indicador de la resistencia a la abrasión del material. Valores bajos de pérdida de masa indican una buena resistencia a la abrasión, mientras que valores altos pueden indicar una menor resistencia.

- **Resultados**

Tabla 41. *Ensayo de perdida por abrasión en húmedo (1H)*

| ENSAYO DE PERDIDA POR ABRASIÓN EN HÚMEDO (1 HORA) | | | | | | |
|---|------------|------------|------------|------------|--------|--------------------------|
| % Asfalto | % Emulsión | P. Inicial | P. Final | Δ Abrasión | Factor | Perdida abrasión |
| 6,20 % | 10,00 % | 1674,64 gr | 1662,86 gr | 11,78 gr | 32,9 | 387,56 gr/m ² |
| 7,44 % | 12,00 % | 1636,93 gr | 1627,78 gr | 9,15 gr | 32,9 | 301,04 gr/m ² |
| 8,68 % | 14,00 % | 1655,89 gr | 1650,99 gr | 4,90 gr | 32,9 | 161,21 gr/m ² |
| 9,92 % | 16,00 % | 1648,45 gr | 1646,12 gr | 2,33 gr | 32,9 | 76,66 gr/m ² |

Fuente: Autoría Propia

Tabla 42. *Ensayo de perdida por abrasión en húmedo (6 días)*

| ENSAYO DE PERDIDA POR ABRASIÓN EN HÚMEDO (6 DÍAS) | | | | | | |
|---|------------|------------|------------|------------|--------|---------------------------|
| % Asfalto | % Emulsión | P. Inicial | P. Final | Δ Abrasión | factor | Perdida Abrasión |
| 6,20 % | 10,00 % | 1667,01 gr | 1632,30 gr | 34,71 gr | 32,9 | 1141,96 gr/m ² |
| 7,44 % | 12,00 % | 1676,30 gr | 1660,34 gr | 15,96 gr | 32,9 | 525,08 gr/m ² |
| 8,68 % | 14,00 % | 1680,22 gr | 1669,35 gr | 10,87 gr | 32,9 | 357,62 gr/m ² |
| 9,92 % | 16,00 % | 1705,10 gr | 1699,67 gr | 5,43 gr | 32,9 | 178,65 gr/m ² |

Fuente: Autoría Propia

Tabla 43. *Limites especificados de abrasión*

| |
|--|
| Límites Especificados ISSA A-143 e ISSA A-105 |
| Abrasión en Húmedo 1 hora = 538 gr/m ² Máximo |
| Abrasión en Húmedo 6 días = 807 gr/m ² Máximo |

Fuente: Autoría Propia

Tabla 44. *Porcentaje de agregado para la muestra*

| | |
|----------|---------|
| Agregado | 100,0 % |
| Cemento | 1,0 % |
| Agua | 14,0 % |
| Aditivo | 0,0 % |
| Emulsión | 12,6 % |

Fuente: Autoría Propia

Este valor refleja la cantidad de material que se desgasta de la superficie probada bajo condiciones de fricción controladas durante dicho intervalo. La magnitud de esta pérdida es un indicador clave de la durabilidad y resistencia al desgaste del material en estudio.

. Este valor cuantifica la cantidad de material desgastado de la superficie bajo condiciones de fricción constantes durante el ensayo prolongado. La pérdida registrada proporciona información valiosa sobre la durabilidad del material frente al desgaste a lo largo del tiempo, permitiendo evaluar su desempeño en aplicaciones donde la resistencia a la abrasión prolongada es fundamental.

3.3.10. ENSAYO DE ADHERENCIA POR DE RUEDA CARGADA (ISSA TB-109)

- **Descripción**

El ensayo de adherencia por rueda cargada según la norma ISSA TB-109 es utilizado para evaluar la resistencia de las capas delgadas de tratamientos superficiales, como lechadas asfálticas y micro aglomerados, bajo condiciones de carga repetitiva. Este ensayo simula el desgaste y la adherencia del material cuando es sometido a cargas de tráfico en condiciones controladas.

- **Equipos y Materiales**

Muestra de Prueba: Lechada asfáltica o micro aglomerado.

Placa de Ensayo: Generalmente una placa de metal o vidrio, sobre la cual se aplica la muestra.

Máquina de Ensayo de Rueda Cargada: Equipo específico que aplica una carga repetitiva a la muestra a través de una rueda.

Rueda de Ensayo: Rueda estándar utilizada en la máquina de ensayo.

Cámara de Condicionamiento: Para controlar la temperatura y humedad durante el ensayo.

Balanza de Precisión: Para medir el peso de la muestra antes y después del ensayo.

Cronómetro: Para medir la duración del ensayo.

- **Procedimiento**

Aplice la lechada asfáltica o el micro aglomerado sobre la placa de ensayo siguiendo las especificaciones del fabricante.



Ilustración 39. Aplicación de la lechada asfáltica sobre la placa

Fuente: Autoría Propia

Deje que la muestra cure completamente en condiciones controladas de temperatura y humedad.

Coloque la muestra en la cámara de condicionamiento a una temperatura y humedad específicas (generalmente 25°C y 50% de humedad relativa) por un período determinado (usualmente 24 horas).



Ilustración 40. Curado de la muestra en condiciones óptimas

Fuente: Autoría Propia

Coloque la muestra en la máquina de ensayo de rueda cargada.



Ilustración 41. Ensayo de rueda cargada

Fuente: Autoría Propia

Ajuste la rueda de ensayo para que esté en contacto con la superficie de la muestra.

Aplique la carga específica a la rueda (generalmente 58 kg) y ajuste la velocidad de la rueda según las especificaciones del ensayo.

Inicie el ensayo y deje que la rueda cargada pase repetidamente sobre la superficie de la muestra durante el tiempo o el número de ciclos especificado.

Monitoree el ensayo para asegurar que las condiciones se mantengan constantes.

Al finalizar el ensayo, retire la muestra de la máquina de ensayo.

Inspeccione visualmente la superficie de la muestra para identificar cualquier señal de desgaste o desprendimiento.

Pese la muestra para determinar la pérdida de material, si es necesario.

Registre la cantidad de ciclos o tiempo requerido para causar un desgaste significativo o desprendimiento del material.

- **Resultados**

Tabla 45. Ensayo adherencia de arena

| ENSAYO ADHERENCIA DE ARENA POR RUEDA CARGADA | | | | | | |
|--|------------|------------|-----------|-------------------|-------------------------|---------------------------|
| % Asfalto | % Emulsión | P. Inicial | P. Final | Δ Rueda C. | Área Molde | Adhesión Arena |
| 6,20 % | 10,00 % | 907,45 gr | 909,23 gr | 1,78 gr | 0,012425 m ² | 143,26 gr/m ² |
| 7,44 % | 12,00 % | 910,13 gr | 914,03 gr | 3,90 gr | 0,012425 m ² | 313,88 gr/m ² |
| 8,68 % | 14,00 % | 925,59 gr | 934,99 gr | 9,40 gr | 0,012425 m ² | 756,54 gr/m ² |
| 9,92 % | 16,00 % | 906,85 gr | 921,36 gr | 14,51 gr | 0,012425 m ² | 1167,81 gr/m ² |

Fuente: Autoría Propia

Tabla 46. Límites especificados

| |
|---|
| Límites Especificados ISSA A-143 e ISSA A-105 |
| Rueda Cargada por Adher. Arena = 538 gr/m ² Máximo |

Fuente: Autoría Propia

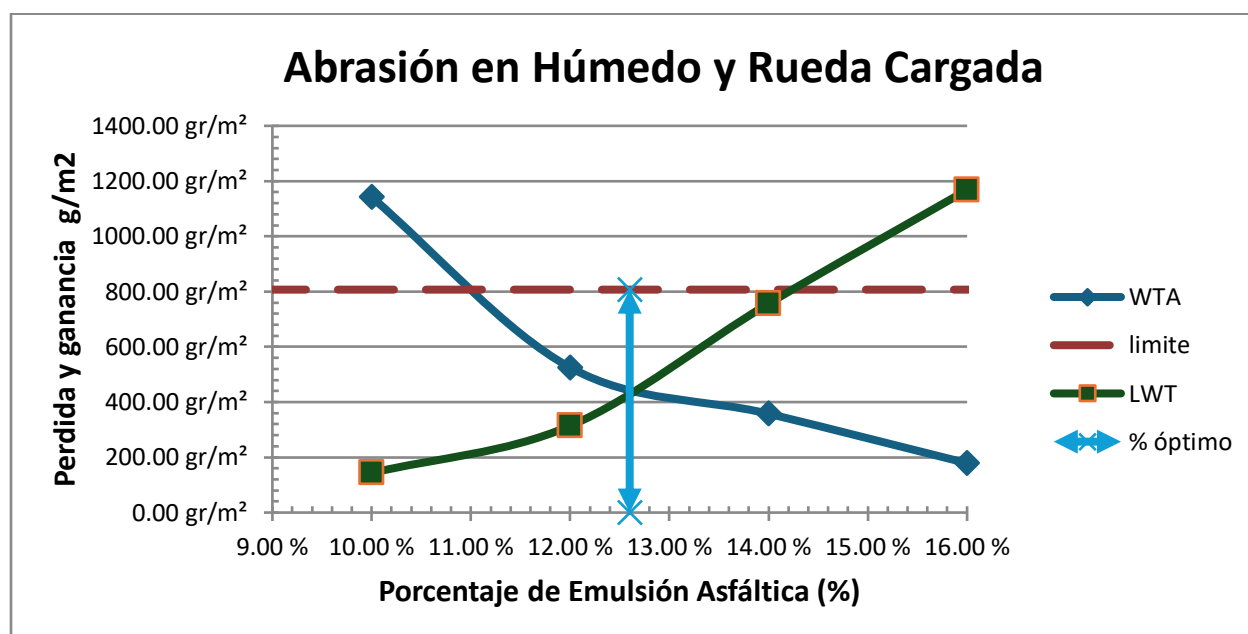


Figura 12. Abrasión en húmedo y rueda cargada

Fuente: Autoría Propia

Este valor refleja la variación en la masa del material, lo que permite evaluar la resistencia del revestimiento frente a las condiciones adversas de carga y humedad.

La magnitud de la pérdida o ganancia observada es un indicador clave del comportamiento del material bajo las condiciones específicas del ensayo, proporcionando información crucial sobre su durabilidad y capacidad para soportar el desgaste en ambientes húmedos y bajo cargas mecánicas.

3.3.11. DESPLAZAMIENTO LATERAL Y VERTICAL (ISSA TB-147)

- **Descripción**

El ensayo de desplazamiento lateral y vertical según la norma ISSA TB-147 es utilizado para evaluar la estabilidad y la resistencia al desplazamiento de capas delgadas de revestimientos y micro aglomerados bajo condiciones de carga. Este ensayo simula las fuerzas laterales y verticales que actúan sobre la superficie del pavimento debido al tráfico y otros factores ambientales.

- **Equipos y Materiales**

Muestra de Prueba: Lechada asfáltica o microaglomerado.

Placa de Ensayo: Superficie estándar donde se aplicará la muestra.

Máquina de Ensayo de Desplazamiento: Equipo que aplica fuerzas laterales y verticales a la muestra.

Rueda de Ensayo: Rueda estándar utilizada en la máquina de ensayo.

Cámara de Condicionamiento: Para controlar la temperatura y humedad durante el ensayo.

Balanza de Precisión: Para medir el peso de la muestra antes y después del ensayo.

Cronómetro: Para medir la duración del ensayo.

- **Procedimiento**

Aplice la lechada asfáltica o el microaglomerado sobre la placa de ensayo siguiendo las especificaciones del fabricante.

Deje que la muestra cure completamente en condiciones controladas de temperatura y humedad.

Coloque la muestra en la cámara de condicionamiento a una temperatura y humedad específicas (generalmente 25°C y 50% de humedad relativa) por un período determinado (usualmente 24 horas).

Coloque la muestra en la máquina de ensayo de desplazamiento.

Ajuste la rueda de ensayo para que esté en contacto con la superficie de la muestra.

Aplique la carga específica a la rueda y ajuste las fuerzas laterales y verticales según las especificaciones del ensayo.

Inicie el ensayo y deje que la máquina aplique fuerzas laterales y verticales repetidamente sobre la superficie de la muestra durante el tiempo o el número de ciclos especificado.

Monitoree el ensayo para asegurar que las condiciones se mantengan constantes.

Al finalizar el ensayo, retire la muestra de la máquina de ensayo.

Inspeccione visualmente la superficie de la muestra para identificar cualquier señal de desplazamiento lateral o vertical.

Mida y registre cualquier desplazamiento lateral o vertical observado.

Pese la muestra para determinar la pérdida de material, si es necesario.

- **Resultados**

Tabla 47. Desplazamiento lateral y vertical

| MEDIDAS DEL MOLDE | | | | |
|--------------------------|-------------------------|----------------|-------------------------|----------------|
| DIMENSIONES | MEDIDAS EXTERNAS | | MEDIDAS INTERNAS | |
| | NORMATIVA | EMULDEC | NORMATIVA | EMULDEC |
| Espesor | 12,7 ± 0,8 mm | 12,0 mm | 12,7 ± 0,8 mm | 12,0 mm |
| Ancho | 76,2 ± 1,6 mm | 76,0 mm | 50,8 ± 1,6 mm | 52,0 mm |
| Longitud | 406,4 ± 3,2 mm | 405,0 mm | 381,0 ± 3,2 mm | 382,5 mm |

Fuente: Autoría Propia

Tabla 48. Medidas de las muestras después de 1000 ciclos

| MEDIDAS DE LAS MUESTRAS DESPUÉS DE 1000 CICLOS | | | | | | | | |
|--|------------------------|--------------------|-------------------------------|--------------|-------------------------|--------------------|-------------------------------|--------------|
| N° MUESTRA | Desplazamiento Lateral | | | | Desplazamiento Vertical | | | |
| | Lectura Inicial (L1) | Lectura Final (L2) | Porcentaje (%) Desplazamiento | Cumplimiento | Lectura Inicial (V1) | Lectura Final (V2) | Porcentaje (%) Desplazamiento | Cumplimiento |
| Muestra 1 | 51,5 mm | 53,0 mm | 2,91 % | Si cumple | 12,4 mm | 11,9 mm | 4,20 % | Si cumple |
| Muestra 2 | 51,2 mm | 52,5 mm | 2,54 % | Si cumple | 12,2 mm | 11,7 mm | 4,27 % | Si cumple |
| Muestra 3 | 51,0 mm | 53,0 mm | 3,92 % | Si cumple | 12,8 mm | 12,2 mm | 4,92 % | Si cumple |

Fuente: Autoría Propia

| | |
|---------------------|-------|
| Gravedad Específica | 1,927 |
|---------------------|-------|

| |
|--|
| Límites Especificados ISSA A-143 |
| Desplazamiento Lateral= 5% Máximo |
| Gravedad Específica después de 1000 ciclos (56,71 kg) = 2,1 Máximo |

3.3.12. ENSAYO SCHULZE BREUER RUCK (ISSA TB-144)

- **Descripción**

El ensayo Schulze-Breuer-Ruck (ISSA TB-144) es un procedimiento estandarizado utilizado para evaluar la consistencia y estabilidad de lechadas asfálticas y micro aglomerados. Este ensayo se enfoca en determinar la capacidad de estos materiales para mantenerse homogéneos y no segregarse durante la aplicación y el curado.

- **Equipos y Materiales**

Lechada Asfáltica o Microaglomerado: Muestra del material a evaluar.

Placa de Ensayo: Superficie estándar donde se aplicará la muestra.

Espátula o Aplicador de Lechada: Herramienta para aplicar la lechada sobre la placa de ensayo.

Agua Destilada: Para realizar las diluciones necesarias.

Balanza de Precisión: Para medir las cantidades de los materiales.

Cronómetro: Para medir el tiempo de asentamiento.

Recipientes Graduados: Para medir y preparar las diluciones.

Cámara de Condicionamiento: Para controlar la temperatura y humedad durante el ensayo.

- **Procedimiento**

Pese una cantidad específica de la lechada asfáltica o microaglomerado y colóquela en un recipiente graduado.

Añada una cantidad medida de agua destilada para realizar una dilución estándar. La cantidad de agua añadida dependerá de las especificaciones del ensayo y del material a evaluar.

Mezcle bien la lechada y el agua para obtener una mezcla homogénea.

Coloque la placa de ensayo en una superficie plana y nivelada.



Ilustración 42. Ensayo Schulze-Breuer-Ruck

Fuente: Autoría Propia

Aplique la mezcla diluida sobre la placa utilizando una espátula o aplicador de lechada, extendiéndola uniformemente.

Coloque la placa con la muestra aplicada en la cámara de condicionamiento a una temperatura y humedad controladas (generalmente 25°C y 50% de humedad relativa).



Ilustración 43. Dejar las muestras en un periodo de condicionamiento

Fuente: Autoría Propia

Deje la muestra en la cámara por un tiempo determinado (usualmente 24 horas) para permitir el curado inicial.

Después del período de condicionamiento, retire la muestra de la cámara.

Inspeccione visualmente la muestra para identificar cualquier signo de segregación, asentamiento o separación de componentes.

Si es necesario, realice mediciones adicionales de la muestra, como la altura de asentamiento, para cuantificar la estabilidad.



Ilustración 44. Mediciones de las muestras

Fuente: Autoría Propia

Compare los resultados visuales y las mediciones con los criterios de estabilidad especificados en la norma ISSA TB-144.

Una muestra estable no debería mostrar signos de segregación significativa ni asentamiento excesivo.

- Resultados**

Tabla 49. Resultados rio Paute

| RIO PAUTE | | | | | | | |
|--------------------------------|------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Muestra | Peso Seco | A | B | C | A-B | C/A *100 | Visual |
| | | Peso Saturado | Peso Después de Abrasión | Peso de Integridad | Perdida por Abrasión | Porcentaje Integridad | Porcentaje de adhesión |
| No. | Gr | gr | Gr | Gr | gr | % | % |
| S.J. 2.1 | 39.94 | 42.63 | 41.82 | 38.48 | 0.81 | 90.27 | 95.00 |
| S.J. 2.2 | 40.23 | 42.92 | 41.88 | 38.82 | 1.04 | 90.45 | 95.00 |
| S.J. 2.3 | 40.23 | 42.98 | 41.80 | 38.67 | 1.18 | 89.97 | 95.00 |
| S.J. 2.4 | 40.10 | 42.87 | 42.02 | 38.02 | 0.85 | 88.69 | 95.00 |
| S.J. 2.5 | 39.81 | 42.45 | 41.48 | 38.48 | 0.97 | 90.65 | 95.00 |
| S.J. 2.6 | 40.28 | 42.92 | 42.18 | 38.18 | 0.74 | 88.96 | 95.00 |
| S.J. 2.7 | 40.08 | 42.26 | 41.17 | 39.55 | 1.09 | 93.59 | 95.00 |
| S.J. 2.8 | 39.91 | 40.84 | 39.71 | 39.91 | 1.13 | 97.72 | 95.00 |
| Promedio | | | | | 0.98 | 91.29 | 95.00 |
| Calificación en números | | | | | 3.00 | 4.00 | 4.00 |
| Calificación en letras | | | | | B | A | A |
| Calificación Total | | | | | 11.00 | ABA | |
| Mínimo (Especificación) | | | | | 11 | AAB - ABA- BAA | |
| Conclusión | | | | | Material cumple | | |

Fuente: Autoría Propia

3.3.13. ANÁLISI ECONÓMICO

Dado que la investigación se centra en el diseño de un mortero asfáltico modificado con polímeros, se seleccionó un espesor de entre 8 y 10 mm para realizar un análisis económico. Con este espesor, se llevó a cabo un análisis de precio unitario (APU) para estimar el costo por metro cuadrado del producto, considerando los costos asociados a materiales, maquinaria y mano de obra. Para el análisis de precio unitario, y que los precios representen lo más cercano a la realidad actual se tomara la libertad de considerar los siguientes aspectos:

- Maquinaria: Se utilizó la máquina, que tiene una capacidad de producción de 2700 a 3600 kg/min.
- 800 galones de emulsión.
- 12 m³ de agregado.
- 800 galones de agua.
- 150 kg de filler.
- Ancho de plancha de 3,65 m.
- Producción por hora de 220 m².
- Mano de obra: Se tomaron en cuenta los salarios mínimos establecidos por la Contraloría General del Estado en 2024.

Materiales: Los precios de los materiales fueron calculados con base en los costos proporcionados por las empresas proveedoras.

Tabla 50. Análisis de precios unitario con emulsión tradicional.

| ANALISIS DE PRECIO UNITARIO | | | | | |
|---|--|----------|-------------|-------------|------------|
| PROYECTO: Diseño de un mortero asfáltico con emulsión tradicional | | | | | |
| Realizado: | Adamaris Andrade y Alberto Merchán | | | 3/9/2024 | Unidad: m2 |
| Rubro: | Mortero asfáltico normal | | | | |
| A.- MATERIALES | | | | | |
| ITEM | DESCRPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | C. UNITARIO | C. TOTAL |
| A.1 | Agregado medio Pasantes 3/8" (en planta) | m3 | 0,003 | 18,75 | 0,07 |
| A.2 | Agregado fino "Arena" (en planta) | m3 | 0,011 | 16,07 | 0,18 |
| A.3 | Emulsión CSS-1h | galón | 0,582 | 1,6 | 0,93 |
| A.4 | Agua | m3 | 0,003 | 0,41 | 0,001 |
| TOTAL (DOLARES) | | | | | 1,20 |
| B.- EQUIPO | | | | | |
| ITEM | DESCRPCIÓN | CANTIDAD | RENDIMIENTO | C / HORA | C. TOTAL |
| B.1 | Equipo de distribución continua | 1 | 0,0055 | 54,35 | 0,29 |
| B.2 | Distribuidor de asfalto | 1 | 0,0055 | 38,49 | 0,21 |
| B.3 | Barredora mecánica | 1 | 0,0055 | 23,21 | 0,12 |
| B.4 | Camión cisterna | 1 | 0,0055 | 38,88 | 0,21 |
| B.5 | Cargador frontal | 1 | 0,0055 | 48,33 | 0,26 |
| | Herramientas manuales | 0,1 | 0,0055 | 0,027 | 0,00001 |
| TOTAL (DOLARES) | | | | | 1,12 |
| C.- MANO DE OBRA | | | | | |
| ITEM | DESCRPCIÓN | CANTIDAD | RENDIMIENTO | C / HORA | C. TOTAL |
| C.1 | Inspector de obra | 1 | 0,0055 | 3,93 | 0,02 |
| C.2 | Óp. De equipo micro agolerado | 1 | 0,0055 | 3,93 | 0,02 |
| C.3 | Óp. Distribuidor de asfalto | 1 | 0,0055 | 3,74 | 0,02 |
| C.4 | Chofer tipo E | 1 | 0,0055 | 5,15 | 0,02 |
| C.5 | Óp. Cargador frontal | 1 | 0,0055 | 3,93 | 0,02 |
| C.6 | Óp. barredora | 1 | 0,0055 | 3,74 | 0,02 |
| C.7 | Peón | 4 | | 14,04 | 0,07 |
| | | | 0,0055 | | |
| TOTAL (DOLARES) | | | | | 0,21 |
| COSTO SUBTOTAL | | | | | 2,53 |
| 15 % IVA | | | | | 0,37 |
| Costo indirecto 20 % | | | | | 0,50 |
| TOTAL DEL RUBRO | | | | | 3,41 |

Fuente: Autoría Propia

Tabla 51. Análisis de precios unitario con emulsión polimérica

| ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO | | | | | |
|--|---|----------|-------------|----------------|-------------|
| PROYECTO: Diseño de un mortero asfáltico con emulsión polimérica | | | | | |
| Realizado: | Adamaris Andrade y Alberto Merchán | | | 3/9/2024 | Unidad: m2 |
| Rubro: | Mortero asfáltico normal | | | | |
| A.- MATERIALES | | | | | |
| ITEM | DESCRPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | C. UNITARIO | C. TOTAL |
| A.1 | Agregado medio Pasantes 3/8" (en planta) | m3 | 0,003 | 18,75 | 0,07 |
| A.2 | Agregado fino "Arena" (en planta) | m3 | 0,011 | 16,07 | 0,18 |
| A.3 | Emulsión con polimeros | galón | 0,62 | 1,75 | 1,08 |
| A.4 | Agua | m3 | 0,003 | 0,41 | 0,001 |
| TOTAL (DOLARES) | | | | | 1,35 |
| B.- EQUIPO | | | | | |
| ITEM | DESCRPCIÓN | CANTIDAD | RENDIMIENTO | C / HORA | C. TOTAL |
| B.1 | Equipo de distribución continua | 1 | 0,0055 | 54,35 | 0,29 |
| B.2 | Distribuidor de asfalto | 1 | 0,0055 | 38,49 | 0,21 |
| B.3 | Barredora mecánica | 1 | 0,0055 | 23,21 | 0,12 |
| B.4 | Camión cisterna | 1 | 0,0055 | 38,88 | 0,21 |
| B.5 | Cargador frontal | 1 | 0,0055 | 48,33 | 0,26 |
| | Herramientas manuales | 0,1 | 0,0055 | 0,027 | 0,000014 |
| TOTAL (DOLARES) | | | | | 1,11 |
| C.- MANO DE OBRA | | | | | |
| ITEM | DESCRPCIÓN | CANTIDAD | RENDIMIENTO | C / HORA | C. TOTAL |
| C.1 | Inspector de obra | 1 | 0,0055 | 3,93 | 0,02 |
| C.2 | Óp. De equipo micro agolerado | 1 | 0,0055 | 3,93 | 0,02 |
| C.3 | Óp. Distribuidor de asfalto | 1 | 0,0055 | 3,74 | 0,02 |
| C.4 | Chofer tipo E | 1 | 0,0055 | 5,15 | 0,02 |
| C.5 | Óp. Cargador frontal | 1 | 0,0055 | 3,93 | 0,02 |
| C.6 | Óp. barredora | 1 | 0,0055 | 3,74 | 0,02 |
| C.7 | Peón | 4 | 0,0055 | 14,04 | 0,07 |
| TOTAL (DOLARES) | | | | | 0,21 |
| COSTO SUBTOTAL | | | | | 2,68 |
| 15 % IVA | | | | | 0,40 |
| Costo indirecto 20 % | | | | | 0,53 |
| TOTAL DEL RUBRO | | | | | 3,62 |

Fuente: Autoría Propia

El costo por metro cuadrado de un mortero asfáltico convencional, incluyendo maquinaria y mano de obra, es de \$3.41, con una vida útil estimada entre 3 y 5 años. En comparación, el mortero asfáltico modificado con polímeros diseñado en esta investigación tiene un costo de \$3.62 por metro cuadrado, pero su vida útil se extiende a un rango de 4,5 a 7 años, gracias a la mejora en sus características iniciales. Cabe destacar que para el análisis de durabilidad se tomó la vida útil mínima del mortero asfáltico convencional, que es de 3 años, para establecer una relación con el diseño modificado.

CAPITULO IV

4. Conclusiones y Recomendaciones

4.1. Conclusiones

- El mortero asfáltico polimérico representa una alternativa efectiva a los métodos tradicionales de conservación vial, al mejorar la durabilidad, resistencia y sostenibilidad de las infraestructuras. La incorporación de polímeros en la emulsión asfáltica potencia las propiedades mecánicas del mortero, prolongando la vida útil de las superficies tratadas y reduciendo la necesidad de mantenimiento. Además, su uso favorece la sostenibilidad al permitir la reutilización de materiales y minimizar el impacto ambiental en la conservación vial.
- En la presente investigación, se realizó un análisis granulométrico inicial de los agregados provenientes de los ríos Jubones y Paute para evaluar su idoneidad en el diseño de morteros asfálticos con polímeros. Los ensayos revelaron que el material del río Jubones no cumplió con los requisitos necesarios, debido a los resultados negativos en los ensayos de equivalente de arena y azul de metileno, lo que impidió su uso en morteros asfálticos con polímeros.
- El análisis de granulometría del lecho del río Jubones mostró que su material no se ajusta a las fajas granulométricas requeridas para el diseño de morteros asfálticos con polímeros, clasificándose como granulometría tipo I. En cambio, el material del río Paute se ajustó adecuadamente a la faja granulométrica seleccionada, clasificada como tipo III, cumpliendo con las especificaciones necesarias.
- Debido a los resultados negativos en los ensayos de equivalente de arena y azul de metileno, el material del río Jubones fue descartado para la elaboración de morteros asfálticos con polímeros. Por consiguiente, todos los morteros de emulsión polimérica se realizaron utilizando agregados del río Paute, que sí cumplieron con todos los requisitos establecidos en los ensayos.
- La diferencia de costo por metro cuadrado entre el mortero asfáltico convencional y el modificado con polímeros es de \$0.21. Aunque esto representa un costo adicional inicial al aplicar este tratamiento preventivo, a largo plazo ofrece beneficios significativos,

- Contribuye una mejor adherencia y estabilidad del mortero polimérico, confirmadas por los ensayos de carga de partícula y estabilidad, garantizan un desempeño superior en condiciones operativas reales.
- Para esta investigación se utilizó una emulsión asfáltica proporcionada por la empresa EMULDEC, con un contenido de 0.35% de polímero. Además, se fabricó una emulsión asfáltica modificada con 1.5% de resina de poliuretano.
- Los ensayos de viscosidad realizados a las emulsiones demostraron resultados favorables, indicando un fácil bombeo del material tanto en planta como en obra.
- A las 24 horas, la emulsión CQS-1h-P mostró una estabilidad de 0.77%, y la emulsión CQS-1h-PU mostró una estabilidad de 0.35%, ambas por debajo del 1% establecido por la norma ASTM D-244.
- A los 5 días, la emulsión CQS-1h-P presentó un asentamiento de 4.01%, mientras que la emulsión CQS-1h-PU mostró un asentamiento de 8.98%. Por lo tanto, la emulsión modificada con 1.5% de resina de poliuretano no cumple con la especificación, mientras que la emulsión con polímero sí cumple.
- Los ensayos de carga de partícula confirmaron que las emulsiones analizadas son catiónicas (carga positiva), lo que garantiza una adecuada unión entre el agregado y la emulsión.
- Los resultados de pH obtenidos fueron de 4.35 para la emulsión CQS-1h-P y de 3.1 para la emulsión CQS-1h-PU, ambos dentro del rango máximo de 7 establecido por la norma.
- El diseño de morteros asfálticos con polímeros utilizando materiales del río Paute y emulsión CQS-1h-P resultó en una fórmula de trabajo con los siguientes porcentajes: 100% de agregado, 1% de cemento, 17% de agua y 11.8% de emulsión.

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar un análisis exhaustivo del proceso de obtención del material del río Jubones para mejorar la calidad del producto, implementando procesos en la mina que mejoren las condiciones del material. Para la determinación de calidad de los agregados, se deben procurar un mayor número de ensayos con la finalidad de verificar y validar las exigencias de calidad y especificaciones a utilizarse en un proyecto de morteros asfálticos con polímeros, los cuales se encuentran normados por la ISSA A 143.
- En lugar de simplemente descartar el material del río Jubones, se podría explorar soluciones para mejorarlo, los resultados del equivalente de arena y azul de metileno. Esto ampliaría el valor práctico de la investigación al proporcionar posibles soluciones para materiales marginales.
- Aunque los costos iniciales de los morteros asfálticos con polímeros pueden ser más elevados, se recomienda incluir un análisis de amortización detallado en futuros proyectos. Este debe considerar no solo el costo de instalación, sino también la reducción de la frecuencia de mantenimiento y el ahorro en reparaciones, destacando los beneficios económicos a largo plazo
- Se recomienda profundizar en estudios de ciclo de vida que cuantifiquen el ahorro de recursos y la reducción de emisiones de CO₂, fortaleciendo la argumentación a favor de estos morteros como una solución más sostenible, ampliando los beneficios ambientales de estos morteros, son significativos, ya que permiten la reutilización de materiales y minimizan las intervenciones a lo largo del tiempo.
- Además de los polímeros comunes, es recomendable investigar el uso de polímeros reciclados o biodegradables que puedan ofrecer propiedades similares o superiores, contribuyendo aún más a los objetivos de sostenibilidad en la conservación vial.

REFERENCIAS

- AASHTO. (2016). Standard Specification for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing.
- AASHTO. (2018). AASHTO Provisional Standards, Part I Specifications.
- Abdelrahman, A. K., et al. (2020). Effect of crumb rubber modifier on the performance of asphalt concrete. *Construction and Building Materials*, 257, 119505.
- Aguado, P., & Botella, A. (2020). *Propiedades de los materiales bituminosos*. Editorial Técnica.
- Ahmed, S., Al-Tamimi, A. K., Al-Mansob, R. A., & El-Shafie, A. (2018). Effects of Styrene-Butadiene-Styrene modifier on bitumen and asphalt mixture properties: A review. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30(7), 04018167.
- Asociación Española de Emulsiones Asfálticas. (2021). *Guía técnica sobre emulsiones asfálticas y sus aplicaciones*.
- Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas. (2021). *Guía para el uso de aditivos en morteros asfálticos*.
- Asociación Española de la Carretera. (2020). *Manual de pavimentación*.
- Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas. (2019). *Aplicaciones del mortero asfáltico en impermeabilización*.
- Asociación Técnica de la Carretera. (2019). *Manual de pavimentación avanzada*.
- ASTM International. (2020). ASTM D6373 / D6373M - 15 Standard Specification for Performance Graded Asphalt Binder.
- ASTM International. (2020). *Standard Test Methods for Sampling and Testing Bitumen-Saturated Felts and Woven Fabrics for Roofing and Waterproofing*.
- Bueno, M., et al. (2017). Analysis of the mechanical properties of asphalt mortar with additives by using the finite element method. *Construction and Building Materials*, 152, 224-233.
- Carrillo, M., & Sánchez, L. (2018). Caracterización física de agregados para construcción en la cuenca del río Paute. *Revista de Ingeniería Civil*, 45(2), 125-138.
- Chen, H., et al. (2021). Effects of elastomeric copolymers on the properties of asphalt binders and mixtures: A review. *Journal of Materials Science & Technology*, 63, 221-234.
- Chen, Z., et al. (2022). Investigation of the microstructure and mechanical properties of asphalt mortar modified by graphene oxide. *Construction and Building Materials*, 327, 126991.
- Fang, C., et al. (2019). Laboratory evaluation of modified asphalt mixtures containing diatomite and SBS polymers. *Construction and Building Materials*, 229, 116911.
- Fernández, J., & Pérez, M. (2021). Mezclas asfálticas modificadas con polímeros. *Revista de Ingeniería de Carreteras*, 56(1), 88-97.

- García, L., Navarro, F., & Martín, J. (2022). Desempeño de los polímeros en morteros asfálticos. *Revista de Materiales de Construcción*, 72(2), 45-58.
- García-Martín, A., Arámbula-Mercado, E., Cabello-Briones, J. M., & Luna-García, J. A. (2020). Asphalt mixtures reinforced with additives: Study of mechanical properties. *Materials*, 13(8), 1928.
- García, P., & Ramírez, L. (2017). *Modificación de asfaltos con polímeros elastoméricos en carreteras*. Editorial Técnica.
- García, M., Pérez, J., & Hernández, L. (2018). Durabilidad de mezclas asfálticas en climas extremos. *Revista de Ingeniería Civil*, 45(2), 155-167.
- Gómez, P., & Ortiz, A. (2017). Geología y dinámica fluvial del río Paute: Implicaciones para la extracción de agregados. *Revista Geológica del Ecuador*, 29(3), 89-102.
- González, R. (2019). Costos y beneficios del uso de morteros asfálticos en pavimentación. *Revista de Infraestructura*, 12(3), 89-102.
- González, R. (2019). Evaluación económica de los morteros asfálticos con emulsión polimérica. *Revista de Infraestructura y Transporte*, 14(3), 112-124.
- Han, J., et al. (2020). Rheological and mechanical properties of SBS modified asphalt binder with different structures under short-term aging. *Construction and Building Materials*, 247, 118586.
- Huang, Y., Dong, L., & Wu, S. (2019). Rheological properties and performance evaluation of asphalt binders. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 31(1), 04018209.
- Huang, Y., et al. (2021). Experimental study on properties of porous asphalt mixtures modified by conductive materials. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 33(7), 04021111.
- Instituto Nacional de Vías. (2019). *Normas técnicas para la construcción de pavimentos*.
- Jamshidi, A., et al. (2020). Development of a high-performance asphalt binder modified with waste thermoplastic polyolefins and polyphosphoric acid. *Journal of Cleaner Production*, 247, 119104.
- Jia, X., et al. (2022). Laboratory investigation on the performance of asphalt mixture modified by polymer composite fiber. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 34(3), 04021501.
- Leng, Z., et al. (2017). Study on the performance of road asphalt modified by waste rubber powder. *Construction and Building Materials*, 150, 553-559.
- Li, H., et al. (2018). Laboratory investigation on the effects of elastomeric and thermoplastic polyolefin polymers on asphalt binder aging. *Construction and Building Materials*, 169, 61-68.
- Li, J., et al. (2021). Preparation and performance evaluation of SBS and crumb rubber modified asphalt binders. *Construction and Building Materials*, 303, 124366.
- Liu, B., et al. (2020). Investigation on the rheological properties of asphalt. *Construction and Building Materials*.
- Liu, S., et al. (2018). Characterization and performance of asphalt mortar with various polymer additives. *Construction and Building Materials*, 176, 475-485.

- Liu, Y., et al. (2019). Evaluation of high and low temperature properties of asphalt mortar incorporating graphene oxide and nano-silica. *Construction and Building Materials*, 201, 690-700.
- Londoño, E. (2020). *Morteros asfálticos en la construcción de carreteras*. Ediciones Técnicas.
- López, C., & Hernández, A. (2020). Propiedades mecánicas de los morteros asfálticos con emulsiones modificadas. *Congreso Internacional de Pavimentos*, 33(2), 231-245.
- López, C., & Sánchez, F. (2021). *Aplicación y control de calidad en mezclas asfálticas*. Editorial Científica.
- López, J., & Torres, S. (2015). Propiedades del asfalto modificado con polímeros. *Revista de Ingeniería Civil*, 35(2), 45-56.
- Ma, H., et al. (2018). Effect of aggregate gradation on the mechanical properties and water stability of asphalt mastic. *Construction and Building Materials*, 162, 172-183.
- Martínez, E., Aguilera, M. M., & Díaz, O. (2018). Evaluación de emulsiones asfálticas de ruptura rápida y lenta para pavimentos antideslizantes. *Revista Ingeniería Solidaria*, 14(25), 57-67.
- Martínez, R., & Sánchez, D. (2020). Desempeño de los morteros asfálticos en pavimentos de alta resistencia. *Ediciones Profesionales*.
- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2021). *Manual de producción de mezclas asfálticas en caliente*.
- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2022). *Especificaciones técnicas para la producción de mezclas asfálticas con polímeros*.
- Mohammadi, J., & Eshaghi, A. (2017). Factors affecting the stability of asphalt emulsions. In *Proceedings of the International Conference on Applied Materials and Petrochemicals (ICAMP 2017)* (pp. 83-86).
- Morcillo, A., & Álvarez, M. (2018). Morteros asfálticos: Innovaciones en su diseño y uso. *Ingeniería de Caminos*, 18(3), 25-33.
- Olivera, E., Elías, J., Moratto, J., & Andrade, L. (2018). Evaluation of the mechanical properties of microsurfacing using asphalt rubber binder modified with EVA. *Materials*, 11(12), 2496.
- Ortiz, J., & Molina, C. (2019). Influencia de los polímeros en el comportamiento del asfalto modificado. *Revista Técnica de la Construcción*, 38(2), 54-66.
- Palacios, L., & García, S. (2021). Análisis de rendimiento de los asfaltos modificados con polímeros SBS. *Revista de Ingeniería Civil*, 43(1), 96-110.
- Rahman, W., et al. (2020). Influence of nano-silica and SBS on performance properties of asphalt binders. *Construction and Building Materials*, 255, 119319.
- Ramírez, J., & Velasco, L. (2019). Morteros asfálticos en pavimentos urbanos. *Revista de Infraestructura*, 11(4), 88-99.
- Ramírez, S., & Velásquez, J. (2018). Uso de polímeros en la mejora de mezclas asfálticas. *Revista Técnica de Pavimentación*, 56(2), 75-89.
- Sobrino, J., & García, R. (2021). *El futuro de las mezclas asfálticas con aditivos de última generación*. Editorial Científica.

Yilmaz, M., et al. (2020). Comparative analysis of the mechanical properties of SBS modified and polymer-modified asphalt binders. *Journal of Cleaner Production*, 274, 122936.

Zhang, F., et al. (2021). Research on the application of different polymers in asphalt modification. *Construction and Building Materials*, 298, 124237.

AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Nosotros, Adamaris Anahí Andrade Vásquez y Alberto Guillermo Merchán Reyes portadores de las cédulas de ciudadanía N.° 0302198205 y N.° 0105298285. En calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación "Optimización sostenible de la conservación vial mediante la utilización de mortero de emulsión polimérica." de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconocemos a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizamos a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 02 de octubre de 2024

F: 
Adamaris Anahí Andrade Vásquez
0302198205

F: 
Alberto Guillermo Merchán Reyes
0105298285