



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**DISEÑO DEL MICROPAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA
MODIFICADA CON POLÍMERO, CON AGREGADO PROCEDENTE DE LA
CANTERA CALAGUA DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL, PROVINCIA DE
BOLÍVAR.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**PREVIO LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL OPCIÓN:
CAMINOS**

AUTOR: BARRIONUEVO ALDAZ LUIS GUILLERMO

TUTOR: ING. CARLOS PONTÓN

QUITO-ECUADOR

2012

DEDICATORIA

A Dios quien ha guiado mis pasos con amor, fortaleza y fe para cumplir uno de mis más anhelados sueños.

A mis Padres Luis Alberto Barrionuevo Solórzano y Anita Isabel Aldaz por haberme apoyado siempre en cualquier adversidad que me encontrado, ya que con sus consejos, esfuerzo diario y apoyo incondicional hicieron posible que culminara con éxito una etapa más de mi vida.

A toda mi familia, por estar siempre conmigo durante toda la realización de éste trabajo.

AGRADECIMIENTO

Primero a Dios por habernos dado la vida y la oportunidad de vivir para servir a los demás, ya que sin el nada de esto hubiera sido posible.

A la Universidad Central del Ecuador, en especial a la Facultad de Ingeniería Ciencias, Físicas y Matemática, Escuela de Ingeniería Civil, a sus docentes quienes en su gran mayoría supieron transmitir sus conocimientos y forjarnos como buenos seres humanos.

Al Ing. Carlos Pontón, tutor de tesis, quien con su capacidad y sabios consejos hizo que este trabajo sea más objetivo y profesional.

A nuestros asesores: Ing. Rodrigo Herrera, e Ing. Francisco Endara quienes desinteresadamente y con una gran mística docente colaboraron diariamente con nosotros.

A la EPMMOP-Q y CHOVA, por facilitarme el uso de sus laboratorios, con el cual pude sacar adelante esta tesis.

AUTORIZACIÓN DE LA AUTORIA INTELECTUAL

Yo *LUIS GUILLERMO BARRIONUEVO ALDAZ* en calidad del autor del trabajo de investigación o tesis realizada sobre "DISEÑO DEL MICROPAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMERO, CON AGREGADO PROCEDENTE DE LA CANTERA CALAGUA DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL, PROVINCIA DE BOLÍVAR" por la presente autorizo a la *UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR*, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o de parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor me corresponden, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8, 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.



Barrionuevo Aldaz Luis Guillermo
CC: 020137636-5

CERTIFICACIÓN

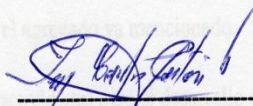
En calidad de Revisor del Proyecto de Investigación: DISEÑO DEL MICROPAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMERO, CON AGREGADO PROCEDENTE DE LA CANTERA CALAGUA DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL, PROVINCIA DE BOLÍVAR, presentado y desarrollado por el señor BARRIONUEVO ALDAZ LUIS GUILLERMO, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, considero que el proyecto reúne los requisitos necesarios.

Director de la Carrera de Ingeniería Civil, mediante oficio FI-DCIC-2012 - 321, de fecha 08 de Junio del 2012, por disposición del Decano de la Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemáticas se autoriza la denuncia de tesis. En la ciudad de Quito, a los 16 días del mes de Octubre del 2012. BARRIONUEVO ALDAZ LUIS GUILLERMO, a la vez que se me designa como TUTOR.

DESARROLLO DE LA TESIS

Primero se procedió a la recopilación de la información necesaria para la investigación descrito anteriormente para su desarrollo adecuado en base a los ensayos, de acuerdo con el siguiente:

Atentamente:



Ing. Carlos Pontón
TUTOR

Se realizó las siguientes actividades:

- > Determinación de las características del agregado, basado en ensayos predominantes para el diseño de micro pavimentos, como son Granulometría, Abrasión y Gravetas Específica.
- > Igualmente se desarrollaron distintos ensayos para la Emulsión, con sus respectivas normas descripto y detallado en el desarrollo de la tesis, de cada ensayo.
- > Finalmente se analizó el comportamiento de la mezcla con los fines de diseño, lo cual cumple satisfactoriamente para su aplicación y utilización en obra.

El desarrollo de todas las actividades de la tesis estuvo bajo la supervisión del ingeniero Carlos Pontón en su calidad de Tutor.

INFORME DE APROBACIÓN DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

TEMA: DISEÑO DEL MICROPAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMERO, CON AGREGADO PROCEDENTE DE LA CANTERA CALAGUA DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL, PROVINCIA DE BOLÍVAR.

ANTECEDENTES

Director de la Carrera de Ingeniería Civil, Mediante oficio FI-DCIC-2012 – 321, de fecha 08 de Junio del 2012, por disposición del Decano de la Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemáticas se autoriza la denuncia de tesis presentado por el señor BARRIONUEVO ALDAZ LUIS GUILLERMO, a la vez que se me designa como TUTOR.

DESARROLLO DE LA TESIS

Primero se procedió a la recopilación, de la información necesaria para la investigación descrito anteriormente para su desarrollo adecuado en base a los ensayos, de acuerdo con el agregado ya mencionado.

Se realizó las siguientes actividades para el desarrollo de la tesis.

- Determinación de las características del agregado, basado en ensayos predominantes para el diseño de micro pavimento, como son Granulometría, Abrasión y Gravedad Específica.
- Igualmente se desarrollaron distintos ensayos para la Emulsión, con sus respectivas normas descrito y detallado en el desarrollo de la tesis, de cada ensayo.
- Finalmente se analizó el comportamiento de la mezcla con los fines de diseño, lo cual cumple satisfactoriamente para su aplicación y utilización en obra.

El desarrollo de todas las actividades de la tesis estuvo bajo la supervisión del ingeniero Carlos Pontón en su calidad de Tutor.

CONCLUSIONES

- Se cumplió con el objetivo principal que era el diseño de micro pavimento utilizando emulsión asfáltica modificada con polímero, para su aplicación en vías como mantenimiento preventivo.
- Para su utilización en obra se determinó la siguiente dosificación para el diseño de micro pavimento:

Agregado = 100%

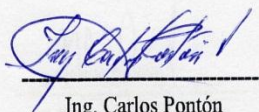
Cemento = 2%

Agua = 20%

Emulsión CSS – 1h (con polímero) = 11%

En virtud a lo manifestado anteriormente, las actividades desarrolladas han sido satisfactorias y los resultados obtenidos en el transcurso del desarrollo del mismo son los esperados, emito mi aprobación a este trabajo de tesis y recomiendo proseguir el tramite respectivo hasta la graduación del ejecutor.

Atentamente:



Ing. Carlos Pontón
TUTOR



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
SECRETARÍA

RESULTADO DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

CARRERA DE Ingeniería Civil

Quito, 29/ octubre/ 2012

Señor Luis Guillermo Barrionuevo Aldaz

Tema: DISEÑO DEL HIPOPAVIMENTO UTILIZANDO EMULSION
ASFALTICA MODIFICADA CON POLIMERO, CON AGREGADO
PROCEDENTE de CACA GUA - PROV. DE BOLIVAR

CALIFICACIÓN:

| TRIBUNAL | PROFESOR (A) | NOTA SOBRE VEINTE | | FIRMA |
|------------------|-----------------------------|-------------------|--------------|-------|
| | | NUMERO | LETRAS | |
| PROFESOR TITULAR | Ing. Rodrigo Herrera | 19.0 | Diez y Nueve | |
| PROFESOR TITULAR | Ing. Francisco R. Endara M. | 17.0 | Diez y Siete | |
| PROMEDIO | | 18.0 | Diez y Ocho. | |

Dra. Kathryn Carrion Valdivieso
SECRETARIA ABOGADA (E)

CONTENIDO

| | |
|--|------------|
| DEDICATORIA..... | II |
| AGRADECIMIENTO | III |
| AUTORIZACIÓN DE LA AUTORIA INTELECTUAL..... | IV |
| CERTIFICACIÓN | V |
| INFORME DE APROBACIÓN DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN | VI |
| RESUMEN TÉCNICO | XX |
| ABSTRACT | XXI |
| CAPITULO 1 | 1 |
| 1. GENERALIDADES | 1 |
| 1.1. ANTECEDENTES GENERALES | 1 |
| 1.2. INTODUCCIÓN A LOS MICRO PAVIMENTOS..... | 1 |
| 1.3. OBJETIVOS | 3 |
| 1.3.1. OBJETIVO GENERAL | 3 |
| 1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS | 3 |
| 1.4. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO..... | 3 |
| 1.5. METODOLOGÍA A DESARROLLAR | 4 |
| CAPÍTULO 2 | 5 |
| 2. MARCO CONCEPTUAL..... | 5 |
| 2.1. MICRO PAVIMENTO: USO E IMPORTANCIA..... | 5 |
| 2.1.1. MICRO PAVIMENTO | 5 |

| | | |
|--|---|-----------|
| 2.1.2. | USO..... | 5 |
| 2.1.3. | IMPORTANCIA | 6 |
| 2.2. | RESEÑA HISTORICA E IMPORTANCIA EN EL PAÍS..... | 6 |
| 2.3. | DIFERENCIA ENTRE MICRO PAVIMENTO Y SLURRY SEAL..... | 7 |
| 2.4. | TIPOS DE MICRO PAVIMENTOS | 7 |
| 2.5. | CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES | 8 |
| 2.5.1. | AGREGADOS | 8 |
| 2.5.2. | FILLER | 9 |
| 2.5.3. | POLÍMERO | 10 |
| 2.5.4. | EMULSIÓN | 11 |
| 2.5.5. | AGUA | 13 |
| CAPITULO 3 | | 14 |
| 3. CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS | | 14 |
| 3.1. | MUESTREO DE LOS MATERIALES, NORMA ASTM D-75/AASHTO T-2 | 14 |
| 3.1.1. | DESCRIPCIÓN..... | 14 |
| 3.1.2. | EQUIPO Y MATERIALES | 14 |
| 3.1.3. | PROCEDIMIENTO | 14 |
| 3.2. | GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS, NORMA AASHTO T 27/ASTM C-136 Y AASHTO T11/ASTM C-117..... | 17 |
| 3.2.1. | DESCRIPCIÓN..... | 17 |
| 3.2.2. | EQUIPO Y MATERIALES | 17 |
| 3.2.3. | PROCEDIMIENTO | 18 |
| 3.2.4. | RESULTADOS DEL ENSAYO | 21 |
| 3.3. | PESO UNITARIO, NORMA ASTM C-29/AASHTO T-29 | 23 |
| 3.3.1. | DESCRIPCIÓN..... | 23 |
| 3.3.2. | EQUIPO Y MATERIALES | 23 |
| 3.3.3. | PROCEDIMIENTO | 23 |
| 3.3.4. | RESULTADOS DEL ENSAYO | 25 |

| | | |
|--------|--|-----------|
| 3.4. | ABRASIÓN (MAQUINA DE LOS ANGELES) NORMA, ASTM C-131/AASHTO T-96..... | 27 |
| 3.4.1. | DESCRIPCIÓN..... | 27 |
| 3.4.2. | EQUIPO Y MATERIALES | 27 |
| 3.4.3. | PROCEDIMIENTO | 27 |
| 3.4.4. | RESULTADOS DEL ENSAYO | 30 |
| 3.5. | GRAVEDAD ESPECÍFICA, NORMA ASTM C-128/AASHTO T-84.... | 31 |
| 3.5.1. | DESCRIPCIÓN..... | 31 |
| 3.5.2. | EQUIPO Y MATERIALES | 31 |
| 3.5.3. | PROCEDIMIENTO | 32 |
| 3.5.4. | RESULTADOS DEL ENSAYO | 37 |
| 3.6. | VALOR DE AZUL DE METILENO, NORMA ISSA TB 145 | 39 |
| 3.6.1. | DESCRIPCIÓN..... | 39 |
| 3.6.2. | EQUIPO Y MATERIALES | 39 |
| 3.6.3. | PROCEDIMIENTO | 39 |
| 3.6.4. | RESULTADOS DEL ENSAYO | 42 |
| 3.7. | EQUIVALENTE DE ARENA, NORMA ASSHTO T-176/ASTM D-2419 | |
| | 43 | |
| 3.7.1. | DESCRIPCIÓN..... | 43 |
| 3.7.2. | EQUIPO Y MATERIALES | 43 |
| 3.7.3. | PROCEDIMIENTO | 44 |
| 3.7.4. | RESULTADOS DEL ENSAYO | 48 |
| | CAPITULO 4 | 49 |
| | 4. LA EMULSIÓN Y SUS CARACTERÍSTICAS..... | 49 |
| 4.1. | FUNCIÓN EN EL MICROPAVIMENTO | 49 |
| 4.2. | COMPOSICIÓN FÍSICO QUÍMICA..... | 50 |
| 4.3. | VISCOSIDAD SAYBOL FUROL, NORMA AASTHO T-59/ASTM D-244 y D-88 | 54 |
| 4.3.1. | DESCRIPCIÓN..... | 54 |
| 4.3.2. | EQUIPO Y MAREIALES..... | 54 |
| 4.3.3. | PROCEDIMIENTO | 56 |

| | | |
|--------|--|----|
| 4.3.4. | RESULTADOS DEL ENSAYO | 59 |
| 4.4. | ENSAYO DE ESTABILIDAD, NORMA AASHTO T-59/ASTM D-244 | 60 |
| 4.4.1. | DESCRIPCIÓN..... | 60 |
| 4.4.2. | EQUIPO Y MATERIALES | 60 |
| 4.4.3. | PROCEDIMIENTO | 60 |
| 4.4.4. | RESULTADOS DEL ENSAYO | 63 |
| 4.5. | ENSAYO DE ASENTAMIENTO, NORMA AASHTO T-59/ASTM D-244 | 64 |
| 4.5.1. | DESCRIPCIÓN..... | 64 |
| 4.5.2. | EQUIPO Y MATERIALES | 64 |
| 4.5.3. | PROCEDIMIENTO | 64 |
| 4.5.4. | RESULTADOS DEL ENSAYO | 66 |
| 4.6. | RETENIDO DE LA MALLA N° 20 NORMA, AASHTO T-59/ASTM D-244 | 68 |
| 4.6.1. | DESCRIPCIÓN..... | 68 |
| 4.6.2. | EQUIPO Y MATERIALES | 68 |
| 4.6.3. | PROCEDIMIENTO | 68 |
| 4.6.4. | RESULTADOS DEL ENSAYO | 70 |
| 4.7. | CARGA DE LA PARTÍCULA, NORMA AASHTO T-59/ASTM D-244 | 71 |
| 4.7.1. | DESCRIPCIÓN..... | 71 |
| 4.7.2. | EQUIPO Y MATERIALES | 71 |
| 4.7.3. | PROCEDIMIENTO | 72 |
| 4.7.4. | RESULTADOS DEL ENSAYO | 74 |
| 4.8. | MEZCLA CON CEMENTO, NORMA AASHTO T-59/ASTM D-244 ... | 75 |
| 4.8.1. | DESCRIPCIÓN..... | 75 |
| 4.8.2. | EQUIPO Y MATERIALES | 75 |
| 4.8.3. | PROCEDIMIENTO | 75 |
| 4.8.4. | RESULTADOS DEL ENSAYO | 77 |
| 4.9. | ENSAYO DE PH, NORMA AASHTO T-59/ASTM D-244..... | 78 |
| 4.9.1. | DESCRIPCIÓN..... | 78 |
| 4.9.2. | EQUIPO Y MATERIALES | 78 |
| 4.9.3. | PROCEDIMIENTO | 78 |
| 4.9.4. | RESULTADOS DEL ENSAYO | 79 |

| | |
|---|-----------|
| 4.10. ENSAYO DE RESIDUO ASFALTICO POR EVAPORACIÓN, NORMA AASHTO T-59/ASTM D-244 | 80 |
| 4.10.1. DESCRIPCIÓN..... | 80 |
| 4.10.2. EQUIPO Y MAREIALES..... | 80 |
| 4.10.3. PROCEDIMIENTO | 80 |
| 4.10.4. RESULTADOS DEL ENSAYO | 82 |
| 4.11. PUNTO DE REBLANDECIMIENTO, NORMA AASHTO T-53/ASTM D-36 | 83 |
| 4.11.1. DESCRIPCIÓN..... | 83 |
| 4.11.2. EQUIPO Y MATERIALES | 83 |
| 4.11.3. PROCEDIMIENTO | 84 |
| 4.11.4. RESULTADOS DEL ENSAYO | 87 |
| 4.12. PENETRACIÓN DEL RESIDUO, NORMA AASHTO T-49/ASTM D-588 | |
| 4.12.1. DESCRIPCIÓN..... | 88 |
| 4.12.2. EQUIPO Y MATERIALES | 88 |
| 4.12.3. PROCEDIMIENTO | 89 |
| 4.12.4. RESULTADOS DEL ENSAYO | 91 |
| 4.13. DUCTILIDAD DEL RESIDUO, NORMA AASHTO T-51/ASTM D-113 | |
| 92 | |
| 4.13.1. DESCRIPCIÓN..... | 92 |
| 4.13.2. EQUIPO Y MATERIALES | 92 |
| 4.13.3. PROCEDIMIENTO | 93 |
| 4.13.4. RESULTADOS DEL ENSAYO | 95 |
| CAPITULO 5 | 96 |
| 5. ANALISIS Y COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS | 96 |
| 5.1. CLASE DE MEZCLA PREPARADA | 96 |
| 5.2. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE TEÓRICO DE EMULSIÓN | 97 |
| 5.2.1. DESCRIPCIÓN..... | 97 |
| 5.2.2. PORCENTAJE TEÓRICO DE EMULSIÓN | 98 |
| 5.3. CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMA (CONSISTENCIA CON EL CONO), NORMA ISSA TB - 106/ASTM D - 3910..... | 100 |

| | | |
|--|--|------------|
| 5.3.1. | DESCRIPCIÓN..... | 100 |
| 5.3.2. | EQUIPO Y MATERIALES | 100 |
| 5.3.3. | PROCEDIMIENTO | 101 |
| 5.3.4. | RESULTADOS DEL ENSAYO | 103 |
| 5.4. | TIEMPO DE MEZCLADO, NORMA ISSA TB – 113..... | 105 |
| 5.4.1. | DESCRIPCIÓN..... | 105 |
| 5.4.2. | EQUIPO Y MATERIALES | 105 |
| 5.4.3. | PROCEDIMIENTO | 105 |
| 5.4.4. | RESULTADOS DEL ENSAYO | 107 |
| 5.5. | ENSAYO DE COHESIÓN, NORMA ISSA TB - 139/ASTM D - 3910. | 108 |
| 5.5.1. | DESCRIPCIÓN..... | 108 |
| 5.5.2. | EQUIPO Y MATERIALES | 108 |
| 5.5.3. | PROCEDIMIENTO | 109 |
| 5.5.4. | RESULTADOS DEL ENSAYO | 112 |
| 5.6. | ENSAYO DE ABRASIÓN EN HUNEDO, NORMA ISSA TB - 100/ASTM D - 3910 | 115 |
| 5.6.1. | DESCRIPCIÓN..... | 115 |
| 5.6.2. | EQUIPO Y MATERIALES | 115 |
| 5.6.3. | PROCEDIMIENTO | 116 |
| 5.6.4. | RESULTADOS EL ENSAYO | 120 |
| 5.7. | ENSAYO DE RUEDA CARGADA, NORMA ISSA TB - 109..... | 122 |
| 5.7.1. | DESCRIPCIÓN..... | 122 |
| 5.7.2. | EQUIPO Y MATERIALES | 122 |
| 5.7.3. | PROCEDIMIENTO | 124 |
| 5.7.4. | RESULTADOS DEL ENSAYO | 129 |
| CAPÍTULO 6 | | 131 |
| 6. DOSIFICACIÓN Y COLOCACIÓN..... | | 131 |
| 6.1. | PREPARACIÓN Y DEPOSITO EN OBRA | 131 |
| 6.2. | ANALISIS DEL ENSAYO DE ABRASIÓN EN HÚMEDO..... | 132 |
| 6.3. | ANALISIS DEL ENSAYO DE RUEDA CARGADA..... | 133 |

| | | |
|--|--|------------|
| 6.4. | ANÁLISIS DEL ENSAYO DE COHESIÓN | 134 |
| 6.5. | DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO..... | 135 |
| 6.5.1. | RESULTADOS DEL ENSAYO | 137 |
| 6.6. | ESPECIFICACIONES Y DOSIFICACIÓN..... | 139 |
| 6.6.1. | ESPECIFICACIÓN DEL AGREGADO | 139 |
| 6.6.2. | ESPECIFICACIÓN DE LA EMULSIÓN..... | 139 |
| 6.6.3. | ESPECIFICACIÓN DE DESEMPEÑO DEL MICROPAVIMENTO..... | 139 |
| CAPITULO 7 | | 140 |
| 7. PRESUPUESTOS Y COSTOS (VÍA HUANTO), UBICADO POR EL SECTOR LA MOYA, VÍA A SALINAS DE BOLÍVAR..... | | 140 |
| 7.1. | ALCANCE Y LIMITACIONES DE RESULTADOS ESPERADOS | 140 |
| 7.2. | COSTOS Y PRECIOS UNITARIOS | 141 |
| 7.2.1. | COSTOS DIRECTO | 141 |
| 7.2.2. | COSTOS INDIRECTOS | 143 |
| 7.2.3. | COSTO TOTAL UNITARIO..... | 143 |
| 7.3. | RUBROS Y CANTIDADES ADICIONALES | 145 |
| 7.4. | PRESUPUESTO DE OBRA DE LA VÍA HUANTO (L = 2.5 Km)..... | 155 |
| CAPITULO 8 | | 156 |
| 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | | 156 |
| 8.1. | APLICACIÓN O USO EN PROYECTOS | 156 |
| 8.2. | CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN | 156 |
| 8.2.1. | AGREGADO | 156 |
| 8.2.2. | EMULSIÓN CSS – 1H | 157 |
| 8.2.3. | AGUA | 158 |
| 8.3. | DISEÑO DE LA MEZCLA PARA TRAMO DE PRUEBA..... | 159 |

| | |
|--|-----|
| 8.4. RECOMENDACIONES PARA SU UTILIZACIÓN EN PROYECTOS VIALES | 159 |
|--|-----|

| | |
|-------------------------|-----|
| 8.5. BIBLIOGRAFÍA | 161 |
|-------------------------|-----|

| | |
|---------------------|------------|
| ANEXOS | 163 |
|---------------------|------------|

ISSA A 143 (Febrero de 2010) Guía recomendada para micro pavimento

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|---|
| Figura 1. 1: Colocación del micro pavimento..... | 2 |
|--|---|

| | |
|---|----|
| Figura 4. 1: Diagrama esquemático de una emulsión | 50 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| Figura 4. 2: Representación esquemática de una emulsión catiónica | 51 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| Figura 4. 3: Esquema para la Fabricación de la Emulsión Asfáltica..... | 53 |
|--|----|

| | |
|---|----|
| Figura 4. 4: Viscosímetro saybolt con orificio universal y furol (dimensiones en mm)... | 55 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| Figura 4. 5: Matraz recibidor (dimensiones mm)..... | 56 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| Figura 4. 6: Equipo para determinar la polaridad de la partícula..... | 71 |
|---|----|

| | |
|---------------------------------------|----|
| Figura 4. 7: Emulsión catiónica | 74 |
|---------------------------------------|----|

| | |
|--|----|
| Figura 4. 8: Montaje del aparato con dos anillos | 84 |
|--|----|

| | |
|---|----|
| Figura 4. 9: Aguja para el ensayo de penetración..... | 89 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| Figura 4. 10: Molde y placa para el ductilímetro..... | 92 |
|---|----|

| | |
|--|-----|
| Figura 5. 1: Clasificación de las lechadas en función del par de torsión y del tiempo de curado..... | 113 |
|--|-----|

| | |
|--|-----|
| Figura 5. 2: Maquina de ensayo de Rueda Cargada..... | 123 |
|--|-----|

| | |
|---|-----|
| Figura 5. 3: Moldes para la muestra en (cm) | 124 |
|---|-----|

| | |
|---|-----|
| Figura 6. 1: Contenido de asfalto mínimo..... | 135 |
|---|-----|

| | |
|--|-----|
| Figura 6. 2: Contenido de asfalto máximo | 136 |
|--|-----|

| | |
|--|-----|
| Figura 6. 3: Determinación del contenido óptimo de asfalto | 136 |
|--|-----|

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|---|
| Tabla 2. 1: Tipos de Micro pavimentos y capacidad de carga | 8 |
|--|---|

| | |
|---|---|
| Tabla 2. 2: Granulometría para mezclas de micro pavimento | 9 |
|---|---|

| | |
|---|-----|
| Tabla 3. 1: Tipos de fajas para el diseño de micro-pavimentos | 17 |
| Tabla 3. 2: Carga Abrasiva | 27 |
| Tabla 3. 3: Granulometría, peso de agregado y número de esferas | 28 |
| Tabla 3. 4: Valores aceptables de azul de metileno | 42 |
| | |
| Tabla 4. 1: Termómetro ASTM para Viscosidad Saybolt..... | 55 |
| Tabla 4. 2: Diferentes condiciones para el ensayo..... | 90 |
| | |
| Tabla 5. 1: Factores para Determinar La Capacidad Superficial del Agregado..... | 97 |
| Tabla 5. 2: Cuadro de factores de corrección según el tipo de máquina..... | 120 |

LISTA DE FOTOS

| | |
|---|----|
| Fotografía 3. 1: Muestreo desde la banda transportadora | 15 |
| Fotografía 3. 2: Selección del agregado..... | 15 |
| Fotografía 3. 3: Toma de muestra del agregado de la pila de acopio..... | 16 |
| Fotografía 3. 4: Serie de tamices de acuerdo con la tabla 3.1 | 19 |
| Fotografía 3. 5: Masa total después del tamizado | 20 |
| Fotografía 3. 6: Peso del agregado para el ensayo | 23 |
| Fotografía 3. 7: Agregado seleccionado y molde para el ensayo..... | 24 |
| Fotografía 3. 8: Enrasado de la última capa..... | 24 |
| Fotografía 3. 9: Apisonamiento de la muestra | 25 |
| Fotografía 3. 10: Agregado y carga abrasiva | 29 |
| Fotografía 3. 11: Agregado ensayado | 29 |
| Fotografía 3. 12: Molde cónico y pisón | 31 |
| Fotografía 3. 13: Secado de la muestra al aire libre | 33 |
| Fotografía 3. 14: Muestra saturada superficie seca..... | 34 |
| Fotografía 3. 15: Eliminación de burbujas de aire | 35 |
| Fotografía 3. 16: Picnómetro con muestra dentro del baño de maría | 35 |
| Fotografía 3. 17: Peso de la masa en estado saturada con superficie seca..... | 36 |
| Fotografía 3. 18: Determinación de la masa sumergida en agua | 37 |
| Fotografía 3. 19: Agitación magnética de la muestra | 40 |

| | |
|---|----|
| Fotografía 3. 20: Adición de azul de metileno..... | 40 |
| Fotografía 3. 21: Punto final del ensayo de MB | 41 |
| Fotografía 3. 22: Equipo de sifonamiento..... | 45 |
| Fotografía 3. 23: Vertido de la muestra preparada..... | 45 |
| Fotografía 3. 24: Agitación de la probeta de izquierda a derecha..... | 46 |
| Fotografía 3. 25: Lectura de arena | 47 |
| | |
| Fotografía 4. 1: Viscosímetro Saybolt Furol calibrado a 25°C..... | 57 |
| Fotografía 4. 2: Colocación de las muestras para el ensayo en baño maría..... | 57 |
| Fotografía 4. 3: Llenado del viscosímetro con la muestra a ensayar | 58 |
| Fotografía 4. 4: Alineación del corcho con el vaso receptor y Flujo de la emulsión a través del viscosímetro al vaso receptor una vez retirado el corcho..... | 59 |
| Fotografía 4. 5: Reposo de las probetas durante 24 horas..... | 61 |
| Fotografía 4. 6: Pesado del vaso de precipitación con muestra | 62 |
| Fotografía 4. 7: Colocación de los vasos en el horno | 62 |
| Fotografía 4. 8: Reposo de las probetas durante los 5 días | 65 |
| Fotografía 4. 9: Uniformizar la muestra con el agitador | 66 |
| Fotografía 4. 10: Vertido de la emulsión sobre el tamiz | 69 |
| Fotografía 4. 11: Lavado del tamiz hasta que el agua salga clara..... | 69 |
| Fotografía 4. 12: Muestra de residuo retenida en el tamiz finalizado el ensayo | 70 |
| Fotografía 4. 13: Muestra para realizar el ensayo | 72 |
| Fotografía 4. 14: Conexión de los electrodos a la fuente y realización del ensayo | 73 |
| Fotografía 4. 15: Resultado visual del ensayo | 74 |
| Fotografía 4. 16: Cemento tamizado y pesado..... | 75 |
| Fotografía 4. 17: Mezcla de emulsión, cemento y agua..... | 76 |
| Fotografía 4. 18: Vertido de la mezcla sobre el tamiz y lavado..... | 76 |
| Fotografía 4. 19: Residuo de la muestra ensayada..... | 77 |
| Fotografía 4. 20: Colocación del pH – metro electrónico en la emulsión..... | 79 |
| Fotografía 4. 21: Peso de la emulsión | 81 |
| Fotografía 4. 22: Colocación de las muestras en el horno | 81 |
| Fotografía 4. 23: Muestra fluida para fabricar los anillos..... | 85 |
| Fotografía 4. 24: Montaje del equipo para realizar el ensayo | 86 |
| Fotografía 4. 25: Finalización del ensayo | 87 |
| Fotografía 4. 26: Muestra enfriada al ambiente dentro del molde | 90 |
| Fotografía 4. 27: Realización del ensayo | 91 |
| Fotografía 4. 28: Llenado de los moldes con la muestra..... | 93 |

| | |
|---|-----|
| Fotografía 4. 29: Retiro de piezas laterales del molde y fijación en el ductilómetro..... | 94 |
| Fotografía 4. 30: Observación de las probetas durante el ensayo | 94 |
| | |
| Fotografía 5. 1: Molde cónico de metal | 100 |
| Fotografía 5. 2: Colocación del porcentaje teórico de emulsión..... | 101 |
| Fotografía 5. 3: Mezcla de micro pavimento en el interior del molde | 102 |
| Fotografía 5. 4: Levantada del molde cónico..... | 102 |
| Fotografía 5. 5: Medición de la fluencia de la mezcla | 103 |
| Fotografía 5. 6: Mezcla homogénea de la mezcla..... | 106 |
| Fotografía 5. 7: Valoración visual de mezcla | 107 |
| Fotografía 5. 8: Cohesímetro | 109 |
| Fotografía 5. 9: Fabricación de probetas para el ensayo | 110 |
| Fotografía 5. 10: Centrado de la probeta con respecto al pie de goma | 110 |
| Fotografía 5. 11: Descenso del pistón y contacto con la superficie de la muestra..... | 111 |
| Fotografía 5. 12: Torque o giro de 90°..... | 111 |
| Fotografía 5. 13: Muestras ensayadas | 113 |
| Fotografía 5. 14: Agitador Mecánico molde N - 50..... | 115 |
| Fotografía 5. 15: Peso de agregado, cemento, agua y emulsión | 117 |
| Fotografía 5. 16: Colocación de la mezcla en el molde y muestra en reposo | 117 |
| Fotografía 5. 17: Colocación de las muestras al horno a 60° | 118 |
| Fotografía 5. 18: Proceso de ejecución del ensayo | 119 |
| Fotografía 5. 19: Visualización de las muestras ensayadas | 119 |
| Fotografía 5. 20: Máquina de ensayo de rueda cargada..... | 122 |
| Fotografía 5. 21: Preparación de la mezcla de micro pavimento | 125 |
| Fotografía 5. 22: Muestra en reposo | 125 |
| Fotografía 5. 23: Montaje de la briqueta..... | 126 |
| Fotografía 5. 24: Proceso de ejecución del ensayo | 126 |
| Fotografía 5. 25: Centrado del marco y vertido de la arena Ottawa | 127 |
| Fotografía 5. 26: Rueda a 100 ciclos, vertida arena Ottawa | 127 |
| Fotografía 5. 27: Pesado de la muestra ensayada después de los 100 ciclos | 128 |
| Fotografía 5. 28: Tipos de muestras ensayadas..... | 128 |

RESUMEN TÉCNICO

DISEÑO DEL MICRO PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMERO, CON AGREGADO PROCEDENTE DE LA CANTERA CALAGUA DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL, PROVINCIA DE BOLÍVAR.

El Micro pavimento es una mezcla asfáltica de alto rendimiento para protección, compuesta por agregados, emulsión asfáltica, filler mineral, y agua, la cual es aplicada de manera efectiva como sello de pavimentos envejecidos, sello de grietas superficiales, detienen la desintegración y dotan de propiedades antideslizantes, también cuenta con propiedades impermeabilizantes.

Se aplica para mantenimiento preventivo o correctivo con espesores desde 3 a 10 mm.

DESCRIPTORES:

MICRO PAVIMENTO / MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE PAVIMENTOS / EMULSIONES ASFÁLTICAS / ENSAYO DE RUEDA CARGADA / ENSAYO DE ABRASIÓN EN HÚMEDO / MÁQUINA BERGKAMP / CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO / DISEÑO DE MICRO PAVIMENTO.

ABSTRACT

MICRO SURFACING DESIGN USING POLYMER MODIFIED ASPHALT EMULSION WITH AGGREGATE FROM THE QUARRY CALAGUA CITY OF SAN MIGUEL, BOLÍVAR PROVINCE.

The micro surfacing is a high performance asphalt for protection, composed of aggregates, asphalt emulsion, mineral filler, and water, which is effectively applied as a seal of aged pavements, crack sealing surface, to stop the disintegration and endow anti-slip properties, also has waterproofing properties. It applies to preventive or corrective maintenance with thicknesses from 3 to 10 mm.

KEY WORDS:

MICRO SURFACING / PREVENTIVE MAINTENANCE PAVING / ASPHALT EMULSIONS / LOADED WHEEL TEST / WET ABRATION TEST / MACHINE BERGKAMP / CONTENT OPTIMUM ASPHALT / MICRO SURFACING DESIGN.

CAPITULO 1

1. GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES GENERALES

El presente documento corresponde a la compilación de la variada información existente respecto al uso de los asfaltos emulsionados (emulsiones asfálticas) en la elaboración de mezclas asfálticas densas, semi líquidas como son los morteros asfálticos (slurry seal) y los micro pavimentos (micro surfacing)¹.

El micro pavimento (micro sufacing), es el sistema de pavimentación superficial por capas delgadas compuesto por emulsión asfáltica modificada con polímero, 100% agregados triturado, finos minerales, agua y aditivo de control de campo según sea necesario².

El uso adecuado de emulsión asfáltica redunda en pavimentos de alto desempeño, en aplicaciones económicas y versátiles para el mantenimiento y rehabilitación de las vías por falta de su mantenimiento preventivo que se debe dar a las mismas, para así poder lograr alargar la vida útil de la vía.

Debido al aumento del parque automotor en los últimos años es una de las causas del deterioro de las vías, de ahí que su conservación y mantenimiento es un reto para mejora la calidad de la misma.

Por tal motivo se realiza esta investigación; para dar a conocer uno de los tipos de mantenimientos preventivos que existen, este es el caso del micro pavimento y su aplicación.

1.2. INTODUCCIÓN A LOS MICRO PAVIMENTOS

Es aplicado como tratamientos superficiales delgados de 10 mm de espesor, para mejorar características de fricción en pavimentos principalmente. Su segundo mayor uso es en recuperación de ahuellamientos, tanto en vías con alto volumen de tráfico vehicular. El micro-pavimento ha sido también usado para corregir irregularidades en pavimentos como alisamientos por exudación, desintegración y oxidación.

Las lechadas asfálticas (slurry seal) y micro pavimentos en frío (micro surfacing) corresponden a aplicaciones de emulsiones asfálticas, utilizadas principalmente en la conservación de pavimentos de asfalto.

¹ Guía básica para el diseño de mezclas asfálticas densas semilíquidas morteros asfálticos (slurry seal), y micro pavimentos (micro surfacing).

² Condiciones para prácticas de diseño, construcción y rendimientos de micro pavimentos.

La ISSA (International Slurry Surfacing Association) define las lechadas como una mezcla de agregado (incluyendo el filler), emulsión asfáltica de quiebre lento, agua y aditivo, la que es distribuida uniformemente sobre la superficie de un pavimento existente, en espesores que van desde los 3 a 10 mm (Figura1)³.

Por otra parte, la ISSA define a los micros pavimentos como el tipo más avanzado o superior de lechada asfáltica, de mayor estabilidad, capaces de ser distribuida en espesores variables de hasta 50mm.



Figura 1. 1: Colocación del micro pavimento

Fuente: Lechadas asfálticas y micro pavimento

Micro pavimento es una mezcla de emulsión asfáltica modificada con polímero, agregado mineral, mineral de relleno, agua y otros aditivos, adecuadamente proporcionados, mezclados y aplicados en una superficie preparada de acuerdo con una especificación.

La mezcla deberá ser capaz de ser aplicada en secciones longitudinales con espesor variable (desniveles, surcos, cursos y superficies fresadas) el cual, después de curar y una consolidación inicial con tránsito, resista la compactación a través del entero rango de tolerancia de diseño de contenido de bitumen y espesor variable que es encontrado. El producto final deberá mantener una superficie resistente a la fricción (alto coeficiente de fricción en mojado) en secciones de espesores variables a través de la vida útil del micro-superficie. La mezcla debe ser un sistema de rotura y tránsito rápido, significando que será capaz de aceptar tránsito después de un corto período de tiempo.

³ Lechadas asfálticas y micro pavimentos.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar y elaborar el micro pavimento con emulsión asfáltica modificada con polímero, para lograr mejorar los pavimentos existentes y en servicio, para alargar la vida útil de los mismos.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Diseñar el Micro pavimento con el agregado de Calagua.
- Caracterizar la emulsión asfáltica modificada con polímero a usarse con el agregado.
- Evaluar mediante ensayos de laboratorio el diseño de Micro pavimento.
- Presentar los resultados obtenidos de los diseños de Micro pavimento.
- Conocer la utilización del Micro pavimento como una nueva alternativa para el mantenimiento vial.

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

La economía de un país está basada en la movilidad de personas, bienes y servicios a lo largo y ancho del mismo durante las 24 horas del día, los 7 días de la semana y 365 días del año; por dicho motivo el sistema de carreteras debe estar en condiciones óptimas para tener un alto grado de conectividad y eficiencia, desarrollando una economía saludable y competitiva globalmente.

Según la FP Inc. (For Pavement Preservation) calcula que por cada 1,00 dólares invertidos en preservación de pavimentos, se ahorra entre 6,00 y 10,00 dólares o más en costos de rehabilitación o reconstrucción y su vez un 25% más de empleo.

Siendo el Micro pavimento, un tratamiento superficial rápido, de alto rendimiento que mejora las condiciones de tránsito y ayuda al mantenimiento de los pavimentos, indiscutiblemente la implementación de los éstos dentro del Distrito Metropolitano de Quito, y en general en el país, se verá reflejada en una mejor seguridad y eficiencia en el transporte, lo que da como resultado más y mejores beneficios sociales, económicos y ambientales.

Es de gran importancia la realización de esta investigación ya que la conservación de pavimentos y del medio ambiente, se define como actividades orientadas a brindar y a mantener las carreteras usando tratamientos de bajo costo para extender la vida útil del mismo, mejorando su desempeño y reduciendo las molestias para los usuarios.

1.5. METODOLOGÍA A DESARROLLAR

La metodología a desarrollar para el diseño de micro pavimento se basa en algunos aspectos básicos necesarios para su realización, como se expone a continuación en forma más simple y detallada.

- a)** Determinar las características físicas y mecánicas de los agregados realizando ensayos como: Granulometría, Valor de azul de metileno, Equivalente de arena, Prueba de abrasión de los ángeles, Peso unitario, aplicando sus respectivas normas.
- b)** Determinar las características y propiedades de las emulsiones asfálticas para el diseño: Viscosidad, Estabilidad y Asentamiento, Retenido en malla No 20, Carga de la partícula, Mezcla con cemento, PH, Residuo asfáltico, Ensayos al residuo Penetración, Ductilidad y Punto de reblandecimiento.
- c)** Obtenido el porcentaje óptimo de emulsión en la mezcla se realizan los ensayos de consistencia, tiempo de mezclado, cohesión, abrasión en húmedo, rueda cargada.
- d)** Finalmente se realizará un análisis económico de la mezcla modificada con polímero para evaluar el costo de producción en planta por metro cubico.

CAPÍTULO 2

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1. MICRO PAVIMENTO: USO E IMPORTANCIA

2.1.1. MICRO PAVIMENTO

El micro pavimento es un sistema de pavimentación superficial compuesto por la mezcla de una emulsión catiónica modificada con polímeros, agregados triturados, agua, relleno mineral y otros aditivos según sea necesario, apropiadamente proporcionados y esparcidos sobre una superficie preparada. El Micro pavimento es aplicado como tratamiento superficial que se lo coloca por capas delgadas que van entre los 10mm. e inclusive hasta los 50mm. de espesor, así como la recuperación de ahuellamientos tanto en vías por moderado o alto volumen de tránsito vehicular.

El objetivo de la utilización de polímeros en mezclas de Micro pavimentos es reducir la susceptibilidad del ligante a los cambios térmicos en la vía, permitiendo rendimientos más elevados que en Morteros Asfálticos. El micro pavimentos se pueden aplicar en espesores de una sola capa o multicapas, en proyectos de recuperación de ahuellamientos y repavimentación⁴.

La mezcla debe ser un sistema rápido al tránsito, lo que significa que debe ser capaz de aceptar el tránsito rodante después de un periodo corto de tiempo. La cantidad de tiempo varía de un proyecto a otro por lo que deben ser evaluados individualmente. Normalmente, estos sistemas han sido obligados a aceptar el tráfico rodante dentro de una hora después de la colocación de media (1/2) pulgada (12,7 mm) de espesor de superficie, a una temperatura de 24°C y 50% o menos de humedad⁵.

2.1.2. USO

Los usos más comunes del micro pavimento son como textura superficial, sellado y recuperación de ahuellamientos en pavimentos de concreto asfáltico. Algunos Estados han usado el micro pavimento con otros propósitos, como:

- Corrección de desprendimientos, pérdida de fricción superficial
- Micro capas de nivelación
- Capas intermedias
- Sellado, calafateado de grietas

⁴ Estructura del pavimento MOP-001-F-2002

⁵ Compendio de normas y procedimientos de micro pavimento – Insumos Viales S.A

- Recuperación y llenado de vacíos
- Reparación y bacheos de poca profundidad

No obstante el micro pavimento es usado principalmente en pavimentos asfálticos, en algunos Estados se ha usado sobre pavimentos rígidos de PCC (Portland Cement Concrete) y en puentes, para la restauración de propiedades antiderrapantes. Por lo menos un Estado ha usado el micro pavimento para la recuperación de ahuellamientos en pavimentos rígidos de PCC⁶.

2.1.3. IMPORTANCIA

El micro pavimento (micro surfacing) es una mezcla compuesta por emulsión asfáltica catiónica modificada con polímeros (tipo quick-setting), agregados pétreos 100 % triturados, finos minerales, agua y aditivos de control de ruptura en campo. Como material de finos se usa generalmente cemento portland tipo I; sin embargo muchos materiales inertes pueden usarse. La cal hidratada ha sido usada en algunos sistemas. El aditivo de control en campo se usa para ajustar el tiempo de rompimiento durante la aplicación.

El micro pavimento es básicamente un tipo de mortero asfáltico (slurry seal) con un ligante modificado con polímeros que requiere agregados de alta calidad. Aunque el mortero asfáltico puede ser colocado solo en espesores 1 ½ veces el tamaño mayor del agregado en la mezcla (debido al alto contenido de cemento asfáltico), el micro pavimento puede ser colocado en capas de mayor espesor, debido al incremento en la estabilidad de la mezcla. Comparado con el asfalto en caliente, que se trabaja solamente cuando está caliente y se endurece a medida que se enfría, el micro pavimento es mezclado y aplicado en temperatura ambiente. La emulsión rompe y se endurece a través de un proceso electroquímico y por la pérdida de agua del sistema. El micro pavimento es también llamado un sistema de mezcla en frío.

2.2. RESEÑA HISTORICA E IMPORTANCIA EN EL PAÍS

El Micro pavimento fue desarrollado en Europa a mediados de los años 70's, fue usado por primera vez en los Estados unidos en 1980 en Kansas. Desde entonces, ha sido usado en carreteras con moderado y alto tráfico en varios Estados. Cuando es diseñado y construido apropiadamente, el micro pavimento ha mostrado resultados prometedores de 4 – 7 años como vida de servicio. Ya que el micro pavimento se adhiere bien con la superficie existente, puede ser perfilado sin desintegración de bordes y puede generalmente ser abierto al tráfico dentro de una hora después de su aplicación, es particularmente apropiado para carreteras de alto volumen y áreas urbanas.

⁶ Condiciones para prácticas de diseño, construcción y rendimientos de micro pavimentos.

Considerando el potencial del micro pavimento, su uso ha sido de alguna manera restringido debido a varios factores. Estos incluyen contratistas con falta de experiencia, falta de calidad de agregados en muchas partes del país, inhabilidad de contratistas (en algunos casos) de obtener agregados con la granulometría requerida debido a la baja demanda, rechazo de usuarios a aplicar nuevas tecnologías e información faltante o incompleta en esta tecnología. Desde el punto de vista de la Ingeniería, los procedimientos de diseño de micro pavimentos no han sido aún estandarizados. La industria del mortero asfáltico y micro pavimento (slurry seal y micro surfacing) está consciente de esto, actualmente está dando pasos para mejorar y estandarizar los procedimientos y pruebas de diseños de mezcla y ajustar los diseños estándar para reflejar mejor los efectos en la amplia variación de los materiales.

Tecnologías como el micro pavimento, ofrecen soluciones con efectividad en costos y mejoran ante todo el rendimiento del pavimento. Este documento es una revisión comprensiva de terminologías, diseño, construcción, costo y desempeño del micro pavimento. La recopilación de información asistirá a gerentes y diseñadores ofreciendo una opción adicional, al seleccionar el tipo de técnica para la rehabilitación de superficies, que cumplan tanto como con el presupuesto así como con los criterios de rendimiento en proyectos.

2.3. DIFERENCIA ENTRE MICRO PAVIMENTO Y SLURRY SEAL

Los morteros asfálticos (Slurry Seal) y los Micro pavimentos que si bien es cierto corresponden a la aplicación de emulsiones asfálticas en frío y utilizados para el mantenimiento y conservación de pavimentos de asfalto o pavimentos flexibles se los debe diferenciar claramente para evitar cualquier tipo de confusión.

La ISSA (International Slurry Surfacing Association) define los morteros como una mezcla de agregados (incluyendo el filler), emulsión asfáltica de rotura lenta, agua y aditivo, la que es distribuida uniformemente sobre la superficie de un pavimento existente en espesores que van desde los 3 a 10mm. Por otra parte, la ISSA define los Micro pavimentos como un tipo más avanzado o superior de lechada asfáltica de mayor estabilidad, capaz de alcanzar espesores variables de hasta 50mm. los mismos que son distribuidos en capas.

2.4. TIPOS DE MICRO PAVIMENTOS

Sabiendo que el Micro pavimento es un mortero asfáltico de alto rendimiento, se tiene una clasificación de tres tipos de morteros de acuerdo al tamaño del agregado según la ISSA (International Slurry Surfacing Association).

Tipo I: Se aplica en áreas de bajo tráfico, donde el objetivo principal es el óptimo sellado de la superficie. También se puede aplicar como tratamiento previo a un recabado asfáltico o sello de agregados.

Tipo II: Es el tipo de lechada más usado, protege la superficie subyacente del envejecimiento y daño por efecto del agua, y mejora la fricción superficial. Además puede corregir desintegración de la superficie. Se usa principalmente en pavimentos que soportan tráfico moderado.

Tipo III: Este tipo de lechada se usa para conseguir altas tasas de aplicación y elevados valores de fricción superficial. Se aplica en vías con elevados niveles de tráfico.

Sin embargo cabe recalcar, que **para el diseño de Micro pavimentos, los tipos usados son el Tipo II y Tipo III**⁷.

| Tipo | Ubicación | Rango de Aplicación Propuesto |
|-------------|---|--|
| II | Calles urbanas y residenciales Pistas de Aeropuertos | (5,4 – 10,8 kg/m ²) |
| III | Vías Primarias e Interprovinciales Ahuellamientos | (8,1 – 16,3 kg/m ²) Según sea requerido |

Tabla 2. 1: Tipos de Micro pavimentos y capacidad de carga

Fuente: Norma ISSA A-143

2.5. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

2.5.1. AGREGADOS

Los agregados (excluyendo los finos minerales) constituyen entre el 82 y el 90 % del peso de Micro pavimentos, estos deben estar triturados, limpios, duros y libres de químicos, u arcillas y otras materias que puedan afectar su adherencia mezclado y colocación. La tabla siguiente muestra las recomendaciones establecidas por la ISSA A- 143

⁷ ISSA A- 143

| TIPO DE GRADUACION | TIPO II | TIPO III |
|--|----------------------------|----------------------------|
| TAMAÑO DE MALLA | PORCENTAJE QUE PASA | PORCENTAJE QUE PASA |
| 9.5 mm. (3/8") | 100 | 100 |
| 4.75 mm. (N° 4) | 90-100 | 70-90 |
| 2.36 mm. (N° 8) | 65-90 | 45-70 |
| 1.18 mm. (N° 16) | 45-70 | 28-50 |
| 600 μm. (N° 30) | 30-50 | 19-34 |
| 300 μm. (N° 50) | 18-30 | 12-25 |
| 150 μm. (N° 100) | 10-21 | 7-18 |
| 75 μm. (N° 200) | 5-15 | 5-15 |
| Asfalto residual con base al % del peso seco del agregado | 5.5-9.5 | 5.5-9.5 |
| Tasa de aplicación (Kg/m ²), Base peso seco agregado | 5.4-9.1 | 8.2-13.6 |

Tabla 2. 2: Granulometría para mezclas de micro pavimento

Fuente: Norma ISSA A - 143

El agregado debe ser limpio, anguloso, durable, bien graduado, y uniforme. Debe emplearse material de trituración en un 100%.

Los requisitos mínimos para un agregado o mezcla de agregados son:

- **Equivalente de arena**, ASTM D 24198 (AASHTO T 176) >65
- **Perdida en la Prueba los Ángeles** ASTM C 131 (AASHTO T 96)

= 30 % máximo

- **Azul de Metileno** ISSA TB 145 < 10

Este ensayo a través de los valores de reactividad de los finos del agregado nos determina las características del emulsificante químico a utilizar en el diseño de la emulsión asfáltica y porcentaje de aditivo retardador.

2.5.2. FILLER

De acuerdo a la norma ASTM D 546 – AASHTO T37, se pueden utilizar indistintamente como relleno mineral: cemento Portland Tipo I, cal hidratada, polvo de piedra caliza o ceniza volcánica, con un porcentaje máximo del 2 %. La adición de este relleno mineral tiene como finalidad

incrementar las propiedades de manejabilidad en la mezcla, así como, mejorar la parte fina de la curva granulométrica de los agregados, influyendo en el comportamiento a la ruptura y curado del mortero asfáltico.

Los finos minerales cumplen dos propósitos principales:

- a) Minimizar la segregación de los agregados y
- b) Incrementar o reducir el sistema con el cual la mezcla alcanza su rompimiento y su deposición.

Para la mayoría de los agregados, los finos minerales acortan el tiempo de rompimiento. El cemento portland y la cal hidratada han sido usadas como finos minerales para micro pavimentos. Los finos minerales, típicamente incrementan la rigidez del residuo asfáltico. Para la mayoría de agregados, los finos minerales son requeridos para que la mezcla obtenga una deposición apropiada.

Los finos minerales son normalmente aceptados por laboratorios de diseño de mezclas, sobre la base de la certificación de los proveedores y no se realizan pruebas de calidad adicionales. Muchos laboratorios almacenan los finos minerales que usarán en sus diseños. Algunas veces el constructor suministra una muestra del fino mineral, si la fuente no es conocida por el laboratorio de diseño. El análisis del tamizado de los finos minerales se realiza bajo las normas AASHTO T37 (ASTM D546)⁸.

2.5.3. POLÍMERO

La adición de polímeros mejora las propiedades de cohesión y adhesión, incrementa la rigidez y reduce la susceptibilidad al cambio de temperatura. El incremento de la rigidez evita la formación de ahuellamientos en climas cálidos y permite el uso de cementos asfálticos más blandos, mismos que se comportan de mejor manera en climas fríos.

Los polímeros pueden ser agregados durante la preparación de la solución jabonosa o pueden ser mezclados con el cemento asfáltico en la planta de emulsión, antes del proceso de emulsificación. La cantidad mínima y el tipo del polímero modificador deberá ser determinada por el laboratorio responsable del diseño de mezcla. La cantidad de polímeros sólidos deberá basarse en el contenido del residuo asfáltico en peso; para mezclas de micro pavimentos se especifica esta cantidad en un porcentaje del 3 al 4%.

Los polímeros utilizados en morteros asfálticos son los mismos que se aplican en otras mezclas asfálticas. El látex natural generalmente es el más común, pudiéndose utilizar también otros como:

⁸ Condiciones para prácticas de diseño, construcción y rendimiento de Micro pavimentos.

SBR (Styrene-Butadiene-Rubber), SBS (Styrene-Butadiene- Styrene) y EVA (Ethylene-Vinil-Acetate).

La cantidad y conveniencia (compatibilidad) de los polímeros es actualmente determinada por pruebas de viscosidad y punto de ablandamiento en los cementos asfálticos. Si un polímero no contribuye a mejorar el comportamiento característico de la mezcla, esto rápidamente resultara evidente en las pruebas de mezcla y residuo asfáltico.

2.5.4. EMULSIÓN

Emulsiones catiónicas modificadas con polímeros son comúnmente usadas en las mezclas de micro pavimentos en los Estados Unidos. El contenido de asfalto residual en los micro pavimentos, generalmente varía de 5.5 - 9.5 % por el peso seco del agregado (ver tabla 1).

Las propiedades de la emulsión asfáltica dependen grandemente de un producto químico denominado **emulsificante**. El emulsificante determina que la emulsión pueda ser clasificada como catiónica, aniónica o no-iónica. El emulsificante mantiene las partículas de asfalto en suspensión, estable y permite el rompimiento (ejemplo: la reversión a cemento asfáltico) en el tiempo apropiado. A medida que se incrementa el emulsificante, aumenta el tiempo de rompimiento.

Muchos emulsificantes están disponibles en el mercado. Cada emulsificante debe ser evaluado y seleccionado para determinar su compatibilidad con el cemento asfáltico a emulsionar. La mayoría de los emulsificantes catiónicos son grasas aminas (por ejemplo: diaminas, imidazolin, amidoaminas, etc.). Las aminas son convertidas en jabón por la reacción con un ácido, usualmente ácido clorhídrico.

Otros tipos de emulsificantes (ejemplo: grasas y sales cuaternarias de amonio) usados para producir emulsiones catiónicas, no requieren la adición de ácidos para hacerlas solubles en agua. Cada productor de emulsificante tiene su propio procedimiento para usar su emulsificante en la producción de emulsiones asfálticas. Generalmente, el agente emulsificante se mezcla con agua antes de su introducción en el molino coloidal en la planta de producción. Las especificaciones actuales no contemplan ninguna prueba para el emulsificante.

Para el micro pavimento, los proveedores de emulsión adquieren cemento asfáltico que cubre las especificaciones HMA para aplicaciones en caliente. Los productores de cemento asfáltico típicamente efectúan pruebas en el asfalto para determinar características de ductilidad, viscosidad, penetración y pérdida por película delgada en horno, para cumplir con las especificaciones Estatales de los grados específicos de asfalto.

Pruebas

Los productores de emulsión realizan una serie de pruebas estándar a las emulsiones y al asfalto residual, para determinar su viabilidad de uso en micro pavimentos y asegurarse de cumplir con las especificaciones Estatales. Algunas de las pruebas comúnmente usadas son:

Pruebas a las emulsiones asfálticas

- Viscosidad Saybolt Furol a 25° C, seg. AASHTO T50 ASTM D244
- Pruebas de sedimentación AASHTO T59 ASTM D244
- Prueba del tamiz AASHTO T59 ASTM D244
- Carga de partícula AASHTO T59 ASTM D244
- Prueba del pH ISSA

Pruebas al residuo por evaporación

- Penetración, a 25° C AASHTO T49 ASTM D2397
- Punto de ablandamiento AASHTO T49 ASTM D36
- Ductilidad a 25° C, ASTM D113

Emulsión Asfáltica

La emulsión asfáltica se define como la dispersión de micro partículas de asfalto dentro de una matriz acuosa estabilizada químicamente, la cual es utilizada básicamente para la producción de mezclas asfálticas en frío (mezclas abiertas, micro aglomerado [mezclas densas], reciclados, estabilizaciones, etc.) y como ligante emulsionado en riegos.

La emulsión asfáltica a utilizar debe obedecer a un diseño previo, de acuerdo a las características de los agregados, mezcla, tipo de aplicación, condiciones ambientales y climatológicas.

Las emulsiones asfálticas recomendadas para morteros asfálticos son normalmente del tipo CSS-1, CSS-1h (emulsión catiónica de ruptura lenta) y CQS-1h (emulsión catiónica de ruptura rápida para mezclas); las cuales deberán ser especialmente ensayadas para verificar la compatibilidad y reactividad con los agregados y deberán ser suministradas con el correspondiente certificado de análisis y producción de acuerdo al diseño solicitado.

2.5.5. AGUA

El agua es el medio utilizado para las mezclas de micro pavimentos. Es el principal factor en la determinación de la consistencia en la mezcla. Es introducida en las mezclas, de tres maneras: como la humedad contenida en los agregados, como el agua de mezclado y como uno de los dos constituyentes mayores presentes en la emulsión asfáltica. Cualquier agua potable puede ser usada en micro pavimentos, por lo que normalmente la calidad no es tan importante como la cantidad.

Dependiendo de la condición del agua y del porcentaje de absorción en los agregados, buenas mezclas para micro pavimentos pueden ubicarse en un rango limitado como *contenido total de humedad*, típicamente del 4 – 12 % respecto al peso seco del agregado. Cantidades menores de agua son usadas en climas fríos y mayores durante climas calientes. Las mezclas con muy bajo contenido de humedad, son muy difíciles de esparcir y resultara con una muy baja adhesión al pavimento existente. Por otra parte, las mezclas que contienen más del 12 % de agua, pueden ser demasiado fluidas segregando la mezcla, como se evidencia al asentarse el agregado dejando en suspensión al ligante emulsionado.

CAPITULO 3

3. CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS

El primer paso en el diseño de una mezcla para Micro pavimento, es la selección y ensayos de los componentes de la mezcla como son los agregados, filler, emulsión, agua.

La mayoría de las pruebas a los componentes de la mezcla son las establecidas por las normas AASHTO, ASTM e ISSA, las cuales describen cada uno de los ensayos de los materiales para el diseño de Micro pavimento.

Los agregados (excluyendo los finos minerales) constituyen entre el 82 y el 90 % del peso del Micro pavimento, estos deben estar triturados, limpios, duros y libres de químicos, u arcillas y otras materias que puedan afectar su adherencia mezclado y colocación.

Los ensayos que se deben realizar a los agregados son los siguientes que se describen en este capítulo basados en las normas ya mencionadas.

3.1.MUESTREO DE LOS MATERIALES, NORMA ASTM D-75/AASHTO T-2

3.1.1. DESCRIPCIÓN

El muestreo de los agregados es tan importante como los ensayos mismos, por tanto para el muestreo se deberán tomar todas las precauciones del caso para que podamos contar con muestras que indique la naturaleza y condiciones del material que representan.

3.1.2. EQUIPO Y MATERIALES

1. Palas.
2. Sacos o lonas, para su colocación y transporte.

3.1.3. PROCEDIMIENTO

1. Donde se fabrique el material debe ser inspeccionado para determinar variaciones perceptibles, el muestreo debe ser realizado y obtenido del producto final, las muestras del producto final que serán probadas por pérdida a la abrasión, no deberán ser sometidas a aplastamiento o reducción manual del tamaño de las partículas en la preparación para la prueba de abrasión.



Fotografía 3. 1: Muestreo desde la banda transportadora

2. La selección de unidades se la realiza con un método al azar, desde la producción. Obteniendo al menos tres incrementos aproximadamente iguales, se selecciona al azar desde la unidad muestreada, y combina para formar una muestra de campo cuyas masas sean iguales o excedan al mínimo recomendado. Toda la mezcla incluyendo finos y polvo, debe ser removida al recipiente.



Fotografía 3. 2: Selección del agregado

3. Para tomar las muestras de la pila de agregado grueso, es necesario tomar tres incrementos, de la parte superior de la pila, del punto medio, y del fondo de la pila. En caso de tomarse muestras de agregado fino es necesario tomar la muestra que se encuentra bajo el material segregado.



Fotografía 3. 3: Toma de muestra del agregado de la pila de acopio

3.2. GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS, NORMA AASHTO T 27/ASTM C-136 Y AASHTO T11/ASTM C-117

3.2.1. DESCRIPCIÓN

La gradación es importante para la determinación del tipo de faja que se va a usar para el diseño de micro-pavimento, deberá estar dentro de los rangos de acuerdo al tipo de micro pavimento deseado, y una vez tamizado, el porcentaje de cada tamiz no debe variar más del rango de tolerancia.

Este método de ensayo, determina la distribución del tamaño de las partículas de los agregados grueso y finos mediante la tamización, de acuerdo con las especificaciones de la ISSA tenemos dos tipos de fajas para el diseño de micro-pavimento, que lo determinamos a continuación en la tabla 3.1.

| SIEVE SIZE | TYPE II PERCENT PASSING | TYPE III PERCENT PASSING | STOCKPILE TOLERANCE |
|----------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|
| 3/8 (9.5 mm) | 100 | 100 | |
| # 4 (4.75 mm) | 90 - 100 | 70 - 90 | ± 5% |
| # 8 (2.36 mm) | 65 - 90 | 45 - 70 | ± 5% |
| # 16 (1.18 mm) | 45 - 70 | 28 - 50 | ± 5% |
| # 30 (600 um) | 30 - 50 | 19 - 34 | ± 5% |
| # 50 (330 um) | 18 - 30 | 12 - 25 | ± 4% |
| #100 (150 um) | 10 - 21 | 7 - 18 | ± 3% |
| #200 (75 um) | 5 - 15 | 5 - 15 | ± 2% |

Tabla 3. 1: Tipos de fajas para el diseño de micro-pavimentos

Fuente: Norma ISSA A-143

Recomendaciones para el diseño de micro-pavimentos respecto a la faja correspondiente.

- **Tipo II:** Es el tipo de lechada más usado, protege la superficie subyacente del envejecimiento y daño por efecto del agua, y mejora la fricción superficial. Además puede corregir desintegración de la superficie. Se usa principalmente en pavimentos que soportan tráfico moderado.
- **Tipo III:** Este tipo de lechada se usa para conseguir altas tasas de aplicación y elevados valores de fricción superficial. Se aplica en vías con elevados niveles de tráfico.

3.2.2. EQUIPO Y MATERIALES

1. Balanza de 2000gr de capacidad y 0.1gr de sensibilidad.

2. Serie de tamices, especificado en la tabla 3.1.
3. Horno, con temperatura constante de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

3.2.3. PROCEDIMIENTO

1. Para el procedimiento de este ensayo se debe primero obtener la muestra por medio de cuarteo, previo a esto el agregado debe estar completamente mezclado y tener la suficiente humedad para evitar la segregación y pérdida de finos, para así poder lograr una muestra representativa para el ensayo.
2. No es preciso seleccionar la muestra a una masa exacta para el procedimiento del ensayo.
3. Para la determinación de la granulometría se realiza en seco y lavado.

3.1. Granulometría seca

- 3.1.1. Secar la muestra de 1000gr para mantener la masa constante a una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- 3.1.2. Seleccionar la serie de tamices con las aberturas convenientes indicado en la tabla 3.1 para proporcionar la información necesaria para cubrir las especificaciones del material que se está ensayando.
- 3.1.3. La serie de tamices seleccionados se encajan en orden descendente por los tamaños de aberturas.



Fotografía 3. 4: Serie de tamices de acuerdo con la tabla 3.1

- 3.1.4. La muestra se coloca sobre la parte superior del tamiz, se agitan los tamices durante un periodo adecuado.
- 3.1.5. Limitar la cantidad del material colocado para que todas las partículas tengan la oportunidad para alcanzar las aberturas del tamiz un número de veces durante la operación de tamizado.
- 3.1.6. Se determina la cantidad de masa de la muestra retenida en cada tamiz.
- 3.1.7. Terminado el tamizado, la masa total del material debe ser muy próxima a la masa de la muestra original colocada sobre los tamices, si difieren en más de 0.3%, los resultados no podrán ser utilizados para fines de aceptación del ensayo.



Fotografía 3. 5: Masa total después del tamizado

3.1.8. Finalmente se deberá calcular el porcentaje que pasa, o el porcentaje total retenido, o el porcentaje en los tamaños de fracciones, aproximándolo al 0.1% más cercano en base a la masa total de la muestra inicial.

3.2. *Granulometría Lavada*

3.2.1. Esta granulometría se realiza lavando el material sobre el tamiz No, 200 con agua potable para que eliminen todas las impurezas existentes en la muestra.

3.2.2. Colocar la muestra lavada al horno a una temperatura constante de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$, hasta obtener una masa constante.

3.2.3. Finalmente se sigue el mismo procedimiento realizado para la granulometría seca, a partir del numeral 3.1.2.

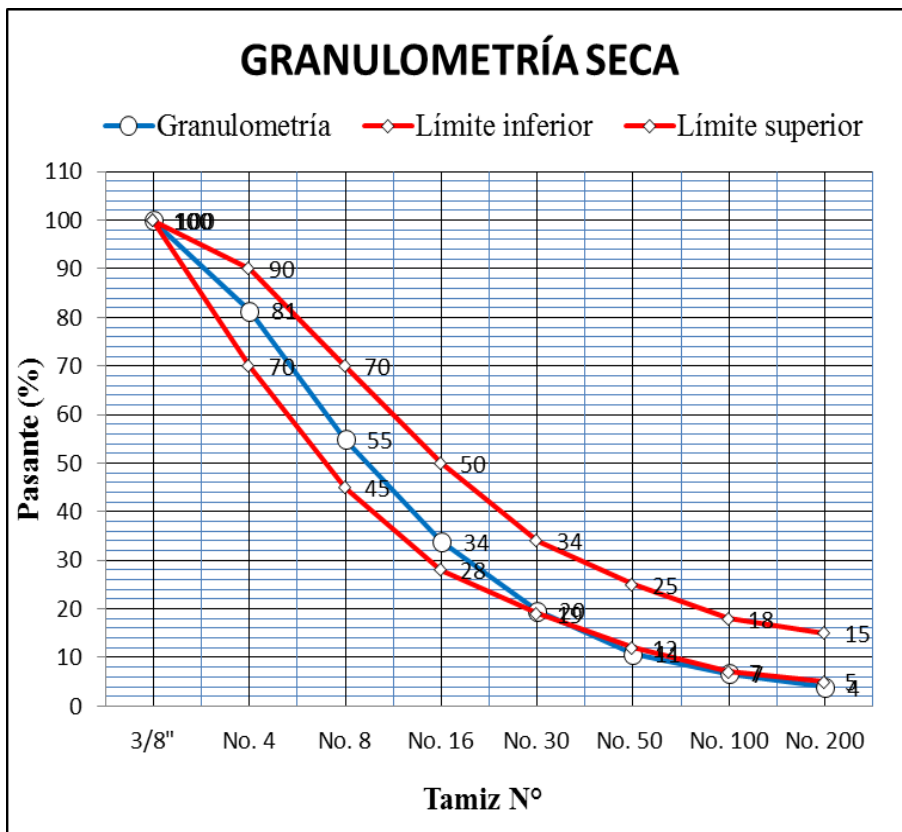
3.2.4. RESULTADOS DEL ENSAYO

CANTERA: CALAGUA

GRANULOMETRÍA SECA

Po = 800gr

| TAMIZ | PESO RET. | ACUMULADO | QUE PASA | ESPECIFICADO |
|-------------|-----------|-----------|----------|--------------|
| | ACUMULADO | (%) | (%) | (%) |
| 3/8" | 0 | 0 | 100 | 100 |
| No. 4 | 149 | 19 | 81 | 70 - 90 |
| No. 8 | 361 | 45 | 55 | 45 - 70 |
| No. 16 | 529 | 66 | 34 | 28 - 50 |
| No. 30 | 643 | 80 | 20 | 19 - 34 |
| No. 50 | 714 | 89 | 11 | 12 - 25 |
| No. 100 | 747 | 93 | 7 | 7 - 18 |
| No. 200 | 769 | 96 | 4 | 5 - 15 |
| Pasa No.200 | 31 | | | |



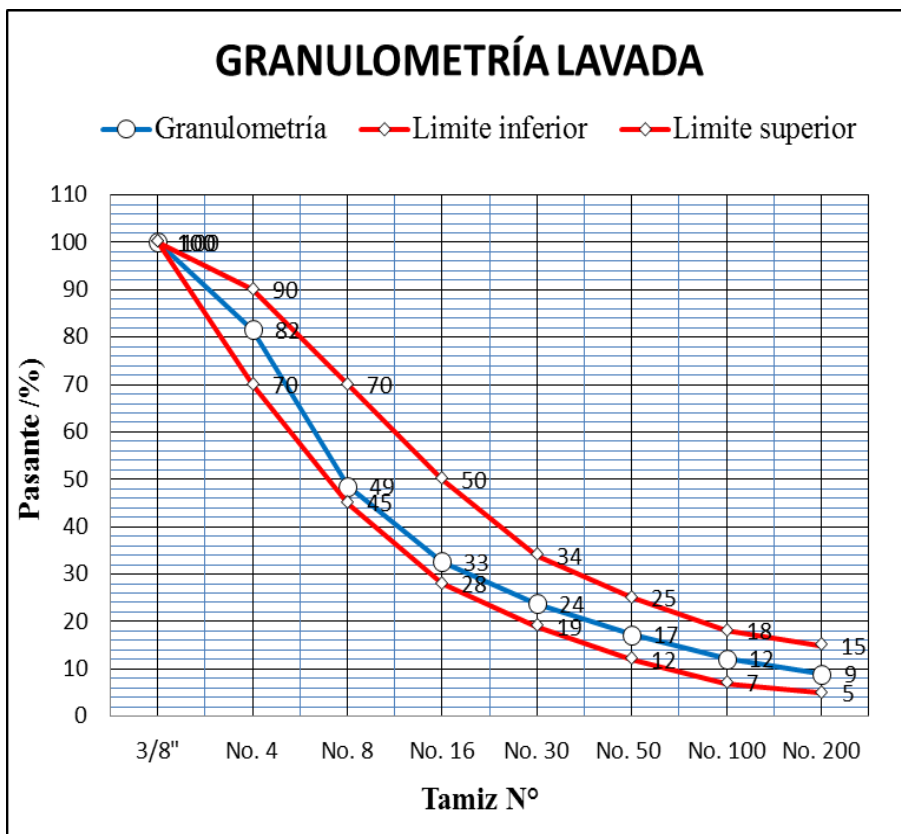
NOTA: Para nuestro diseño utilizamos la faja III que cumple con las especificaciones de la tabla 3.1.

CANTERA: CALAGUA

GRANULOMETRÍA LAVADA

Po = 500gr

| TAMIZ | PESO RET. | ACUMULADO | QUE PASA | ESPECIFICADO |
|-------------|-----------|-----------|----------|--------------|
| | ACUMULADO | (%) | (%) | (%) |
| 3/8" | 0 | 0 | 100 | 100 |
| No. 4 | 92 | 18 | 82 | 70 - 90 |
| No. 8 | 257 | 51 | 49 | 45 - 70 |
| No. 16 | 337 | 67 | 33 | 28 - 50 |
| No. 30 | 381 | 76 | 24 | 19 - 34 |
| No. 50 | 414 | 83 | 17 | 12 - 25 |
| No. 100 | 439 | 88 | 12 | 7 - 18 |
| No. 200 | 455 | 91 | 9 | 5 - 15 |
| Pasa No.200 | 45 | | | |



NOTA: Para nuestro diseño utilizamos la faja III que cumple con las especificaciones de la tabla 3.1.

3.3. PESO UNITARIO, NORMA ASTM C-29/AASHTO T-29

3.3.1. DESCRIPCIÓN

Para la elaboración de este ensayo, se basa en determinar el peso unitario de los agregados finos, gruesos, así también como la mezcla de los dos.

El peso unitario del agregado seleccionado se lo realiza tanto suelto, como compactado. El peso unitario básicamente está determinado por la propiedad que corresponde masa por unidad de volumen.

3.3.2. EQUIPO Y MATERIALES

1. Balanza, de 2000gr de capacidad y 0.1gr de sensibilidad.
2. Varilla compactadora de acero cilíndrica de 16mm de diámetro y longitud de 600mm.
3. Recipiente cilíndrico metálico de volumen conocido.
4. Cuchara para llenar el recipiente.

3.3.3. PROCEDIMIENTO

1. *Peso unitario del agregado suelto.*

- 1.1. Se pesa aproximadamente unos 4000gr de agregado.



Fotografía 3. 6: Peso del agregado para el ensayo

- 1.2. El agregado seleccionado se colocara en el recipiente en tres capas de igual volumen aproximadamente hasta llenarlo.



Fotografía 3. 7: Agregado seleccionado y molde para el ensayo

- 1.3. Terminado la última capa de llenado se enrasa el recipiente con la misma varilla para determinar su masa.



Fotografía 3. 8: Enrasado de la última capa

- 1.4. Finalmente se repite el procedimiento a partir del numeral 1.2, cuantas veces sea necesario hasta alcanzar masas similares y determinar su promedio.

2. *Peso unitario del agregado compactado.*

- 2.1. Se pesa aproximadamente unos 4000gr de agregado.

2.2. El agregado seleccionado se colocara en el recipiente en tres capas de igual volumen aproximadamente hasta llenarlo.

2.3. Cada capa colocada de agregado sobre el recipiente debe ser apisonada uniformemente distribuida sobre la superficie hasta completar los 25 golpes, con la varilla.



Fotografía 3. 9: Apisonamiento de la muestra

2.4. Terminado la última capa de compactar se enrasa el recipiente con la misma varilla para determinar su masa.

2.5. Finalmente se repite el procedimiento a partir del numeral 2.2, cuantas veces sea necesario hasta alcanzar masas similares y determinar su promedio.

3.3.4. RESULTADOS DEL ENSAYO

Dónde:

V = volumen del recipiente en cm^3

P1, P2, P3 = Masa de la muestra en gr

P = Promedio = $(P1+P2+P3)/3$

Pu = Peso unitario = P/V (gr/cm^3)

Peso de muestra = 4000gr

PESO UNITARIO SUELTO

| CANTERA | V | P1 | P2 | P3 | P | Pu |
|----------------|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------------------|
| | (cm³) | (gr) | (gr) | (gr) | (gr) | (gr/cm³) |
| CALAGUA | 2118 | 3252 | 3252 | 3265 | 3256 | 1,54 |

PESO UNITARIO COMPACTADO

| CANTERA | V | P1 | P2 | P3 | P | Pu |
|----------------|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------------------|
| | (cm³) | (gr) | (gr) | (gr) | (gr) | (gr/cm³) |
| CALAGUA | 2118 | 3525 | 3532 | 3533 | 3530 | 1,67 |

3.4. ABRASIÓN (MAQUINA DE LOS ANGELES) NORMA, ASTM C-131/AASHTO T-96

3.4.1. DESCRIPCIÓN

El método se emplea para determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados, empleando la citada máquina con una carga abrasiva.

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.

Esta norma se refiere a un procedimiento para ensayar agregados pétreos gruesos de tamaño inferior a 37,5mm, a la resistencia a la abrasión, empleando la máquina de ensayo de los Ángeles.

3.4.2. EQUIPO Y MATERIALES

1. Máquina de desgaste de los Ángeles.
2. Carga abrasiva que son esferas de acero, de 46.8 a 47.63 mm de diámetro de peso equivalente entre 390 a 445 gr.

La carga abrasiva dependerá de la granulometría de ensayo, A, B, C, o D, como se indica en la tabla 3.1.

| GRANULOMETRÍA DE ENSAYO | NÚMERO DE ESFERAS | MASA TOTAL (gr) |
|-------------------------|-------------------|-----------------|
| A | 12 | 5000 ± 25 |
| B | 11 | 4584 ± 25 |
| C | 8 | 3330 ± 25 |
| D | 6 | 2500 ± 25 |

Tabla 3. 2: Carga Abrasiva

Fuente: Manual de laboratorio ensayos para pavimentos

3. Horno, con temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
4. Balanza de 1gr de sensibilidad.
5. Un tamiz N°12 para el cálculo de desgaste.

3.4.3. PROCEDIMIENTO

1. La cantidad de material a ensayar y el número de esferas a incluir dependen de la granulometría del agregado grueso. En las Tablas 3.3, se muestra el método a emplear; así como la cantidad

de material, número de esferas, número de revoluciones y tiempo de rotación, para cada uno de ellos. La gradación que se use deberá ser representativa de la gradación original del material suministrado para la obra.

| METODO | | A | B | C | D |
|------------------------------|-------------------|-------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| DIÁMETRO | | CANTIDAD DE MATERIAL A EMPLEAR (gr) | | | |
| Pasa el tamiz | Retenido en tamiz | | | | |
| 1 ½" | 1" | 1 250±25 | | | |
| 1" | ¾" | 1 250±25 | | | |
| ¾" | ½" | 1 250±10 | 2 500±10 | | |
| ½" | 3/8" | 1 250±10 | 2 500±10 | | |
| 3/8" | ¼" | | | 2 500±10 | |
| ¼" | Nº4 | | | 2 500±10 | |
| Nº4 | Nº8 | | | | 5 000±10 |
| PESO TOTAL | | 5 000±10 | 5 000±10 | 5 000±10 | 5 000±10 |
| Nº de esferas | | 12 | 11 | 8 | 6 |
| Nº de revoluciones | | 500 | 500 | 500 | 500 |
| Tiempo de rotación (minutos) | | 15 | 15 | 15 | 15 |

Tabla 3. 3: Granulometría, peso de agregado y número de esferas

Fuente: Manual de laboratorio ensayos para pavimentos

- El material deberá ser lavado y secado en horno a una temperatura constante de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$, tamizadas según la malla que se indica y mezclarla en las cantidades del método al que corresponde, según la tabla 3.3.
- La apariencia de nuestro agregado en función del material que contiene se selecciona la gradación más parecida de acuerdo la tabla 3.3, que en este caso se encuentra dentro de la faja C, que la una mitad del agregado pasa el tamiz de 3/8" y retenido en el 1/4", y la otra mitad pasa el tamiz de 1/4" y retenido en el Nº4.
- Se registra la masa de la muestra total, aproximadamente a 1gr. Las muestras de las diferentes fracciones se unen para formar la muestra correspondiente para el ensayo.
- Luego de comprobar que el tambor este limpio, se introduce la muestra con la carga abrasiva correspondiente en la Máquina de los Ángeles, cerrar la abertura del cilindro con su tapa, ésta tapa posee empaquetadura que impide la salida de polvo fijada por medio de pernos.



Fotografía 3. 10: Agregado y carga abrasiva

6. Accionar la máquina, regulándose el número de revoluciones adecuado y hacer girar el cilindro a una velocidad comprendida entre 188 y 208 rad/minuto (30 y 33 r.p.m.), hasta completar 500 revoluciones. La máquina deberá girar de manera uniforme para mantener una velocidad periférica prácticamente constante.



Fotografía 3. 11: Agregado ensayado

7. Finalmente cumplido el número de vueltas prescrito, se descarga el material del cilindro y se procede a tamizar la muestra ensayada por el tamiz N°12 y se determina su masa con precisión de 1gr.

3.4.4. RESULTADOS DEL ENSAYO

El resultado del ensayo se expresa en porcentaje de desgaste, calculándose como la diferencia entre el peso inicial y final de la muestra de ensayo con respecto al peso inicial.

$$\% \text{ Abrasión} = \frac{P1-P2}{P1} * 100$$

Dónde:

P1 = Masa de la muestra seca antes del ensayo.

P2 = Masa de la muestra seca después del ensayo, retenido en el tamiz N°12.

| CANTERA | P1 | P2 | P1 - P2 | ABRASIÓN | ESPECIFICACIÓN |
|---------|------|------|---------|----------|----------------|
| | (gr) | (gr) | (gr) | (%) | MÁXIMA (%) |
| CALAGUA | 5000 | 3975 | 1025 | 20,5 | 30 |

NOTA: El agregado cumple con lo especificado para el diseño de micro-pavimento ya que su desgaste es de 20.5%.

3.5. GRAVEDAD ESPECÍFICA, NORMA ASTM C-128/AASHTO T-84

3.5.1. DESCRIPCIÓN

Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para la determinación de gravedades específicas bulk y aparente a $23 \pm 0.1^\circ\text{C}$, así como la absorción de agregados finos.

La densidad relativa (gravedad específica), es generalmente utilizada para el cálculo del volumen ocupado por el agregado en varias mezclas incluido el concreto con cemento Portland, cemento asfáltico, y otro tipo de mezclas cuyas proporciones son analizadas en base a su volumen absoluto.

3.5.2. EQUIPO Y MATERIALES

Para agregado fino

1. Balanza de 2000gr de capacidad y 0.1gr de sensibilidad.
2. Picnómetro en el que se puede introducir fácilmente la muestra de agregado fino y capaz de apreciar volúmenes con una exactitud de $\pm 0.1 \text{ cm}^3$. Su capacidad hasta el enrase será, como mínimo, un 50 por ciento mayor que el volumen ocupado por la muestra.
3. Molde cónico metálico, construido con una chapa de 0.8 mm de espesor como mínimo, y de $40 \pm 3 \text{ mm}$ de diámetro interior en su base menor, $90 \pm 3 \text{ mm}$ de diámetro interior en una base mayor y $75 \pm 3 \text{ mm}$ de altura.
4. Pisón, varilla metálica recta, con una masa de $340 \pm 15 \text{ g}$ y terminada por uno de sus extremos en una superficie circular plana para el apisonado, de $25 \pm 3 \text{ mm}$ de diámetro.



Fotografía 3. 12: Molde cónico y pisón

Para agregado grueso

1. Balanza de 2000gr de capacidad y 0.1gr de sensibilidad. La balanza debe estar equipada con un sistema que permita suspender el recipiente con la muestra y determinar su masa dentro de agua.
2. Canastillas metálicas como recipientes para las muestras pesadas sumergidas, de aproximadamente igual base y altura, fabricadas con armazón de suficiente rigidez y paredes de tela metálica con malla de 3.35 mm (N° 6).
3. Tanque de agua que permita que la muestra y su soporte queden totalmente inmersos y suspendidos debajo de la balanza, equipado con un flotador externo para mantener constante el nivel del agua.
4. Dispositivo de suspensión se utilizará cualquier dispositivo que permita suspender las canastillas de la balanza, una vez sumergidas. Debe ser del menor tamaño posible para minimizar los efectos de una profundidad de inmersión variable.

3.5.3. PROCEDIMIENTO

Agregado fino

Preparación de la Muestra:

1. Se toma aproximadamente 1000gr de muestra, secar el espécimen de prueba a 110 ± 5 °C y una vez que se encuentre con peso constante dejar enfriar.
2. Cubrir con agua ya sea por inmersión o por adición de 6% de humedad en el agregado fino y perdurar por $24 \text{ h} \pm 4\text{h}$.
3. Decantar el exceso de agua con cuidado de perder finos, y esparcir la muestra sobre una superficie plana, no absorbente y someterla a la acción de una corriente suave de aire caliente. Mezcle para que el secado se homogéneo hasta que las partículas de agregado fino no se adhieran entre sí y el espécimen haya alcanzado la condición de saturada superficie seca. Si la muestra se ha seco demasiado, saturar durante 30 minutos y repetir el ensayo.



Fotografía 3. 13: Secado de la muestra al aire libre

Ensayo de condición saturada y superficialmente seca:

1. Se observa si la muestra se aproxima a esta condición, se debe sujetar el molde cónico firmemente sobre una superficie lisa y no absorbente con el diámetro mayor hacia abajo.
2. Colocar una porción de agregado fino parcialmente en tres capas, suavemente apisona el agregado fino dentro del molde con 25 suaves caídas del pistón metálico bajo la acción de la gravedad a aproximadamente 5mm distribuida mente sobre las tres capas, por encima de la superficie del agregado fino.
3. Retirar el exceso de arena alrededor del molde y levantar el mismo verticalmente.
4. Si aún mantiene la forma del molde, se sabe que aún existe humedad superficial presente, por lo que se continuará secando y mezclando la muestra realizando frecuentemente la prueba del cono hasta que se produzca un primer desmoronamiento superficial, cuando los agregados finos se derrumban parcialmente se tendrá la condición de saturada superficie seca.



Fotografía 3. 14: Muestra saturada superficie seca

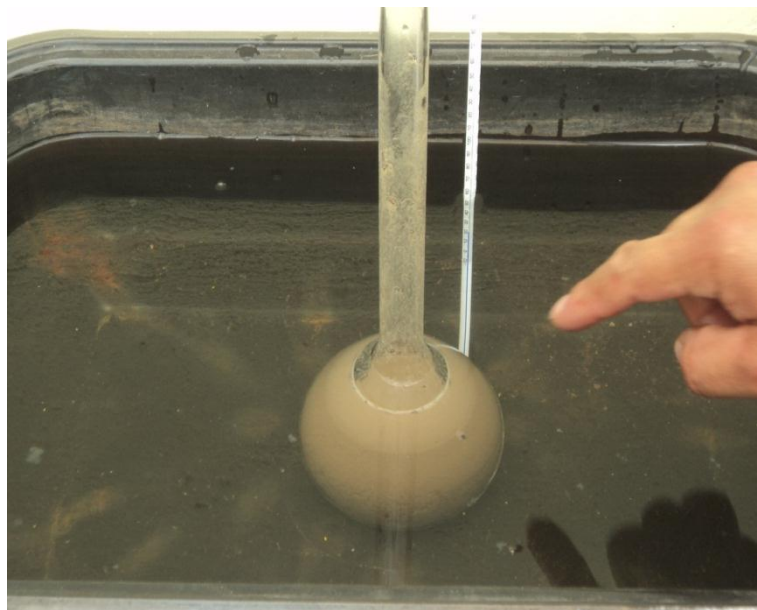
Determinación de la gravedad específica por medio del Picnómetro.

1. Llenar el picnómetro con agua hasta la marca de aforo a una temperatura de 23 ± 2 °C y pese.
2. Vaciar parcialmente al picnómetro que contiene agua.
3. Introducir dentro del picnómetro 500 ± 10 gramos de muestra en condición saturada superficie seca y adicionar agua hasta un aproximado de 90% de su capacidad.
4. Eliminar todas las burbujas de aire. Procedimientos manuales requiere entre 15 a 20 minutos para la eliminación de dichas burbujas, ya sea agitando o rodando el picnómetro sobre una superficie plana.



Fotografía 3. 15: Eliminación de burbujas de aire

5. Llene el picnómetro con agua hasta la marca de calibración y se introduce el picnómetro a Baño María a una temperatura de 23 ± 2 °C durante unos 30min.



Fotografía 3. 16: Picnómetro con muestra dentro del baño de maría

6. Determine la masa total del picnómetro que contiene al espécimen y al agua.

7. Vaciar el picnómetro en un recipiente y dejarlo secar hasta masa constante a 110 ± 5 °C, dejar enfriar y determinar la masa de la muestra seca.

Agregado grueso, norma ASTM C-127/AASHTO T-85

1. Secar la muestra en un horno a 110 ± 5 °C hasta masa constante, enfría al aire a la temperatura ambiente durante 1 a 3 horas. Posteriormente se sumerge en agua, también a temperatura ambiente, durante un período de 15 a 19 horas.
2. Después del período de inmersión, se saca la muestra del agua y se secan las partículas rodándolas sobre un paño absorbente de gran tamaño, hasta que se elimine el agua superficial visible, secando individualmente los fragmentos mayores. Se tomarán las precauciones necesarias para evitar cualquier evaporación del agua de los poros durante la operación de secado de la superficie de las partículas. A continuación, se determina la masa de la muestra en el estado de saturada con superficie seca (sss.).



Fotografía 3. 17: Peso de la masa en estado saturada con superficie seca

3. A continuación, se coloca la muestra en el interior de la canastilla metálica y se determina su masa sumergida en el agua. Se tomarán las precauciones necesarias para evitar la inclusión de aire en la muestra sumergida, agitando convenientemente.



Fotografía 3. 18: Determinación de la masa sumergida en agua

4. La canastilla y la muestra deberán quedar completamente sumergidas durante la pesada y el hilo de suspensión será lo más corto posible para minimizar los efectos de una profundidad de inmersión variable.
5. Se seca entonces la muestra en horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta masa constante, se enfría al aire a la temperatura ambiente durante 1 a 3 horas, posteriormente se determina su masa.

3.5.4. RESULTADOS DEL ENSAYO

PESO ESPECÍFICO AGREGADO FINO

Peso seco = 490.9 gr (A)

Peso picnómetro + agua = 677.5gr (B)

Peso picnómetro + agua + muestra = 987gr (C)

Peso del agregado saturado seco = 500gr (S)

$$\text{Gravedad específica} = \frac{A}{B + S - C} = \frac{490.9}{677.5 + 500 - 987} = 2.577 \text{gr/cm}^3$$

$$\text{Gravedad específica (sss)} = \frac{S}{B + S - C} = \frac{500}{677.5 + 500 - 987} = 2.625 \text{gr/cm}^3$$

$$\text{Gravedad aparente} = \frac{A}{B + A - C} = \frac{490.9}{677.5 + 490.9 - 987} = 2.706 \text{gr/cm}^3$$

$$\text{Absorción} = \frac{S - A}{A} * 100 = \frac{500 - 490.9}{490.9} * 100 = 1.854\%$$

PESO ESPECÍFICO AGREGADO GRUESO

Peso sss en aire = 3701gr (A)

Peso sss en agua = 2341g (B)

Peso seco = 3623gr (C)

$$\text{Gravedad específica} = \frac{C}{A - B} = \frac{3623}{3701 - 2341} = 2.664 \text{gr/cm}^3$$

$$\text{Gravedad específica (sss)} = \frac{A}{A - B} = \frac{3701}{3701 - 2341} = 2.721 \text{gr/cm}^3$$

$$\text{Gravedad aparente} = \frac{C}{C - B} = \frac{3623}{3623 - 2341} = 2.826 \text{gr/cm}^3$$

$$\text{Absorción} = \frac{A - C}{C} * 100 = \frac{3701 - 3623}{3623} * 100 = 2.153\%$$

3.6. VALOR DE AZUL DE METILENO, NORMA ISSA TB 145

3.6.1. DESCRIPCIÓN

Este método se utiliza para cuantificar la cantidad de arcillas nocivas, materia orgánica e hidróxidos de hierro presentes en un agregado, dando así una indicación general de la actividad de la superficie de un agregado.

Este ensayo a través de los valores de reactividad de los finos del agregado nos determina las características del emulsificante químico a utilizar en el diseño de la emulsión asfáltica y porcentaje de aditivo retardador.

3.6.2. EQUIPO Y MATERIALES

1. Bureta, de 50 ml de capacidad.
2. Agitador magnético.
3. Balanza, de 2000g de capacidad y 0.01g de sensibilidad.
4. Varilla de vidrio, de aproximadamente 250 mm de largo y 8 mm de diámetro.
5. Cronómetro, con apreciación 0.01 segundo.
6. Tamiz No 200.
7. Papel filtro N°2.
8. Vasos de precipitado, de 500 ml.
9. Azul de Metileno de grado reactivo, fechado y almacenado por un tiempo inferior a cuatro meses en un frasco color café envuelto con papel de aluminio y colocado en un gabinete oscuro a la temperatura del laboratorio. Un gramo de Azul de Metileno se disuelve en suficiente agua destilada para producir 1000ml de solución, de tal manera que cada mililitro de solución contenga 1 mg de Azul de Metileno (MB).
10. Agua destilada.
11. Horno, con una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

3.6.3. PROCEDIMIENTO

1. Una muestra representativa del agregado fino a ensayar se seca hasta peso constante a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, y el material que se selecciona se pasa a través del tamiz N° 200. La porción del agregado que pasa el tamiz indicado va a ser analizada.

2. Pesar un gramo de material, del pasante del tamiz N° 200, se combina con 30 gramos de agua destilada en un vaso adecuado y se agita hasta que esté completamente mojado y dispersa. Se debe usar un agitador magnético.



Fotografía 3. 19: Agitación magnética de la muestra

3. Un gramo de azul de metileno se disuelve en agua destilada, compuesto por 1000 ml tal que 1 ml de solución contenga 1 mg de azul de metileno (MB). Esta solución (MB) se valora por etapas en 0,5 ml de alícuotas de la bureta en la continua suspensión agitada del agregado fino.



Fotografía 3. 20: Adición de azul de metileno

4. Después de cada adición de MB, se continúa la agitación durante 1 minuto, después de este tiempo, una pequeña gota de la suspensión total se retira y se coloca en el papel de filtro con la varilla de vidrio.
5. En este momento se procede a cuantificar la cantidad de solución MB y a calcular el valor de Azul de Metileno (mg/g miligramos de Azul por gramo de agregado fino MB).
6. Se observa la gota en el papel filtro. Si no se ha formado alrededor de la gota un anillo o aureola azul, se continúa el ensayo adicionando a la mezcla de agregado fino incrementos de 0.5 ml de solución MB, agitando durante un minuto para cada incremento y realizando de nuevo la prueba en el papel filtro hasta que se observe el aro azul alrededor de la gota.
7. Finalmente después de alcanzar este punto se continúa agitando durante 5 minutos y se repite la prueba en el papel filtro, como método de confirmación. Si se continúa presentando el aro azul se da por terminado el ensayo y se procede a realizar el cálculo de Valor de Azul de Metileno. Si, por el contrario, desaparece el aro, se debe continuar con el ensayo.



Fotografía 3. 21: Punto final del ensayo de MB

3.6.4. RESULTADOS DEL ENSAYO

| VALOR DE AZUL DE METILINA (mgr/gr) | DESEMPEÑO ANTICIPADO |
|------------------------------------|----------------------|
| ≤ 7 | Excelente |
| $7 \leq MB \leq 10$ | Aceptable |
| ≥ 10 | Fallado |

Tabla 3. 4: Valores aceptables de azul de metileno

Fuente: Norma ISSA TB – 145

| CANTERA | MB |
|---------|----------|
| | (mgr/gr) |
| CALAGUA | 2 |

Nota: El agregado cumple con lo especificado.

3.7. EQUIVALENTE DE ARENA, NORMA ASSHTO T-176/ASTM D-2419

3.7.1. DESCRIPCIÓN

Este método de ensayo asigna un valor empírico a la cantidad relativa, finura y características del material fino presente en una muestra de ensayo formado por suelo granular que pasa el tamiz N°4. El término “Equivalente de Arena” transmite el concepto que la mayoría de los suelos granulares y agregados finos son mezcla de partículas gruesas, arenas y generalmente finos.

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 período 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.

Este método proporciona una manera rápida de campo para determinar cambios en la calidad de agregados durante la producción o colocación.

3.7.2. EQUIPO Y MATERIALES

1. Tuvo irrigador. De acero inoxidable, cobre o bronce, de 6.35 mm de diámetro exterior, 508 mm de longitud, cuyo extremo inferior está cerrado en forma de cuña. Tiene dos agujeros laterales de 1 mm de diámetro en los dos planos de la cuña cerca de la punta.
2. Sistema de Sifón. Se compone de un botellón de 1 galón (3.8 lt) de capacidad con un tapón. El tapón tiene dos orificios que lo atraviesan, uno para el tubo del sifón y el otro para entrada de aire. El conjunto deberá ubicarse a 90 cm por encima de la mesa.
3. Probeta graduada. Con diámetro interior de 31.75 ± 0.381 mm y 431.8 mm de altura graduada hasta una altura de 381 mm, provista de un tapón de caucho o goma que ajuste en la boca del cilindro.
4. Tubo flexible. De caucho o goma con 4.7 mm de diámetro, tiene una pinza que permite cortar el paso del líquido a través del mismo. Este tubo permite conectar el tubo irrigador con el sifón.
5. Pisón de metal. Consistente en una barra metálica de 457 mm de longitud que tiene enroscado en su extremo inferior un disco metálico de cara inferior plana perpendicular al eje de la barra y cara superior de forma cónica. El disco lleva tres tornillos pequeños que sirven para centrarlo dentro del cilindro. Lleva una sobrecarga en forma cilíndrica, de tal manera que el conjunto pese 1 kg. (barra metálica, disco y sobrecarga).

6. Recipiente metálico. De estaño aproximadamente de 57 mm de diámetro con capacidad de 85 ± 5 ml, borde superior uniforme de modo que la muestra que se coloca en ella se pueda enrasar para conseguir el volumen requerido.
7. Cronómetro o reloj. Lecturas en minutos y segundos
8. Embudo. De boca ancha para incorporar la muestra de ensayo en la probeta graduada.
9. Tamiz. Tamiz N°4 según especificaciones E11
10. Recipiente para mezcla
11. Horno. Capaz de mantener temperaturas de $110\pm 5^{\circ}\text{C}$.
12. Papel filtro.

3.7.3. PROCEDIMIENTO

1. Se obtienen por lo menos 1500 gramos de material que pase el tamiz N°4, desmenuzar cualquier agregación de material en fracción gruesa que pase el tamiz N°4. Emplee un mortero y pistón cubierto de caucho para remover cualquier recubrimiento de finos que tenga adherido el agregado grueso.
2. Tome el material pasante del tamiz N°4, cuartee la muestra, tome cuatro medidas utilizando el recipiente de medición. Secar las muestras a peso constante a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, dejar enfriar a temperatura ambiente.
3. Ajustar el sifón a un botellón de 1.0 gal (3.8lt) conteniendo la solución de trabajo de cloruro de calcio. Colocarlo en un anaquel ubicado a 91 ± 3 cm sobre la mesa de trabajo, uniendo el botellón con una manguera de hule al tubo agitador.



Fotografía 3. 22: Equipo de sifonamiento

4. Se inicia el sifonado, soplando sobre la parte superior del frasco con solución, a través de un corto trozo de tubería, mientras la grapa de pinzas está abierta.
5. Se verte el sifón dentro de la probeta, solución de trabajo de cloruro de calcio hasta una altura de $101,6 \pm 2,54$ mm, indicada sobre la graduación de la probeta.
6. Con ayuda del embudo verter en la probeta la muestra preparada, golpear la parte baja del cilindro varias veces con la palma de la mano para desalojar las posibles burbujas de aire y para humedecer completamente la muestra.



Fotografía 3. 23: Vertido de la muestra preparada

7. Dejar reposar durante 10 ± 1 min, transcurridos los 10 min., tapar la probeta con un tapón; suelte el material del fondo invirtiendo parcialmente el cilindro y agitándolo a la vez.
8. Luego se agita la probeta mediante la agitación manual que consiste en sujetar la probeta en posición horizontal y sacudirla vigorosamente de izquierda a derecha, agitar el cilindro 90 ciclos en 30 segundos, usando un recorrido de 23 ± 3 cm. Un ciclo se define como el movimiento completo a la derecha seguido por otro a la izquierda. El operador deberá mover solamente los antebrazos manteniendo el cuerpo y hombros relajados.,



Fotografía 3. 24: Agitación de la probeta de izquierda a derecha

9. Concluida con la operación de agitación, colocar la probeta verticalmente sobre la mesa de trabajo y quitar el tapón.
10. Durante el procedimiento de irrigación el cilindro no deberá moverse de su posición vertical y con la base en contacto con la superficie de trabajo, introduzca el tubo irrigador en la parte superior de la probeta, suelte la abrazadera de la manguera y limpie el material de las paredes de la probeta mientras el irrigador baja. El irrigador debe llegar hasta el fondo, aplicando suavemente una presión y giro mientras que la solución de trabajo fluye por la boca del irrigador, esto impulsa el material fino desde el fondo hacia arriba poniéndolo en suspensión sobre las partículas gruesas de arena.
11. Cuando el nivel del líquido alcance la señal de los 38 cm, levante el tubo irrigador despacio sin que deje de fluir la solución, de tal manera que el nivel se mantenga cerca de 38.0 cm mientras se saca el tubo. Regule el flujo justo antes que el tubo esté completamente fuera y ajuste el nivel final a los 38.0 cm.

12. Se deja en reposo, sin perturbarlo, al cilindro y su contenido durante 20 minutos, en el cual la arena se ha sedimentado y los finos permanecen en suspensión. Se inicia la cuenta inmediatamente después de traer el tubo irrigador.
13. Al final del periodo de sedimentación de 20 minutos, se lee y registra el nivel de la parte superior de la suspensión arcillosa; esta se denomina "Lectura de Arcilla". Si no se ha formado una línea de demarcación al final del periodo de sedimentación de 20 minutos especificados, se deja la muestra en reposo ininterrumpido, hasta que pueda obtenerse una lectura de arcilla, luego se lee inmediatamente y se registra tal nivel superior de la suspensión de arcilla y el tiempo de sedimentación total. Si el tiempo total de sedimentación excede los 30 minutos, se repite el ensayo usando tres muestras individuales del mismo material. Se registra la altura de la columna de arcilla para la muestra que se requiera el menor tiempo de sedimentación.
14. Después de haber tomado la lectura de arcilla, se coloca el dispositivo con el pie de contrapeso en el cilindro y suavemente se lo hace descender hasta que el dispositivo apoye sobre la arena. No se permitirá que el indicador golpee la boca del cilindro cuando se hace descender a este dispositivo. Cuando el contrapeso apoye la arena, se inclina el dispositivo hacia las graduaciones del cilindro, restando 254 mm (10 pulgadas) del nivel indicado por el borde del extremo superior del indicador, se obtendrá el valor que se registra como "Lectura de Arena".



Fotografía 3. 25: Lectura de arena

3.7.4. RESULTADOS DEL ENSAYO

Para limitar la cantidad admisible de finos arcillosos o nocivos en un agregado, se necesita un equivalente de arena mayor a 65.

| | | Muestra N° | |
|----------------------------|-------------------------------|------------|-------|
| | | 1 | 2 |
| Lectura de Arena | A | 13,17 | 13,23 |
| Lectura de Arcilla | B | 3,87 | 3,91 |
| Nivel de Arena | $C = A - 10$ | 3,17 | 3,23 |
| Equivalente de Arena | $D = (C/B)*100$ | 81,91 | 82,61 |
| equivalente total de Arena | $(N^{\circ}1 + N^{\circ}2)/2$ | 82,26 | |
| Especificación | | > 65 | |

Nota: El agregado cumple con lo especificado para el diseño de micro pavimento

CAPITULO 4

4. LA EMULSIÓN Y SUS CARACTERÍSTICAS

Los productores de emulsión realizan una serie de pruebas estándar a las emulsiones y al asfalto residual, para determinar su viabilidad de uso en Micro pavimento y asegurarse de cumplir con las especificaciones técnicas.

Algunas de las pruebas comúnmente para su control de calidad de la emulsión son las que se detallan a continuación en este capítulo con sus respectivas normas internacionales basadas y desarrolladas para cada ensayo respectivo.

4.1. FUNCIÓN EN EL MICROPAVIMENTO

Las variables que controlan la producción de una emulsión asfáltica tiene que ser tomadas en cuenta para que la emulsión sea estable y del tamaño de partícula apropiado; adicionalmente, el tipo de agente emulsificante es importante, generalmente se utilizan emulsiones catiónicas en los sistemas asfálticos, lo cual produce una buena adhesión química entre el sistema asfáltico.

Esto es importante para el buen desempeño del asfalto. Las emulsiones asfálticas han venido a simplificar significativamente el procedimiento de asfaltado de carreteras, ya que se aplican en frío, lo cual presenta un ahorro considerable, no solo en la energía requerida para fundir el asfalto, sino en la maquinaria que se requiere para hacer el fundido in situ.

Adicionalmente, en el caso del asfalto caliente, éste no se puede aplicar en condiciones climáticas adversas como lluvia, alta humedad, etc., pero las emulsiones asfálticas no tienen ese problema, ya que el medio en el cual viene el asfalto es precisamente agua. Este es un factor importante, ya que elimina los posibles retrasos en la construcción de carreteras por mal tiempo.

Otra de las razones por las cuales las emulsiones asfálticas están siendo usadas ampliamente en la actualidad, es que mediante el uso de emulsificantes apropiados, se puede controlar ampliamente el tiempo de ruptura de las emulsiones, ya que es posible tener emulsiones de rompimiento rápido, lento e intermedio. Esto permite tener un amplio control en el uso de las emulsiones para diferentes tipos de aplicación.

Debido a la importancia que tienen actualmente las emulsiones asfálticas, en este trabajo se pretende hacer una revisión del estado sobre emulsiones asfálticas, haciendo énfasis en las características más importantes que afectan la fabricación de estas emulsiones asfálticas.

4.2. COMPOSICIÓN FÍSICO QUÍMICA

Las Emulsiones

Podemos definir una emulsión como una dispersión fina más o menos estabilizada de un líquido en otro, los cuales son no miscibles entre sí y están unidos por un emulsificante, emulsionante o emulgente. Las emulsiones son sistemas formados por dos fases parcial o totalmente inmiscibles, en donde una forma la llamada fase continua (o dispersante) y la otra la fase discreta (o dispersa).

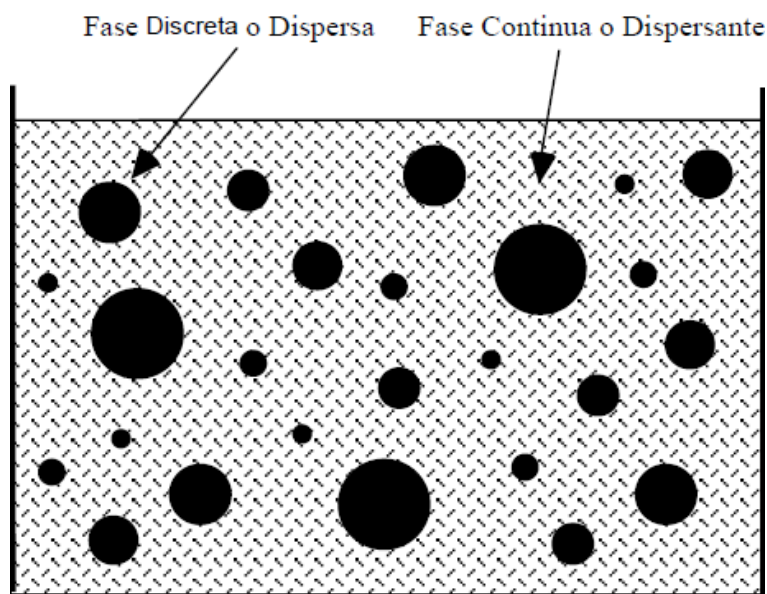


Figura 4. 1: Diagrama esquemático de una emulsión

Fuente: Instituto Mexicano de Transporte

Los Emulsificantes

Los emulsificantes son compuestos orgánicos de peso molecular relativamente elevado (entre 100 y 300); tienen una parte hidrofóbica (generalmente es una cadena hidrocarbonada ya sea lineal o cíclica) que es soluble en el medio orgánico (en nuestro caso en el asfalto) y una parte hidrofílica (generalmente es un grupo polar de tipo orgánico o inorgánico), soluble en el medio acuoso.

Los emulsificantes están compuestos generalmente por un radical alkilo R el cual es hidrofóbico y un componente hidrofílico, que se encuentran zonificados y con el contacto con el agua se disocian, quedando con cargas negativas o positivas según el tipo de emulsificante.

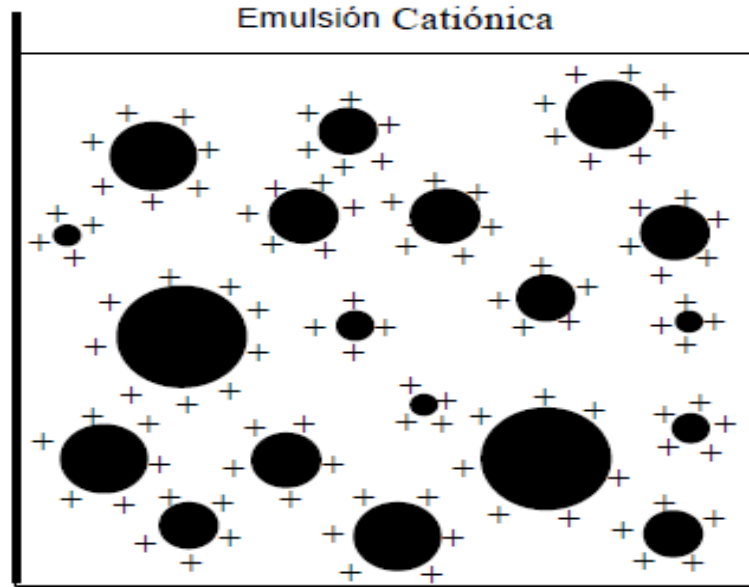
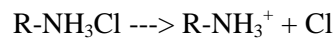


Figura 4. 2: Representación esquemática de una emulsión catiónica

Fuente: Instituto Mexicano de Transporte

Los emulsificantes catiónicos son generalmente grupos aminos con carga eléctrica positiva y con fórmula general $R-NH_3Cl$.

Cuando este tipo de emulsificantes actúa en un medio acuoso se disocia resultando:



y el grupo amino NH_3^+ se va a la parte hidrofílica, mientras que el radical alquilo R se queda en la parte hidrofóbica.

Emulsiones de Asfaltos Modificados

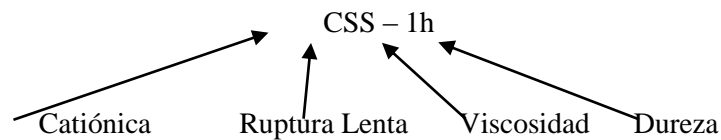
El planteamiento de nuevas necesidades, el desarrollo de nuevas técnicas de fabricación o puesta en obra y en definitiva, la mejora y optimización de las técnicas en las emulsiones asfálticas, ha permitido la aparición de nuevos tipos de emulsiones, entre las que podemos enumerar: emulsiones muy viscosas, de alta flotación, de rompimiento controlado por aditivos, emulsiones modificadas y emulsiones de asfaltos modificados.

Actualmente se utiliza una gran variedad de polímeros comerciales con composición química y propiedades diferentes, para *emulsiones de asfaltos modificados*. Entre los empleados de forma más generalizada tenemos los elastómeros termoplásticos de estireno-butadieno-estireno (SBS) y de estirenobotadieno (SBR), y los copolímeros de estireno acetato de vinilo (EVA).

Actualmente existen en el mercado un gran número de asfaltos modificados con polímeros, que en general utilizan un emulgente catiónico para lograr la unión y estabilidad del cemento asfáltico, el polímero y el agua, constituyendo una emulsión asfáltica catiónica con polímeros.

Los fabricantes de los productos mencionados, los promocionan al público, mostrando su calidad en comparación con los empleados tradicionalmente, en los usos de la ingeniería civil, por medio de resultados de pruebas de laboratorio, las cuales están especificadas en Normas establecidas por organismos reconocidos a nivel internacional y nacional, tales como: A.S.T.M., AASHTO, e INEN.

Finalmente las emulsiones se identifican por una serie de números y letras que aluden a la viscosidad y a la consistencia de la base del cemento asfáltico, de la siguiente forma:



- La letra “C”, encabezando el nombre de la emulsión, identifica a una emulsión catiónica, su ausencia identifica una aniónica.
- Las letras subsiguientes “SS” representan el tiempo de rotura de la emulsión en este caso es de Rotura Lenta (slow-setting).
- Hay números que indican la viscosidad relativa, MS-2 es más viscoso que una MS-1.
- La letra “h” indica que la base asfáltica es más consistente (dura o hard), y la letra “s” más blanda (soft).

Fabricación de Emulsiones Asfálticas

El equipo y producción para la fabricación de emulsiones es muy simple y fácil de conseguir en el mercado. El problema está en la formulación de las emulsiones que deben adaptarse a los materiales pétreos.

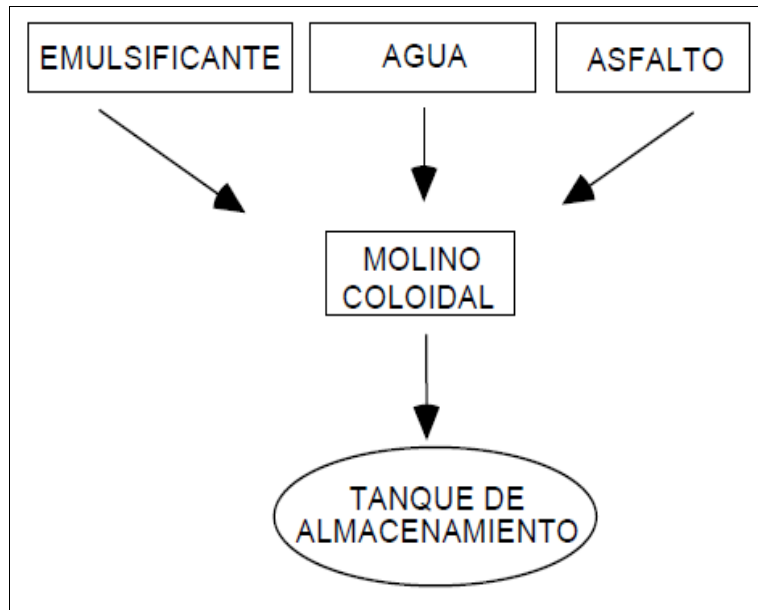


Figura 4. 3: Esquema para la Fabricación de la Emulsión Asfáltica

Fuente: Instituto Mexicano de Transporte

4.3. VISCOSIDAD SAYBOL FUROL, NORMA AASTHO T-59/ASTM D-244 y D-88

4.3.1. DESCRIPCIÓN

Este método de ensayo cubre los procedimientos empíricos para la determinación de la viscosidad Saybolt Furol de productos derivados del petróleo a temperaturas especificadas entre el 21° C y 99 ° C.

Viscosidad Saybolt Furol es el tiempo en segundos, corregido, durante el cual fluyen 60 ml de muestra a través de un orificio Furol calibrado bajo condiciones específicas. El valor de la viscosidad se informa en segundos Saybolt Furol (SSF) a una temperatura especificada.

La palabra Furol es una contracción de las palabras "Fuel and road oils" (aceites y combustibles para carreteras).

La viscosidad Saybolt Furol es, aproximadamente, 1/10 de la viscosidad Saybolt Universal, y es recomendada para la caracterización de los productos del petróleo tales, como el combustible (Fuel-oil) y otros materiales residuales, que tengan viscosidades Saybolt Universales mayores de 1000 segundos.

4.3.2. EQUIPO Y MAREIALES

1. Viscosímetro Saybolt el viscosímetro se deberá construir de metal no corrosivo, con las dimensiones mostradas. La punta del orificio, Furol o Universal, se puede fabricar como una parte sustituible. Debe tener una tuerca en el extremo inferior del mismo para asegurarlo en el baño. Se debe contar con un corcho u otro medio para evitar el flujo de la muestra antes de iniciar el ensayo. Una pequeña cadena o una cuerda se puede unir al corcho para facilitar su remoción.

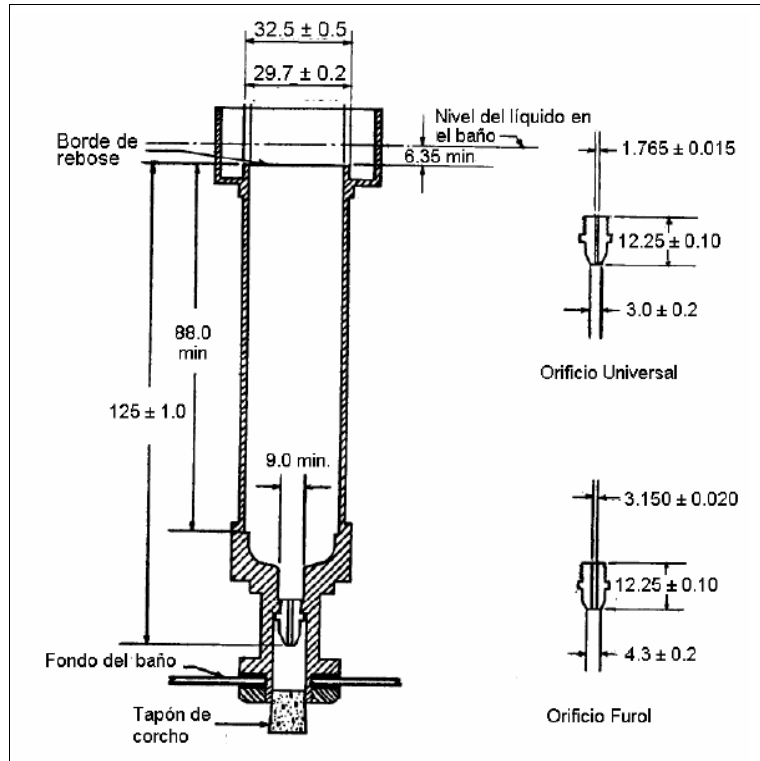


Figura 4. 4: Viscosímetro saybolt con orificio universal y furo (dimensiones en mm)

Fuente: Instituto Nacional de Vías de Colombia

2. Un termómetro para el viscosímetro Saybolt de los que se indican en la Tabla 4.1, para la lectura de la temperatura de la muestra, que debe cumplir los requerimientos de la norma ASTM E-1

| Temperatura de Ensayo °C (°F) | Termómetro ASTM No | Termómetros | |
|----------------------------------|--------------------|----------------------|--------------------------|
| | | Rango °C (°F) | Subdivisiones °C (°F) |
| 21.1 (70) | 17C (17F) | 19 a 27 (66 a 80) | 0.1 (0.2) |
| 25.0 (77) | 17C (17F) | 19 a 27 (66 a 80) | 0.1 (0.2) |
| 37.8 (100) | 18C (18F) | 34 a 42 (94 a 108) | 0.1 (0.2) |
| 50.0 (122) | 19C (19F) | 49 a 57 (120 a 134) | 0.1 (0.2) |
| 54.4 (130) | 19C (19F) | 19 a 57 (120 a 134) | 0.1 (0.2) |
| 60.0 (140) | 20C (20F) | 57 a 65 (134 a 148) | 0.1 (0.2) |
| 82.8 (180) | 21C (21F) | 79 a 87 (174 a 188) | 0.1 (0.2) |
| 98.9 (210) | 22C (22F) | 95 a 103 (204 a 218) | 0.1 (0.2) |

Tabla 4. 1: Termómetro ASTM para Viscosidad Saybolt

Fuente: Instituto Nacional de Vías de Colombia

3. Termómetros para el baño María de los que se usan en el viscosímetro o de otro tipo, pero de precisión similar.

4. Embudo con filtro equipado con tamices intercambiables N° 20, N° 100 y N° 200. También, se pueden emplear embudos con filtro de diseño adecuado.
5. Cronómetro, apreciación de 0.01 segundos
6. Matraz recibidor

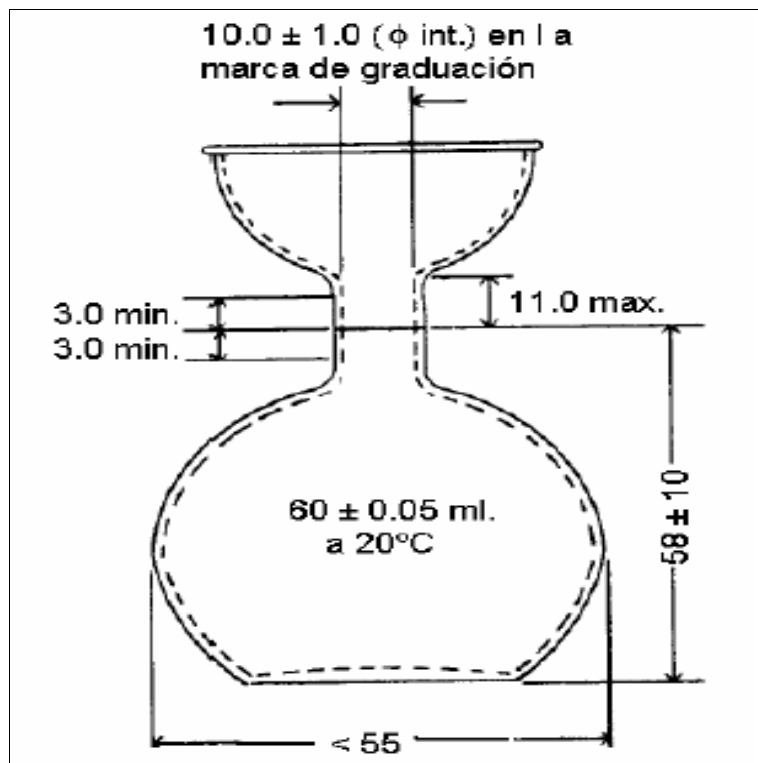


Figura 4. 5: Matraz recibidor (dimensiones mm)

Fuente: Instituto Nacional de Vías de Colombia

4.3.3. PROCEDIMIENTO

1. Establecer y controlar la temperatura del baño maría a la temperatura de prueba seleccionada. Las temperaturas de prueba estándar para medir la viscosidad de Saybolt Furol son 25.0, 37.8, 50.0, y 98.9° C, en nuestro caso se va a realizar a 25° C.



Fotografía 4. 1: Viscosímetro Saybolt Furol calibrado a 25°C

2. Los frascos se colocan en Baño María a una temperatura de $25^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ durante treinta 30 minutos, después de este tiempo se saca del baño y se mezcla la muestras, para lo cual se invierte el frasco varias veces, pero lentamente para evitar que se forme espuma.



Fotografía 4. 2: Colocación de las muestras para el ensayo en baño maría

3. Inserte un tapón de corcho, que tiene un cable que está conectado por su fácil extracción, en la cámara de aire en la parte inferior del viscosímetro. El corcho debe quedar apretado lo

suficiente como para impedir el escape de aire, se demuestra con la ausencia de emulsión en el tapón en el momento de retirarlo.

4. En caso que la temperatura de ensayo seleccionado está por encima de la temperatura ambiente, la prueba puede ser acelerada por precalentamiento de la muestra en su envase original a no más de $1,7^{\circ}\text{C}$, por encima de la temperatura de ensayo.
5. Mezcle la muestra y, a continuación, fíltrela a través de N° 100 de tela metálica en el embudo de filtro directamente en el viscosímetro hasta que el nivel esté por encima del borde de desbordamiento.



Fotografía 4. 3: Llenado del viscosímetro con la muestra a ensayar

6. Agite la muestra en el viscosímetro con el Termómetro de viscosidad adecuada equipada con el apoyo del termómetro. Utilice un movimiento circular de 30 a 50 rpm en un plano horizontal. Cuando la temperatura de la muestra se mantiene constante dentro de $0,03^{\circ}\text{C}$, de la temperatura de ensayo durante 1 min de agitación continua, retire el termómetro.
7. Asegúrese de que el vaso receptor está en posición correcta.
8. Retire el corcho del viscosímetro y en el mismo instante poner en marcha el cronómetro.



Fotografía 4. 4: Alineación del corcho con el vaso receptor y Flujo de la emulsión a través del viscosímetro al vaso receptor una vez retirado el corcho.

9. Parar el cronómetro en el instante en el fondo de menisco de aceite llegue a la marca de graduación en el vaso receptor. Registre el tiempo de flujo en segundos con una precisión de 0,1 s

4.3.4. RESULTADOS DEL ENSAYO

| Emulsión | Tiempo de medición | | Promedio | Especificación | |
|----------------------|--------------------|-----------|----------|----------------|-----|
| | Muestra 1 | Muestra 2 | | Min | Max |
| | (s) | (s) | (s) | (s) | (s) |
| CSS-1H(con polímero) | 24 | 23 | 23,5 | 20 | 100 |

Nota: La emulsión tiene una baja viscosidad, pero está dentro del especificado para el diseño.

4.4. ENSAYO DE ESTABILIDAD, NORMA AASHTO T-59/ASTM D-244

4.4.1. DESCRIPCIÓN

Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para determinar la estabilidad al almacenamiento que presentan los asfaltos modificados, en particular con polímeros, de aplicación en construcción de carreteras.

En circunstancias especiales climáticas, orográficas o de tráfico se pueden utilizar productos, generalmente polímeros, que adicionados al ligante asfáltico modifican alguna o varias de las características de éste, con el objeto de mejorarlo funcionalmente.

4.4.2. EQUIPO Y MATERIALES

1. Dos probetas, de 500 ml, con base en el inferior
2. Dos vasos de precipitación, de 1000 ml.
3. Tapones, para las probetas
4. Pipeta
5. Bomba de caucho
6. Horno, con temperatura constante de $163^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$.
7. Balanza, de 2000 gr de capacidad y de 0.1g de sensibilidad.
8. Agitadores.

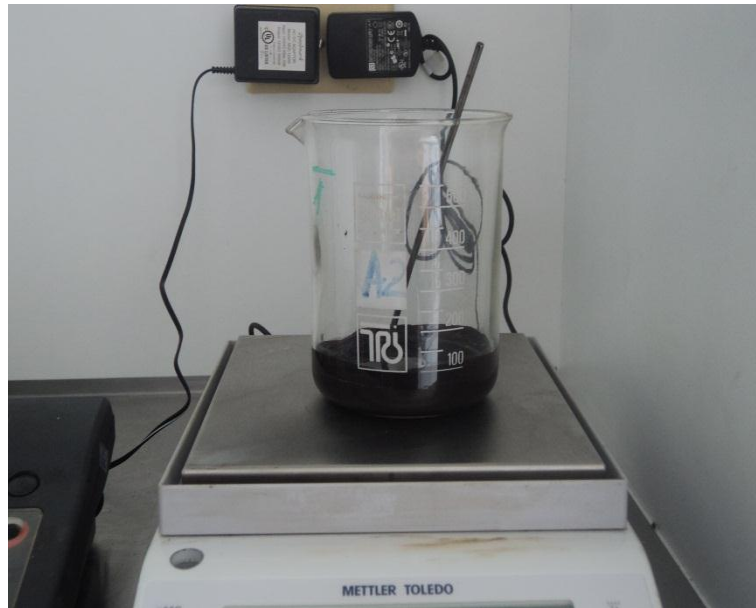
4.4.3. PROCEDIMIENTO

1. Filtre la emulsión sobre las probetas y afore cada una de estas a 500ml, con esta emulsión.
2. Cubra cada una de las probetas perfectamente, y deje en reposo durante 24 horas, a la temperatura del laboratorio.



Fotografía 4. 5: Reposo de las probetas durante 24 horas

3. Marque cada uno de los vasos de precipitación, uno como "superior" y el otro como "inferior", pese cada vaso con su agitador.
4. Con la pipeta tome 55ml de la parte superior de la probeta, pese en el vaso de precipitación marcado como "superior" previamente encerado, hasta obtener los 50 gr de muestra.
5. Con la pipeta tome otros 390ml de la emulsión y deséchelos, solo 55ml en el fondo de la probeta.
6. Agite la emulsión que quedo y pese exactamente 50gr de emulsión en el vaso de precipitación marcado como "inferior".



Fotografía 4. 6: Pesado del vaso de precipitación con muestra

7. Ajusta la temperatura del horno a $163^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$.
8. Colocar en el horno los vasos de precipitación con la muestra pesada y el agitador, manteniéndolas en el horno durante dos horas, al final de este periodo sacar los vasos y mezclar uniformemente con el agitador el residuo.



Fotografía 4. 7: Colocación de los vasos en el horno

9. Colocar nuevamente los vasos de precipitación y dejarlos por una hora, sacar los vasos del horno y dejarlos enfriar a temperatura ambiente, luego pesarlos juntamente con el agitador.

10. Finalmente se determina la estabilidad como la diferencia numérica entre el porcentaje promedio de residuo asfáltico encontrado en las dos muestras de superficie y el encontrado en las dos muestras de fondo.

4.4.4. RESULTADOS DEL ENSAYO

Porcentaje del residuo de la muestras superior

| Emulsión | A | B | C | Residuo | Promedio |
|----------------------|-------|-------|-------|---------|----------|
| | (gr) | (gr) | (gr) | (%) | (%) |
| CSS-1H(con polímero) | 138,9 | 109,3 | 50,08 | 59,11 | 60,42 |
| | 126,1 | 95,2 | 50,05 | 61,74 | |

Porcentaje del residuo de la muestras inferior

| Emulsión | A | B | C | Residuo | Promedio |
|----------------------|-------|-------|-------|---------|----------|
| | (gr) | (gr) | (gr) | (%) | (%) |
| CSS-1H(con polímero) | 121,2 | 90,3 | 50,06 | 61,73 | 60,76 |
| | 135,1 | 105,2 | 50,00 | 59,80 | |

$$\text{Estabilidad \% (24 horas)} = \mathbf{B - A}$$

Dónde:

A = Porcentaje del residuo de la muestras superior

B = Porcentaje del residuo de la muestra inferior

Nota: Estabilidad, en peso menor al 1%

| Emulsión | A | B | ESTABILIDAD |
|----------------------|-------|-------|-------------|
| | (%) | (%) | (%) |
| CSS-1H(con polímero) | 60,42 | 60,76 | 0,34 |

4.5. ENSAYO DE ASENTAMIENTO, NORMA AASHTO T-59/ASTM D-244

4.5.1. DESCRIPCIÓN

Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para realizar el ensayo de sedimentación de las emulsiones asfálticas.

Durante el almacenamiento a temperaturas elevadas se pueden producir, en los ligantes modificados, fenómenos de cremado o de sedimentación, enriqueciendo el ligante en polímeros en la parte inferior o superior del tanque en función de sus densidades respectivas. Este fenómeno puede ser propiciado por dispersión incorrecta del polímero en el ligante o por incompatibilidad entre ambos.

4.5.2. EQUIPO Y MATERIALES

1. Dos probetas, de 500 ml, con base en el inferior
2. Dos vasos de precipitación, de 1000 ml.
3. Tapones, para las probetas
4. Pipeta
5. Bomba de caucho
6. Horno, con temperatura constante de $163^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$.
7. Balanza, de 2000 gr de capacidad y de 0.1g de sensibilidad.
8. Agitadores.

4.5.3. PROCEDIMIENTO

1. Filtre la emulsión sobre las probetas y afore cada una de estas a 500ml, con esta emulsión.
2. Cubra cada una de las probetas perfectamente, y deje en reposo durante 5 días, a la temperatura del laboratorio.



Fotografía 4. 8: Reposo de las probetas durante los 5 días

3. Marque cada uno de los vasos de precipitación, uno como "superior" y el otro como "inferior", pese cada vaso con su agitador.
4. Con la pipeta tome 55ml de la parte superior de la probeta, pese en el vaso de precipitación marcado como "superior" previamente encerado, hasta obtener los 50 gr de muestra.
5. Con la pipeta tome otros 390ml de la emulsión y deséchelos, solo 55ml en el fondo de la probeta.
6. Agite la emulsión que quedo y pese exactamente 50gr de emulsión en el vaso de precipitación marcado como "inferior".
7. Ajusta la temperatura del horno a $163^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$.
8. Colocar en el horno los vasos de precipitación con la muestra pesada y el agitador, manteniéndolas en el horno durante dos horas, al final de este periodo sacar los vasos y mesclar uniformemente con el agitador el residuo.



Fotografía 4. 9: Uniformizar la muestra con el agitador

9. Colocar nuevamente los vasos de precipitación y dejarlos por una hora, sacar los vasos del horno y dejarlos enfriar a temperatura ambiente, luego pesarlos juntamente con el agitador.
10. Finalmente se determina la estabilidad como la diferencia numérica entre el porcentaje promedio de residuo asfáltico encontrado en las dos muestras de superficie y el encontrado en las dos muestras de fondo.

4.5.4. RESULTADOS DEL ENSAYO

Porcentaje del residuo de la muestras superior

| Emulsión | A | B | C | Residuo | Promedio |
|----------------------|-------|------|-------|---------|----------|
| | (gr) | (gr) | (gr) | (%) | (%) |
| CSS-1H(con polímero) | 116,4 | 85,7 | 50,10 | 61,28 | 62,10 |
| | 117,6 | 86,1 | 50,06 | 62,92 | |

Porcentaje del residuo de la muestras inferior

| Emulsión | A | B | C | Residuo | Promedio |
|----------------------|-------|------|-------|---------|----------|
| | (gr) | (gr) | (gr) | (%) | (%) |
| CSS-1H(con polímero) | 118,9 | 88,3 | 50,02 | 61,18 | 62,28 |
| | 127,2 | 95,5 | 50,01 | 63,39 | |

$$\text{Estabilidad \% (5 días)} = \mathbf{B} - \mathbf{A}$$

Dónde:

A = Porcentaje del residuo de la muestras superior

B = Porcentaje del residuo de la muestra inferior

Nota: Estabilidad, en peso menor al 5%

| Emulsión | A | B | ESTABILIDAD |
|----------------------|-------|-------|-------------|
| | (%) | (%) | (%) |
| CSS-1H(con polímero) | 62,10 | 62,28 | 0,18 |

4.6. RETENIDO DE LA MALLA N° 20 NORMA, AASHTO T-59/ASTM D- 244

4.6.1. DESCRIPCIÓN

Este método de ensayo sirve para determinar el grado en el que la emulsión asfáltica puede contener partículas de asfalto y otros sólidos discretos en el tamiz N°20.

La retención de una cantidad excesiva de partículas en el tamiz, indica que pueden producirse problemas en el manejo y aplicación del material. Las partículas de asfalto retenido en el tamiz, a menudo son causados por la aglomeración de la fase dispersa. El almacenamiento, bombeo, tratamiento y la temperatura, puede contribuir a la formación de las partículas. La contaminación del tanque, del transporte o la manguera son otros factores que pueden afectar a la formación de partículas.

4.6.2. EQUIPO Y MATERIALES

1. Tamiz, No. 20
2. Recipiente, de tamaño apropiado para que pueda colocarse el tamiz.
3. Horno, con temperatura constante de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
4. Solución de oleato sódico al 2%, diluida en 100 ml de agua destilada. Se puede remplazar la solución de oleato sódico por agua destilada para ensayos sobre emulsiones catiónicas.
5. Balanza, de 2000 gr de capacidad y de 0.1g de sensibilidad.

4.6.3. PROCEDIMIENTO

1. La temperatura a la cual se realiza el ensayo, está en función de la viscosidad (Saybolt Furol) de la emulsión asfáltica.
 - Viscosidad < 100 segundos a menos de 25°C : ensayo a temperatura ambiente.
 - Viscosidad > 100 segundos a 25°C , y aquellos cuya viscosidad se especifica a 50°C : ensayo a temperatura de $50 \pm 3^{\circ}\text{C}$.
2. Tenemos una emulsión menor a los 100 segundos, por lo tanto el ensayo lo realizaremos a temperatura ambiente.
3. Pesar el tamiz con el recipiente y registre el valor.
4. Pese 1000gr de la emulsión asfáltica en un recipiente adecuado y vierta a través del tamiz.



Fotografía 4. 10: Vertido de la emulsión sobre el tamiz

5. Lave el recipiente y el tamiz con agua destilada (para emulsiones aniónicas) o solución oleato sódico (para emulsiones catiónicas), hasta que el agua usada salga clara o limpia.



Fotografía 4. 11: Lavado del tamiz hasta que el agua salga clara

6. Coloque el recipiente debajo del tamiz y se caliente durante 2 horas en el horno a una temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$.
7. Finalmente dejar enfriar y pesar posteriormente el recipiente, el tamiz y el residuo.



Fotografía 4. 12: Muestra de residuo retenida en el tamiz finalizado el ensayo

4.6.4. RESULTADOS DEL ENSAYO

$$\% \text{ Muestra retenida} = \frac{B-A}{10}$$

Dónde:

A = Peso del tamiz + recipiente en gr

B = Peso del tamiz + recipiente + residuo en gr

| Emulsión | A (gr) | B (gr) | Muestra Retenida (%) | Especificación | |
|----------------------|-----------|-----------|-------------------------|----------------|------------|
| | | | | Min (%) | Max (%) |
| CSS-1H(con polímero) | 523,00 | 523,03 | 0,003 | 0 | 0,1 |

Nota: La emulsión se encuentra dentro del rango aceptable que es entre el 0 y 0.1% de la muestra, por lo tanto no presenta asfalto mal emulsificado.

4.7. CARGA DE LA PARTÍCULA, NORMA AASHTO T-59/ASTM D-244

4.7.1. DESCRIPCIÓN

Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para la identificación de las emulsiones asfálticas, aniónicas y catiónicas. Partículas bituminosas cargadas positivamente son clasificadas como catiónicas y partículas bituminosas cargadas negativamente son clasificadas como aniónicas.

El ensayo está basado en la diferente carga eléctrica, negativa o positiva, que poseen las partículas bituminosas en las emulsiones aniónicas o catiónicas, y consiste en introducir en la emulsión una pareja de electrodos unidos a una fuente de alimentación de corriente continua, observando, al cabo de un tiempo, en qué electrodo se ha depositado la película de ligante. Las emulsiones catiónicas se identifican por la migración de las partículas bituminosas al electrodo cargado negativamente (cátodo) y las aniónicas por la migración de las partículas bituminosas al electrodo cargado positivamente (ánodo).

4.7.2. EQUIPO Y MATERIALES

1. Fuente de corriente continua dispositivo de alimentación eléctrica de corriente continúa de 12 V, provisto de un miliamperímetro y una resistencia variable.
2. Electrodos dos placas de acero inoxidable, de 25.4 mm de ancho y 101.6 mm de largo, aisladas entre sí y montadas en un dispositivo que las mantenga rígidamente paralelas, a una distancia de 12.7mm.

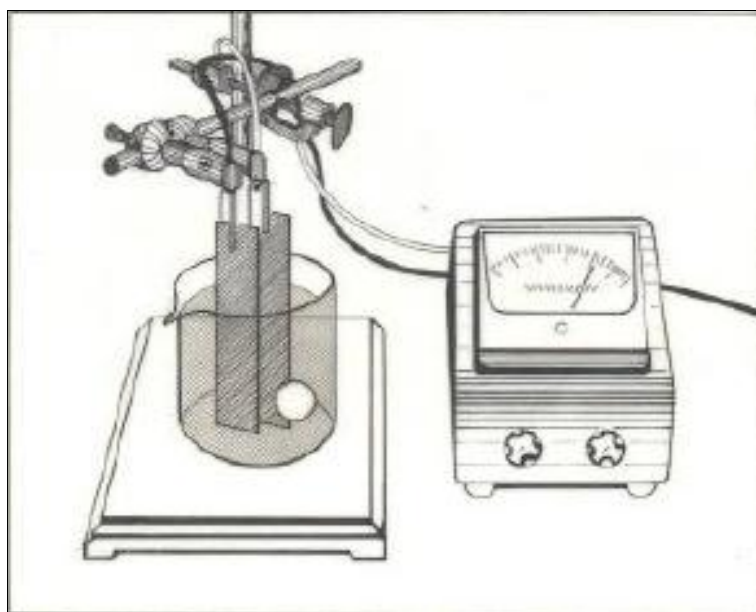


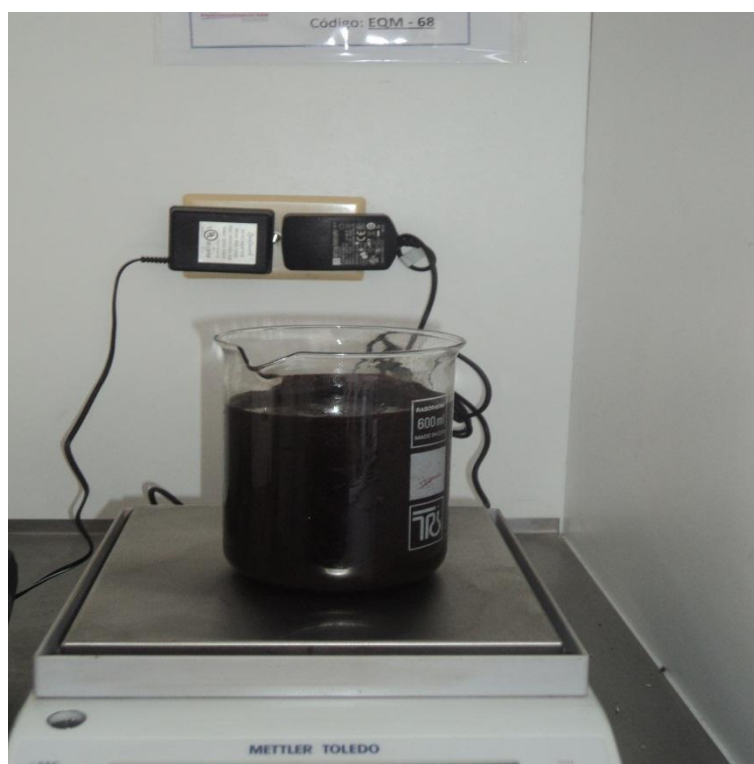
Figura 4. 6: Equipo para determinar la polaridad de la partícula

Fuente: Instituto Nacional de Vías de Colombia

3. Vasos de vidrio de 250 ml de capacidad.
4. Varillas de vidrio con una longitud de 101.6 mm y 63.5 mm de diámetro, u otro dispositivo apropiado, capaz de aislar y mantener suspendidos los electrodos dentro de la emulsión.
5. Baño de agua capaz de mantener la temperatura requerida de ensayo dentro de los límites especificados en esta práctica.
6. Termómetros.

4.7.3. PROCEDIMIENTO

1. Se calienta la emulsión para el ensayo a una temperatura de $50^{\circ} \pm 3^{\circ} \text{C}$, en un baño de agua previamente calentado a $71^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$. Se mezcla la emulsión a fin de homogeneizar la temperatura.
2. La muestra de emulsión se vierte en un vaso de vidrio en cantidad tal que permita sumergir 25.4 mm los electrodos dentro de ella.



Fotografía 4. 13: Muestra para realizar el ensayo

3. Se montan los electrodos, previamente limpios y secos, y se introducen en la emulsión hasta la señal de enrase de 25.4mm. Para su montaje se requiere el uso de varillas de vidrio u otro dispositivo para suspender los electrodos en la emulsión, tomando como soporte los bordes del vaso de vidrio que se está utilizando.

4. Se conectan los electrodos a la fuente de alimentación y se ajusta la intensidad de la corriente, mediante la resistencia variable, hasta unos 8mA, poniendo en marcha al mismo tiempo un reloj.



Fotografía 4. 14: Conexión de los electrodos a la fuente y realización del ensayo

5. Cuando la intensidad de la corriente baje a 2mA o hayan transcurrido 30 minutos, lo primero que suceda, se desconecta la corriente, se desmontan los electrodos y se lavan suavemente debajo de un delgado chorro de agua destilada.
6. Finalmente, se observa el depósito que queda en los electrodos; una emulsión catiónica producirá un depósito apreciable de ligante en el cátodo, (electrodo negativo), mientras que el ánodo, (electrodo positivo), permanecerá limpio. Por el contrario, en una emulsión aniónica el depósito aparecerá en el ánodo, permaneciendo el cátodo limpio.



Fotografía 4. 15: Resultado visual del ensayo

4.7.4. RESULTADOS DEL ENSAYO

| Emulsión | Tipo de Carga | |
|----------------------|---------------|----------|
| | Catiónica | Aniónica |
| CSS-1H(con polímero) | SI | - |

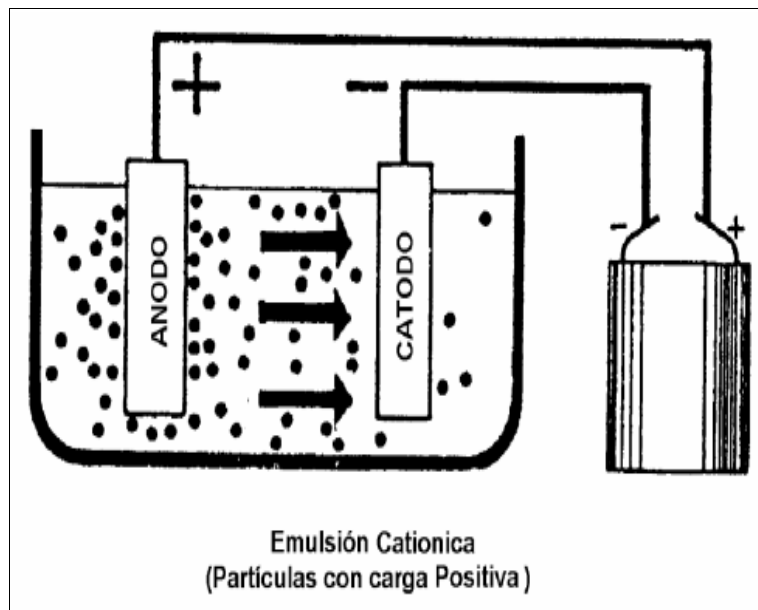


Figura 4. 7: Emulsión catiónica

Fuente: Instituto Nacional de Vías de Colombia

4.8. MEZCLA CON CEMENTO, NORMA AASHTO T-59/ASTM D-244

4.8.1. DESCRIPCIÓN

Esta norma establece el método para determinar la mezcla de emulsión asfáltica con cemento.

Por medio del ensayo se determina el porcentaje de emulsión que rompe cuando se mezcla con cemento, bajo condiciones establecidas.

4.8.2. EQUIPO Y MATERIALES

1. Tamices, No 80 y No.14
2. Recipiente, de tamaño apropiado para que pueda colocarse el tamiz
3. Varilla de acero, para agitación
4. Horno, con temperatura constante de $163^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$
5. Balanza, de 2000 gr de capacidad y de 0.1 gr de sensibilidad
6. Cemento Portland

4.8.3. PROCEDIMIENTO

1. Diluir con agua destilada hasta que contenga un 55% de asfalto, determinándolo, bien por destilación o bien por evaporación durante 3 horas, a 163°C .
2. Tamizar una porción de cemento portland a través del tamiz N°80 y se pesan 50 ± 0.1 g del pasante sobre la balanza previamente encerada con el recipiente.



Fotografía 4. 16: Cemento tamizado y pesado

3. Llevar los ingredientes y aparatos a una temperatura de aproximadamente 25°C antes de mezclar.
4. Agregar 100 gr de emulsión diluida al cemento y mezclar inmediatamente, durante un 1 minuto, con un movimiento circular, de manera que se den 60 revoluciones por minuto. Al final de este período de mezcla, se añaden 150 cm³ de agua destilada y se continúa la agitación durante 3 minutos más.



Fotografía 4. 17: Mezcla de emulsión, cemento y agua

5. Pasar la mezcla a través del tamiz N°14 previamente pesado y lavar el tamiz con agua destilada, desde un recipiente colocado a una altura de 15cm, hasta que el agua de lavado salga clara.



Fotografía 4. 18: Vertido de la mezcla sobre el tamiz y lavado

6. Colocar el tamiz en un recipiente tarado, e introducir en el horno a una temperatura de 163°C y pesarlo hasta lograr un peso constante que no difiera en más de 0.1gr.



Fotografía 4. 19: Residuo de la muestra ensayada

4.8.4. RESULTADOS DEL ENSAYO

Dónde:

A = Peso del tamiz + recipiente en gr

B = Peso del tamiz + recipiente + residuo en gr

| Emulsión | A (gr) | B (gr) | Mezcla con cemento (%) | Especificación | |
|----------------------|-----------|-----------|---------------------------|----------------|------------|
| | | | | Min (%) | Max (%) |
| CSS-1H(con polímero) | 559,47 | 559,60 | 0,13 | 0 | 2 |

Nota: La emulsión se encuentra dentro del rango aceptable que es entre el 0 y 2% de la muestra, por lo tanto si cumple.

4.9. ENSAYO DE PH, NORMA AASHTO T-59/ASTM D-244

4.9.1. DESCRIPCIÓN

Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para la determinación del valor del pH de la fase acuosa de las emulsiones asfálticas.

Este ensayo establece el grado de acidez o alcalinidad, en la cual se puede decir que las emulsiones catiónicas son ácidas ($\text{pH} < 7$) y las aniónicas son alcalinas o básicas ($\text{pH} > 7$), las variaciones de pH influyen directamente sobre la estabilidad y la adhesividad de las emulsiones con el agregado.

4.9.2. EQUIPO Y MATERIALES

1. pH metro electrónico se utilizará preferentemente un pH-metro con doble escala (una para el campo ácido de la medida y otro para el alcalino).
2. Vaso de precipitación, de 1000 ml.
3. Balanza, de 2000 gr de capacidad y de 0.1 gr de sensibilidad
4. Agua destilada.
5. Acetona (disolvente para limpieza del equipo)

4.9.3. PROCEDIMIENTO

1. Se agita la muestra en el laboratorio un par de minutos con el fin de uniformizar la emulsión, se toma la cantidad necesaria para ensayo. Las mediciones se realizan a temperaturas comprendidas entre 20° y 30° C.
2. Colocar y pesar 500 gr de emulsión previo su agitación, sobre la balanza previamente encerada con el vaso de precipitación.
3. Humedecer el pH – metro electrónico en agua destilada antes de introducirlo en la emulsión, este procedimiento es realizado para tener un rango estable de lectura y ver si el aparato esta con una calibración adecuada, observando que el pH del agua destilada es de carácter básico y marca aproximadamente entre 5.6 y 6. Si no se cuenta con agua destilada se puede utilizar agua potable que tiene un pH entre 6.5 y 7.5.
4. Luego de la calibración del equipo se introduce el pH – metro electrónico en la emulsión por unos segundos hasta que el equipo pueda estabilizarse.



Fotografía 4. 20: Colocación del pH – metro electrónico en la emulsión

5. Después de dicho periodo se procede a determinar su lectura en el pH – metro electrónico de la emulsión.
6. Finalmente, se procede a la limpieza del pH – metro electrónico, con un poco de acetona y enjuagándolo con agua destilada.

4.9.4. RESULTADOS DEL ENSAYO

| Emulsión | Unidad (pH) | Especificación | |
|----------------------|-------------|----------------|-----|
| | | Min | Max |
| CSS-1H(con polímero) | 2,05 | 1,5 | 2,5 |

Nota: La emulsión analizada es catiónica ($\text{pH} < 7$), y tiene un pH de 2,05 que se encuentra dentro del rango de especificación.

4.10. ENSAYO DE RESIDUO ASFALTICO POR EVAPORACIÓN, NORMA AASHTO T-59/ASTM D-244

4.10.1. DESCRIPCIÓN

Éste método de ensayo, cubre la determinación cuantitativa de los residuos en las emulsiones asfálticas compuestas principalmente de base asfáltica semisólida o líquida, de agua y un agente emulsificante. La prueba puede ser usada para indicar características de composición de asfalto emulsionado.

Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para la determinación del residuo por evaporación a 163° C, de las emulsiones asfálticas.

Mediante este ensayo se determina el porcentaje de asfalto que contiene una emulsión, evaporando el agua y pesando el residuo.

El residuo por evaporación obtenido se utiliza para establecer otras propiedades a través de ensayos de caracterización, sin embargo las propiedades del residuo difieren, dependiendo del método empleado para su obtención (por evaporación o por destilación).

4.10.2. EQUIPO Y MAREIALES

1. Dos vasos de precipitación, de 600cm³ de capacidad
2. Varilla de vidrio, para agitación
3. Balanza, de 2000 gr de capacidad y de 0.1 gr de sensibilidad
4. Horno, con temperatura constante de 163° ± 5°C

4.10.3. PROCEDIMIENTO

1. Pesar cada uno de los vasos con su respectivo agitador.
2. Pesan 50 ± 0.1 g de muestra en cada uno de los dos vasos con las respectivas varillas de vidrio, habiendo tarado previamente el conjunto vaso y varilla de vidrio, cada conjunto de vaso y varilla.



Fotografía 4. 21: Peso de la emulsión

3. Se colocan los vasos en el horno, cuya temperatura se ha regulado a $163^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$ y se dejan durante 2 horas. Revisando que no se produzcan salpicaduras del material durante este tiempo.



Fotografía 4. 22: Colocación de las muestras en el horno

4. Seguidamente, se sacan del horno y se agita bien el residuo.
5. Después de la agitación se vuelven a colocar los vasos y las varillas en el horno durante 1 hora.

6. Finalmente cuando termine este último periodo de tiempo se procede a sacar los vasos del horno y dejarlos enfriar a temperatura ambiente para luego pesar cada uno de ellos junto con su agitador.

Nota: Se deben tener las debidas precauciones a fin de evitar pérdidas de la muestra, cuando estas son vertidas en el vaso o se agitan o cuando se colocan en el horno.

4.10.4. RESULTADOS DEL ENSAYO

$$\% \text{ Residuo asfáltico} = \frac{A-B}{C} * 100$$

Dónde:

A = Peso del vaso + varilla + residuo en gr

B = Peso del vaso + varilla en gr

C = Peso de la muestra en gr

| Emulsión | A | B | C | Residuo | Promedio | Especificación | |
|----------------------|-------|------|------|---------|----------|----------------|-----|
| | (gr) | (gr) | (gr) | (%) | (%) | Min | Max |
| | (gr) | (gr) | (gr) | (%) | (%) | (%) | (%) |
| CSS-1H(con polímero) | 131,2 | 99,3 | 50 | 63,8 | 63,8 | 57 | 64 |
| | 127,1 | 95,2 | 50 | 63,8 | | | |

4.11. PUNTO DE REBLANDECIMIENTO, NORMA AASHTO T-53/ASTM D-36

4.11.1. DESCRIPCIÓN

Este método cubre la determinación del punto de ablandamiento de productos bituminosos en el intervalo de 30° a 157° C, utilizando el aparato de anillo y bola, sumergido en agua destilada 30° a 80° C.

Los productos bituminosos son materiales viscoelásticos y no cambian del estado sólido al estado líquido a una temperatura definida, sino que gradualmente se tornan más blandos y menos viscosos cuando la temperatura se eleva. Por esta razón, el punto de ablandamiento se debe determinar por medio de un método arbitrario fijo, pero definido que produzca resultados reproducibles y comparables.

El punto de ablandamiento es útil para clasificar productos bituminosos y es un valor índice de la tendencia del material a fluir cuando está sometido a temperaturas elevadas, durante su vida de servicio.

4.11.2. EQUIPO Y MATERIALES

1. Anillos de bronce, de bordes cuadrados.
2. Platos de base hechos de material no absorbente, con espesor suficiente para prevenir la deformación y de tamaño adecuado (50 x 75 mm) para mantener dos o más anillos.
3. Bolas de acero, de 9.5 mm de diámetro, pesando cada una 3.5 ± 0.05 g.
4. Guías de contacto de las bolas de bronce.
5. Recipiente de vidrio que se pueda calentar, con un diámetro interno no menor de 85 mm, y altura entre la base y el borde de 120 mm como mínimo, con capacidad de 800 ml.
6. Soporte de anillos y montaje completo un soporte de bronce diseñado, para sostener los dos anillos en posición horizontal.

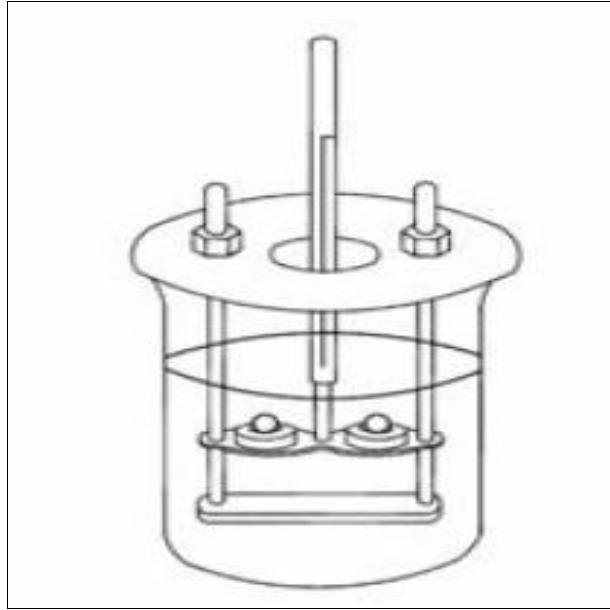


Figura 4. 8: Montaje del aparato con dos anillos

Fuente: Instituto Nacional de Vías de Colombia

7. Termómetros, de -2° a $+ 80^{\circ}\text{C}$ (30° a 180°F).
8. Agua destilada
9. Hielo
10. Agente aislante, que se usan para evitar la adherencia del producto bituminoso sobre el plato de base, cuando se hacen los discos. Se coloca en una ligera capa sobre la superficie que se quiere proteger.

4.11.3. PROCEDIMIENTO

1. Antes de iniciar se debe verificar todo para terminar el ensayo dentro de 6 horas. Se calienta la muestra de material bituminoso en forma cuidadosa, se agita frecuentemente para evitar sobrecalentamientos localizados, hasta asegurar que esté suficientemente fluida para poderla verter. Al agitarse, se deberá evitar la formación de burbujas.



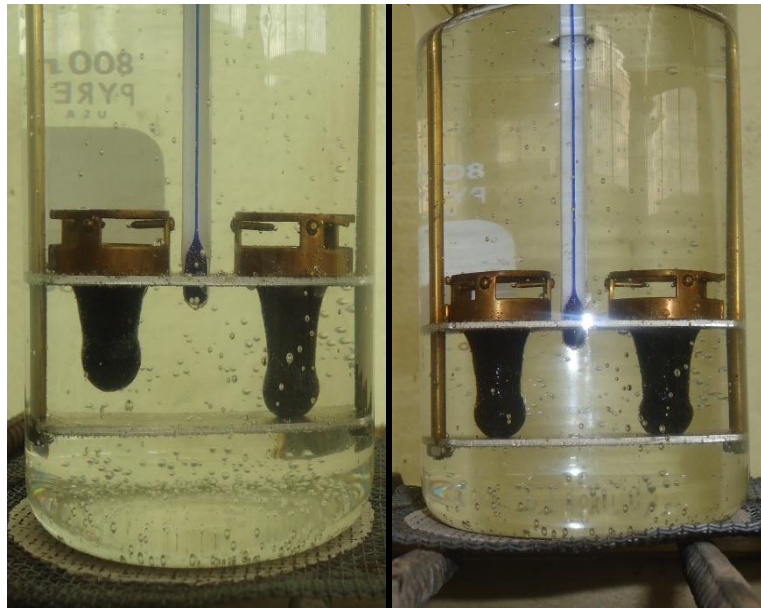
Fotografía 4. 23: Muestra fluida para fabricar los anillos

2. Si el ensayo se debe repetir, no se recalentará la muestra, sino que se deberá utilizar una muestra fresca.
3. Se calientan los dos anillos de bronce sin el plato de base, aproximadamente a la misma temperatura del producto asfáltico, y se colocan sobre el plato de base, tratado con un agente aislante.
4. Se vierte, con un ligero exceso, el producto bituminoso dentro de los anillos y se deja enfriar a temperatura ambiente durante 30 minutos.
5. Desde el momento en que se forman los discos, no deberán transcurrir más de 240 minutos hasta la terminación del ensayo.
6. Cuando los especímenes estén fríos, se corta el exceso de material de la parte superior, con un cuchillo o espátula precalentada, para que la superficie del disco coincida con el nivel superior del anillo.
7. Se hace el montaje de los aparatos en un laboratorio ventilado, colocando los anillos con los especímenes, las guías para las bolas y los termómetros en posición, y se llena el baño con el líquido apropiado hasta una altura de $105 \pm 3\text{mm}$.



Fotografía 4. 24: Montaje del equipo para realizar el ensayo

8. Se colocan las dos bolas en el fondo del baño para que adquieran la misma temperatura de iniciación que el resto del montaje.
9. Se coloca todo el conjunto del baño, en agua con hielo hasta obtener una temperatura de 0°C para el inicio del ensayo.
10. Se coloca cada una de las dos bolas en la guía para su centrado.
11. Se calienta el baño en forma pausada, para asegurar que la rata de elevación de la temperatura sea constante a 5° C por minuto.
12. Se anota para cada anillo y bola, la temperatura indicada por el termómetro en el momento en que el producto bituminoso que rodea la bola, toque el fondo del plato de base. Si la diferencia entre las dos temperaturas excede de 1° C, se repite el ensayo.



Fotografía 4. 25: Finalización del ensayo

Nota: Para el calentamiento se permite el uso de un mechero de gas.

4.11.4. RESULTADOS DEL ENSAYO

| Emulsión | Bola 1 | Bola 2 | Punto de Reblandecimiento |
|----------------------|--------|--------|---------------------------|
| | | | (°C) |
| CSS-1H(con polímero) | 60 | 61 | 60,5 |

Nota: El valor mínimo de reblandecimiento es de 57°C, por lo que esta emulsión si cumple con lo especificado.

4.12. PENETRACIÓN DEL RESIDUO, NORMA AASHTO T-49/ASTM D-5

4.12.1. DESCRIPCIÓN

Éste método de ensayo cubre la determinación de la penetración de materiales bituminosos semisólidos y sólidos.

Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para determinar la consistencia de los materiales asfálticos sólidos o semisólidos en los cuales el único o el principal componente es un asfalto.

La penetración se define como la distancia, expresada en décimas de milímetro hasta la cual una aguja normalizada penetra verticalmente en el material en condiciones definidas de carga, tiempo y temperatura. Normalmente, el ensayo se realiza a 25° C (77° F) durante un tiempo de 5 segundos y con una carga móvil total, incluida la aguja, de 100 g, aunque se pueden emplear otras condiciones previamente definidas.

El ensayo de penetración se usa como una medida de consistencia. Altos valores de penetración indican consistencias más blandas.

4.12.2. EQUIPO Y MATERIALES

1. Penetrómetro aparato para la medida de las penetraciones y, en esencia estará constituido por un mecanismo que permita el movimiento vertical sin rozamiento apreciable de un vástago o soporte móvil al cual se pueda fijar firmemente por su parte inferior, la aguja de penetración; y que permita, además, la colocación sobre el mismo, de diferentes cargas suplementarias; el aparato deberá estar calibrado para dar directamente la lectura en unidades de penetración.
2. Aguja de penetración, la aguja será de acero inoxidable endurecido y templado, tendrá unos 50 mm de longitud y entre 1.00 y 1.02 mm de diámetro, con uno de sus extremos simétricamente afilado hasta formar un cono de ángulo comprendido entre 8° 40' y 9° 40' en toda su longitud, y cuyo eje sea coaxial con el de la aguja.

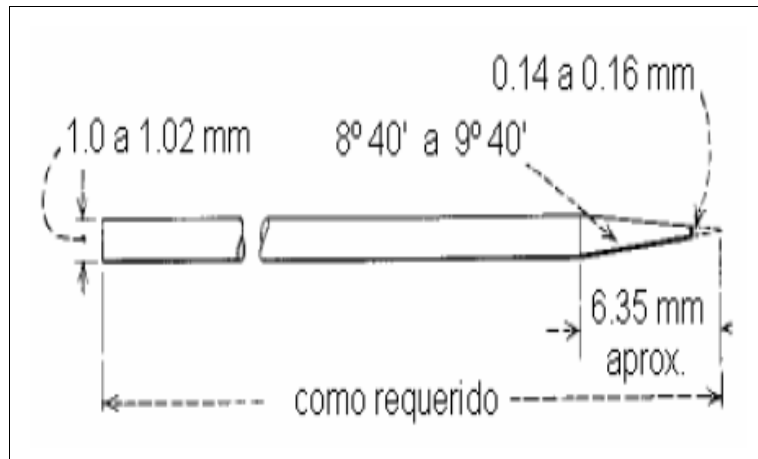


Figura 4. 9: Aguja para el ensayo de penetración

Fuente: Instituto Nacional de Vías de Colombia

3. Recipiente o molde para la muestra, los recipientes para las muestras serán de metal o vidrio, de forma cilíndrica y fondo plano.
4. Baño María.
5. Dispositivo medidor de tiempo.
6. Termómetros para controlar las temperaturas del ensayo en el baño maría se dispondrá de termómetros de mercurio con varilla de vidrio, de inmersión total, con subdivisiones y escala máxima de error de 0.1° C

4.12.3. PROCEDIMIENTO

1. Se separarán con una espátula caliente unos 400 a 500 gr de material obtenida del residuo que se colocarán en un recipiente, que se calienta cuidadosamente agitándolo para evitar sobrecalentamientos locales y para homogeneizar el material, hasta que alcance la fluidez que permita su vertido en los moldes para las probetas. El tiempo total de calentamiento no excederá 30 minutos, evitándose la formación de burbujas de aire.
2. Se llena los moldes hasta una altura que permita realizar la penetración. Se preparará un total de dos moldes por cada muestra de material y ensayo de iguales características.
3. Después de llenar los moldes, se dejan enfriar a temperatura ambiente durante una hora.



Fotografía 4. 26: Muestra enfriada al ambiente dentro del molde

4. Luego, se sumergen los recipientes en el baño maría a la temperatura de 25°C, manteniéndolos así durante los mismos períodos de enfriamiento.
5. Las condiciones normalizadas del ensayo son respectivamente, de 25° C, 100 g y 5 segundos para la temperatura, la carga y el tiempo de duración de la misma. Sin embargo, se admite emplear otras condiciones de ensayo, como por ejemplo:

| Temperatura °C (°F) | Carga g | Tiempo s |
|------------------------|------------|-------------|
| 0 (32) | 200 | 60 |
| 4 (39.2) | 200 | 60 |
| 25 (77) | 100 | 5 |
| 25 (77) | 50 | 5 |
| 45 (113) | 50 | 5 |
| 46.1 (115°) | 50 | 5 |

Tabla 4. 2: Diferentes condiciones para el ensayo

Fuente: Instituto Nacional de Vías de Colombia

6. Cuando las condiciones del ensayo no se mencionan expresamente, se entenderá que serán las normalizadas, debiéndose especificar claramente en los demás casos las condiciones especiales que se podrán emplear.

7. Se comprueba que el vástago que soporta la aguja este perfectamente limpio y seco, y que se deslice en forma suave y sin rozamiento sobre su guía.
8. Una vez transcurridos los tiempos de inmersión en el baño maría, se aproxima la aguja del penetró metro hasta que su punta toque justamente la superficie de la muestra, sin que penetre.
9. Se encera el penetró metro y se suelta seguidamente el mecanismo que libera la aguja durante el tiempo especificado de 5 segundos. Finalmente, se lee y anota la distancia, expresada en décimas de milímetro, que haya penetrado la aguja en la muestra.



Fotografía 4. 27: Realización del ensayo

10. Con cuidado saque la aguja de la muestra, coloque la muestra de nuevo en el baño maría, y limpie la aguja para eliminar residuos de asfalto.
11. Se realizarán al menos tres penetraciones en cada recipiente y si es necesario repita la prueba hasta que las 3 lecturas sean similares, sobre diferentes puntos de la superficie separados, como mínimo, 10 mm entre sí y de las paredes del recipiente. Después de cada penetración, se desmonta y saca la aguja y se limpia cuidadosamente con un trapo limpio y seco.

4.12.4. RESULTADOS DEL ENSAYO

| Emulsión | Muestra 1 (1/10mm) | Muestra 2 (1/10mm) | Muestra 3 (1/10mm) | Penetración (1/10mm) | Especificación | |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|
| | | | | | Min (1/10mm) | Max (1/10mm) |
| CSS-1H(con polímero) | 47 | 46 | 45 | 46 | 40 | 90 |

Nota: El residuo asfáltico presenta una penetración de 46 (1/10mm), que se encuentra más próximo al límite inferior por lo tanto tiene una consistencia alta.

4.13. DUCTILIDAD DEL RESIDUO, NORMA AASHTO T-51/ASTM D-113

4.13.1. DESCRIPCIÓN

Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para la determinación de la ductilidad de los materiales asfálticos, de consistencia sólida y semisólida.

El procedimiento consiste en someter una probeta del material asfáltico a un ensayo de tracción, en condiciones determinadas de velocidad y temperatura, en un baño de agua de igual densidad, definiéndose la ductilidad como la distancia máxima en cm que se estira la probeta hasta el instante de la rotura.

4.13.2. EQUIPO Y MATERIALES

1. Ductilómetro con un baño de agua capaz de mantener la temperatura de prueba normalmente a 4° o 25°C.
2. Tres moldes de ensamble de bronce o zinc para fabricar las briquetas, plato base, piezas laterales y mordaza.

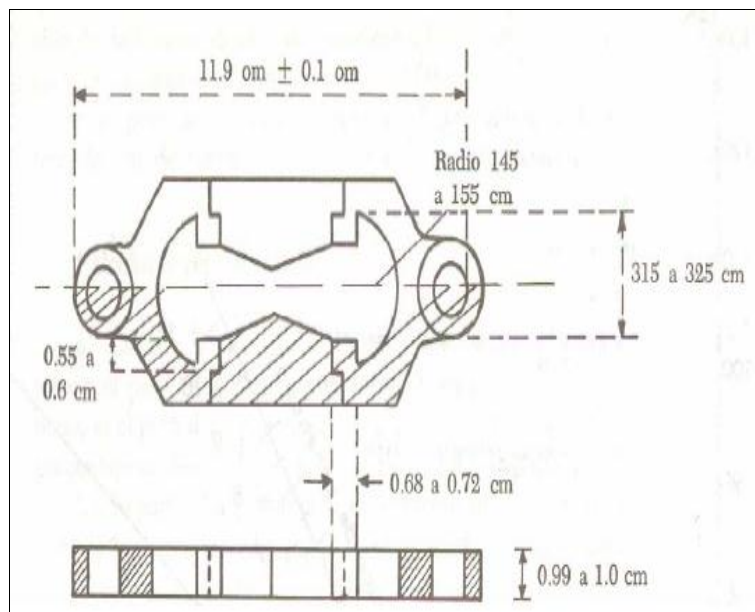


Figura 4. 10: Molde y placa para el ductilómetro

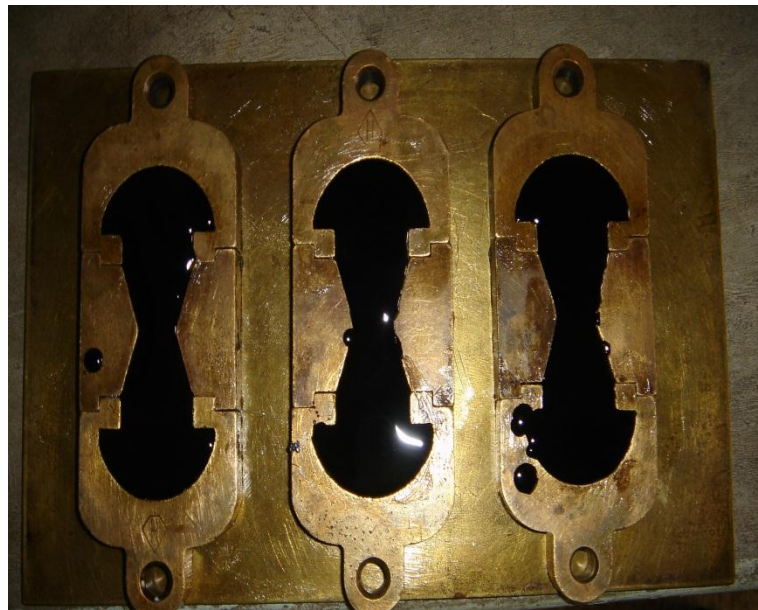
Fuente: Emulsiones asfálticas de Gustavo Rivera E.

3. Placa, para el llenado de los moldes, de bronce, plana y provista de un tornillo lateral.
4. Mechero.
5. Espátula o cuchillo.

6. Baño maría
7. Termómetro de 8° a 32°C.

4.13.3. PROCEDIMIENTO

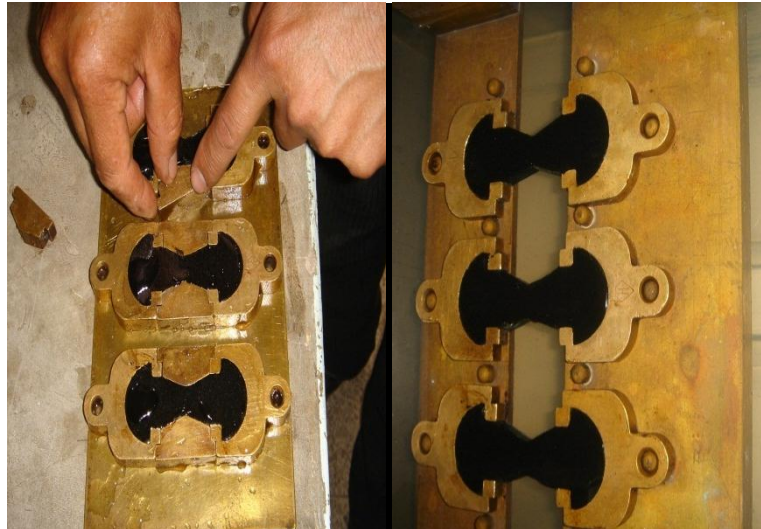
1. Regule el ductilómetro a la temperatura de la prueba deseada, asegúrese que la flecha se encuentre en cero.
2. Recubra el plato base y las paredes internas de las piezas laterales con vaselina para evitar adherencia del material a la placa y partes interiores del molde, ensamble el molde con las mordazas y las piezas laterales sobre el plato base.
3. Caliente el material asfáltico cuidadosamente, agitándolo en cuanto su consistencia lo permita para prevenir los sobre calentamientos locales, hasta que este lo suficiente fluido para verterlo.
4. Vacíe el material en los moldes, con un movimiento de atrás hacia delante del molde, hasta rebasar ligeramente el nivel de enrase. Evite la formación de burbujas, sí se llegara a incorporar burbujas de aire quémelas con un encendedor.



Fotografía 4. 28: Llenado de los moldes con la muestra

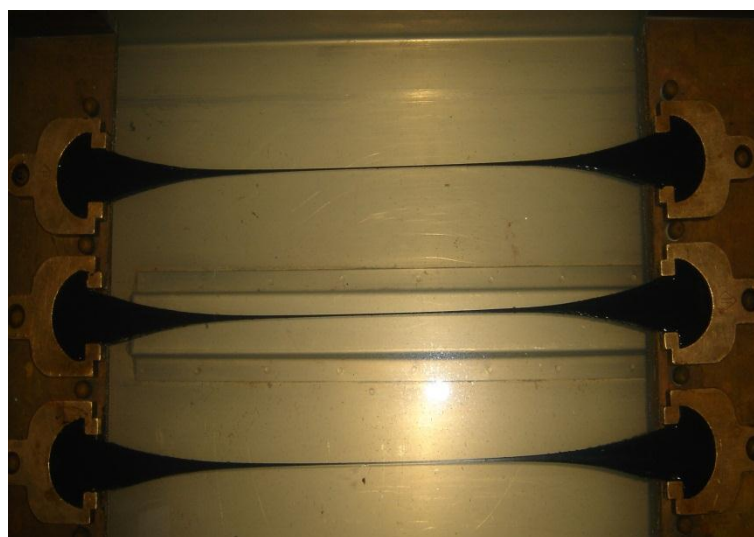
5. Deje enfriar los moldes por 30 minutos a temperatura ambiente.
6. Después de enfriarlos coloque los moldes en el baño maría del ductilómetro a la temperatura especificada por 30 minutos más.
7. Enrase los moldes con una espátula o cuchillo caliente para eliminar el exceso de asfalto en los moldes, coloque nuevamente los moldes en el baño maría a 25°C por una hora y media.

- Después de 90 minutos, cuidadosamente quite las piezas laterales del molde y separe las briquetas de la base. Fije las briquetas con sus mordazas en el ductilómetro sujetando los extremos de estas en los ganchos del aparato.



Fotografía 4. 29: Retiro de piezas laterales del molde y fijación en el ductilómetro

- Encienda el motor, fije la flecha a la barra y jale la muestra con una velocidad de 5 cm por minuto, hasta producir una rotura en la muestra o briqueita, se mide la distancia que se hayan separado ambas pinzas hasta este instante en cm.
- Durante la realización del ensayo, al irse estirando las probetas, deberán permanecer en todo momento sumergida en el agua del ductilómetro, a una temperatura de 25°C sin aproximarse a la superficie o al fondo.



Fotografía 4. 30: Observación de las probetas durante el ensayo

11. Si durante el ensayo, el material bituminoso al estirarse tiene tendencia a subir hasta la superficie del agua o tocar la placa de fondo del ductilómetro, se deberá ajustar la densidad relativa del agua a la del material ensayado, añadiendo alcohol metílico o cloruro de sodio según el caso, hasta conseguir que el hilo quede lo más recto posible, sin elevarse o descender.

12. Anote la elongación en cm, si la muestra no rompe anote 150 cm como la lectura obtenida

4.13.4. RESULTADOS DEL ENSAYO

Se ensayarán tres probetas por muestra, y el promedio se expresará como el resultado de la ductilidad, especificando las condiciones de velocidad y temperatura a las que se haya realizado el ensayo.

| Emulsión | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 | Ductilidad | Especificación |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|------------|----------------|
| | (cm) | (cm) | (cm) | (cm) | Min (cm) |
| CSS-1H(con polímero) | 77 | 77 | 74 | 76 | 40 |

Nota: El residuo asfáltico presenta una ductilidad de 76 cm, que se encuentra más alto de la especificación mínima, por lo tanto si cumple.

CAPITULO 5

5. ANALISIS Y COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS

5.1. CLASE DE MEZCLA PREPARADA

El Micro pavimento consistirá de una mezcla de una emulsión asfáltica aprobada, agregado mineral y agua especificados, proporcionados, mezclados y uniformemente esparcidos sobre una superficie adecuadamente y preparada.

El Micro pavimento completo deberá dejar una capa homogénea adherida firmemente a la superficie preparada y tener una textura superficial resistente al rozamiento.

Antes de realizar el diseño de la mezcla, se deben tener en cuenta los siguientes factores que es la especificación del agregado como de la emulsión que se detallan a continuación.

ESPECIFICACIÓN DEL AGREGADO

CANTERA: CALAGUA

| REQUISITO | NORMA | U | ESPECIFICACIÓN | | RESULTADO |
|----------------------|---------------|-------------------|----------------|-----|-----------|
| | | | MIN | MAX | |
| Granulometría | ASTM C - 136 | - | - | - | FAJA N° 3 |
| Abrasión | ASTM C - 131 | (%) | - | 30 | 20,50 |
| Gravedad Específica | ASTM C - 128 | gr/m ³ | - | - | 2,58 |
| Azul de Metileno | ISSA TB - 145 | mgr/gr | - | 10 | 2,00 |
| Equivalente de Arena | ASTM D - 2419 | (%) | 65 | - | 82,26 |

ESPECIFICACIÓN DE LA EMULSIÓN

EMULSIÓN: CSS-1h

| REQUISITO | NORMA | U | ESPECIFICACIÓN | | RESULTADO |
|----------------------------|--------------|----------|-------------------|-----|-----------|
| | | | MIN | MAX | |
| Viscosidad Saybolt Furol | ASTM D - 244 | ssf | 20 | 100 | 23,5 |
| Estabilidad a las 24 horas | ASTM D - 244 | (%) | - | 1 | 0,34 |
| Asentamiento a los 5 días | ASTM D - 244 | (%) | - | 5 | 0,18 |
| Retenido en Malla N° 20 | ASTM D - 244 | (%) | 0 | 0,1 | 0,003 |
| Carga de la Partícula | ASTM D - 244 | - | positiva/negativa | | positava |
| Mezcla con cemento | ASTM D - 244 | (%) | 0 | 2 | 0,13 |
| PH | ASTM D - 244 | pH | 1,5 | 2,5 | 2,05 |
| Residuo Asfáltico | ASTM D - 244 | (%) | 57 | 64 | 63,8 |
| Punto de Reblandecimiento | ASTM D - 36 | °C | 57 | - | 60,5 |
| Penetración del residuo | ASTM D - 5 | (1/10mm) | 40 | 90 | 46 |
| Ductilidad del Residuo | ASTM D - 133 | (cm) | 40 | - | 76 |

5.2. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE TEÓRICO DE EMULSIÓN

5.2.1. DESCRIPCIÓN

El método a utilizar es el *Método de Hveen* que es la determinación del área superficial del agregado, este es un parámetro usado para aproximar el contenido de asfalto de la mezcla. El área superficial se determina después de tamizar en seco una muestra de agregado y pesar el contenido de cada tamiz. Esta información luego es convertida en el área superficial estimada de la muestra mediante el uso de una tabla de *Factores de Área Superficial*. El área superficial se expresa en términos de metros cuadrados por kilogramo (pies cuadrados por libra) y varía inversamente con el tamaño del agregado⁹

| Tamaño Máximo en mm No. | 4.75 (4) | 2.36 (8) | 1.18 (18) | 0.60 (30) | 0.30 (50) | 0.15 (100) | 0.075 (200) | |
|--|------------------------|-------------|--------------|-------------------|--------------|---------------------|----------------|----------------|
| Factor de Área Superficial* ft ² /lb(m ² /kg) | 2 (.41) | 2 (.41) | 4 (.82) | 8 (1.64) | 14 (2.87) | 30 (6.14) | 60 (12.29) | 160 (32.77) |
| * Los factores de área superficial se aplican solamente cuando todos los tamices citados arriba se usan en el análisis de tamices. | | | | | | | | |
| Tamaño de Tamiz | Porcentaje que Pasa | | × | Factor de A.S. | = | Área Superficial | | |
| 19.0 mm (3/4") | 100 | | | 2 (.41) | | 2.0 (.41) | | |
| 9.5 mm (3/8") | 90 | | | 2 (.41) | | 1.5 (.31) | | |
| 4.75 mm (No. 4) | 75 | | | 4 (.82) | | 2.4 (.49) | | |
| 2.36 mm (No. 8) | 60 | | | 8 (1.64) | | 3.6 (.74) | | |
| 1.18 mm (No. 16) | 45 | | | 14 (2.87) | | 4.9 (1.00) | | |
| 0.60 mm (No. 30) | 35 | | | 30 (6.14) | | 7.5 (1.54) | | |
| 0.30 mm (No. 50) | 25 | | | 60 (12.29) | | 10.8 (2.21) | | |
| 0.15 mm (No. 100) | 18 | | | 160 (32.77) | | 16.0 (3.28) | | |
| 0.075 mm (No. 200) | 10 | | | | | | | |
| Área Superficial = 48.7 ft ² /lb (9.98 m ² /kg) | | | | | | | | |

Tabla 5. 1: Factores para Determinar La Capacidad Superficial del Agregado

Fuente: *Principios de Construcción de Pavimentos de Mezclas Asfálticas en Caliente y Tesis Slurry Seal*

⁹ Principio de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente- Capítulo 3- Pág. 86,87.

5.2.2. PORCENTAJE TEÓRICO DE EMULSIÓN

CANTERA: CALAGUA

EMULSIÓN: CSS-1h

% Humedad inicial agregado en laboratorio = 0 %

Espesor medio capa de Micro pavimento = 10 mm

Peso específico del asfalto = 1.014 gr/cm³

Concentración de la emulsión = 63.80% asfalto (residuo)

= 36,20% agua

$$\% L = S.T.A * t * 0.02047 * D.B$$

Dónde:

L = Contenido de asfalto residual sobre el peso del agregado

S.T.A = Superficie teórica del agregado (pies²/libra) = Suma (% Pasa*Factor Hveen)

t = Espesor de la película de micro pavimento

0.02047 = Coeficiente de conversión de unidades

D.B = Peso específico del asfalto

| Tamiz | Pasa | Especificado | Factor Hvenn | %Pasa*Factor |
|--------------|------|--------------|--------------|--------------|
| 3/8 | 100 | 100 | 0,02 | 2,00 |
| 4 | 81 | 70-100 | 0,02 | 1,62 |
| 8 | 55 | 45-70 | 0,04 | 2,20 |
| 16 | 34 | 28-50 | 0,08 | 2,72 |
| 30 | 20 | 19-34 | 0,14 | 2,80 |
| 50 | 11 | 12-25. | 0,30 | 3,30 |
| 100 | 7 | 7-18. | 0,60 | 4,20 |
| 200 | 4 | 5-15. | 1,60 | 6,40 |
| S.T.A | | | | 25,24 |

Porcentaje de asfalto residual sobre el peso del agregado

$$\% L = 25.24 * 10 * 0.02047 * 1.014$$

% L = 5.24% asfalto residual

Porcentaje teórico de emulsión

$$\% E = \% L * 100 / \% \text{Asfalto}$$

$$\% E = 5.24 * 100 / 63.80$$

$$\% E = 8.21\%$$

Nota: Por cada porcentaje de cemento o cal, aumentar el 0.6% de emulsión.

En vista de que el agregado tiene una deficiencia de filler, agregaremos un 2% de cemento.

En 2% de cemento tenemos 1.2% de emulsión

$$\% E = 8.21 + 1.2$$

$$\% E = 9.41\%$$

Nota: En obra se deberá realizar la corrección de humedad para disminuir la dosificación del micro pavimento, ya sea por aspectos climáticos que modifican el contenido de agua del agregado.

5.3. CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMA (CONSISTENCIA CON EL CONO), NORMA ISSA TB - 106/ASTM D - 3910

5.3.1. DESCRIPCIÓN

Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para determinar la consistencia mediante el cono, de una lechada bituminosa.

La determinación de la consistencia de la lechada es una operación importantísima, que permitirá definir la cantidad de agua óptima para una correcta trabajabilidad de la mezcla.

De entre los métodos ideados, el más empleado es el puesto por el Departamento de Transporte de Kansas, denominado “Cono de Consistencia”.

El ensayo consiste en llenar con la lechada un molde tronco-cónico apoyado sobre su base mayor en una escala circular graduada. Una vez retirado el molde, se mide el aumento de diámetro inicial que experimenta, a causa de la fluencia, la masa de lechada. Una fluidez de la lechada de 2 a 3 cm, es considerada como la adecuada.

5.3.2. EQUIPO Y MATERIALES

1. Molde cónico, de metal o plástico rígido, de 38 mm de diámetro en su base superior, 89 mm de diámetro en su base inferior y 76 mm de altura.



Fotografía 5. 1: Molde cónico de metal

2. Base graduada circular en cm, se puede utilizar hojas de papel impresas con los círculos descritos para el ensayo, que se desechan después del ensayo.

3. Balanza de 2.000 gramos de capacidad y 0.1 gramo de sensibilidad.
4. Horno, con temperatura constante de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
5. Espátula.
6. Recipientes.

5.3.3. PROCEDIMIENTO

1. Los agregados por utilizar en el ensayo se secan en el horno hasta una masa constante, con el fin de partir con una humedad inicial igual a cero.
2. A continuación se pesan unos 500 gramos de muestra, sí existe una deficiencia de finos en la granulometría del agregado, agregar cemento Portland y mezclar por 1 minuto o hasta tener una total distribución del cemento en el agregado.
3. La emulsión se agita en su envase con una varilla gruesa de vidrio hasta conseguir su total homogeneidad, comprobando que no presente signos de rotura o sedimentación.
4. A continuación mezclar las proporciones elegidas de llenante mineral y agua, seguidamente se procede al amasado de estos componentes hasta su total mezclado.
5. Con el porcentaje teórico de emulsión descrito en el numeral 5.2, se calcula la cantidad de emulsión a colocar en la mezcla en función al peso del agregado, mezclándose el conjunto de materiales con la espátula entre 1 y 3 minutos, hasta obtener un amasado homogéneo.



Fotografía 5. 2: Colocación del porcentaje teórico de emulsión

6. Generalmente, será necesario ensayar diferentes mezclas con porcentajes variables de agua y el óptimo calculado de emulsión, hasta conseguir un amasado con la consistencia adecuada.

7. Se coloca la base graduada circular sobre una superficie firme horizontal, centrando sobre la misma la base mayor del molde tronco cónico. Si se utilizan las hojas impresas de papel se procede de la misma forma, utilizando como base cualquier superficie horizontal.
8. La mezcla de micro pavimento recién fabricada se vierte suavemente en el interior del cono por la abertura superior con ayuda de una espátula, hasta un ligero exceso; se enrasa.



Fotografía 5. 3: Mezcla de micro pavimento en el interior del molde

9. Seguidamente se levanta el molde con un rápido movimiento vertical, una vez retirado el molde se deja que la mezcla fluya libremente sobre la base graduada, hasta que se deje de extender.



Fotografía 5. 4: Levantada del molde cónico

10. Se mide la fluencia en centímetros alcanzada por la mezcla en cuatro puntos de la escala de círculos de la base graduada, separados entre sí 90 grados, promedie las cuatro lecturas y registre ese valor en cm.



Fotografía 5. 5: Medición de la fluencia de la mezcla

5.3.4. RESULTADOS DEL ENSAYO

CANTERA: CALAGUA

EMULSIÓN: CSS-1h

Cantidad de agua en la emulsión

$$\% \text{ Agua en la emulsión} = (\% \text{ Emulsión} * \% \text{ Agua}) / 100$$

$$\% \text{ Agua en la emulsión} = 9.41 * 36.20 / 100$$

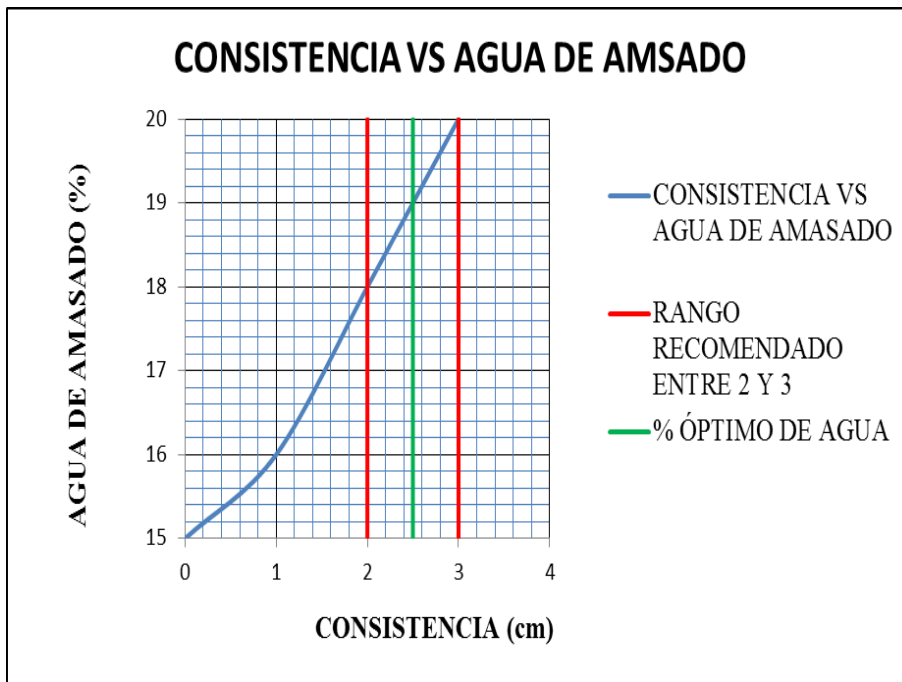
$$\% \text{ Agua en la emulsión} = 3.40$$

$$\% \text{ Agua en la emulsión} = 3\%$$

Nota: Con el valor del porcentaje de agua en la emulsión se resta del porcentaje de agua a incrementar para el amasado, ya que la emulsión contiene una cantidad de agua.

$$\text{Agua de amasado (\%)} = \% \text{ Agua a incrementar} - \% \text{ Agua en la emulsión}$$

| N° | Agregado | | Cemento | | Emulsión | | Agua | | | | Consistencia (cm) |
|----|----------|------|---------|------|----------|------|----------------|--------------|------------------|-----|----------------------|
| | (%) | (gr) | (%) | (gr) | (%) | (gr) | Incrmentar (%) | Emulsión (%) | Amasado (%) (gr) | | |
| 1 | 100 | 500 | 2 | 10 | 9 | 45 | 18 | 3 | 15 | 75 | 0 |
| 2 | 100 | 500 | 2 | 10 | 9 | 45 | 19 | 3 | 16 | 80 | 1 |
| 3 | 100 | 500 | 2 | 10 | 9 | 45 | 21 | 3 | 18 | 90 | 2 |
| 4 | 100 | 500 | 2 | 10 | 9 | 45 | 22 | 3 | 19 | 95 | 2,5 |
| 5 | 100 | 500 | 2 | 10 | 9 | 45 | 23 | 3 | 20 | 100 | 3 |



5.4. TIEMPO DE MEZCLADO, NORMA ISSA TB – 113

5.4.1. DESCRIPCIÓN

Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para la realización del ensayo de tiempo de mezclado del agregado con las emulsiones asfálticas.

Es útil este tipo de ensayo para las personas que van a manipular este tipo de mezclas en obra y así poder familiarizarse con la apariencia visual y las propiedades mecánicas que presentan el micro pavimento, se puede realizar de forma manual o mecánica.

El ensayo es una determinación visual de la facilidad de la emulsión aniónica o catiónica para cubrir un determinado tipo de mezcla, cuando se mezcla con ella durante 3 minutos.

5.4.2. EQUIPO Y MATERIALES

1. Recipiente de acero, inoxidable
2. Horno, con temperatura constante de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
3. Balanza, de 2000 gr de capacidad y sensibilidad de 0.1 gr
4. Espátula
5. Papel filtro, No 2
6. Cronometro, con precisión de 1 segundo

5.4.3. PROCEDIMIENTO

1. Los agregados por utilizar en el ensayo se secan en el horno hasta una masa constante, con el fin de partir con una humedad inicial igual a cero.
2. A continuación se pesan unos 200 gramos de muestra, sí existe una deficiencia de finos en la granulometría del agregado, agregar cemento Portland y mezclar por 1 minuto o hasta tener una total distribución del cemento en el agregado.
3. La emulsión se agita en su envase con una varilla gruesa de vidrio hasta conseguir su total homogeneidad, comprobando que no presente signos de rotura o sedimentación.
4. A continuación se pesa y se añade la cantidad de agua a estudiar, mezclando con el agregado por 1 minuto o hasta que lo cubra, aquí utilizaremos el % óptimo de agua obtenido en el ensayo de consistencia.

5. Con el porcentaje teórico de emulsión descrito en el numeral 5.2, se calcula la cantidad de emulsión a colocar en la mezcla en función al peso del agregado, mezclándose el conjunto de materiales con la espátula entre 1 y 3 minutos, hasta obtener un amasado homogéneo.



Fotografía 5. 6: Mezcla homogénea de la mezcla

6. Se anotan las características de la mezcla que se observen durante su preparación, finalizado el proceso de mezclado, se deposita aproximadamente la mitad de la mezcla fabricada sobre la hoja de papel, guardando la otra mitad en el recipiente donde se fabricó.
7. Se sigue amasando la porción reservada en el recipiente durante un tiempo máximo de 5 minutos o hasta que la mezcla rompa. Se anota el tiempo transcurrido hasta que la mezcla presente tal aspecto (tiempo de rotura).
8. La porción de mezcla depositada sobre la hoja de papel se comprime, a intervalos periódicos con el dedo índice y se anota el tiempo transcurrido hasta que la mezcla se torne firme y no se desplace apreciablemente por esta acción (tiempo de curado)
9. Se seca la muestra al aire o en el horno regulado a 60°C durante 15 horas.
10. Transcurrido el periodo de secado se procede al examen visual y valoración de la mezcla.



Fotografía 5. 7: Valoración visual de mezcla

5.4.4. RESULTADOS DEL ENSAYO

Parámetros de calificación manual / visual:

Trabajabilidad: La facilidad de manejar y colocar el Slurry recién mezclado se consigue con una buena trabajabilidad

Brillo: Un alto brillo presente en la mezcla indica que la mezcla aún no rompe

Segregación de finos: Se presenta cuando se tiene un alto contenido de agua o finos en la mezcla

CANTERA: CALAGUA

EMULSIÓN: CSS-1h

| Agregado | | Cemento | | Emulsión | | Agua | | | |
|----------|------|---------|------|----------|------|-------------|----------|---------|------|
| | | | | | | Incrementar | Emulsión | Amasado | |
| (%) | (gr) | (%) | (gr) | (%) | (gr) | (%) | (%) | (%) | (gr) |
| 100 | 300 | 2 | 6 | 9 | 27 | 23 | 3 | 20 | 60 |

| CALIFICACIÓN MANUAL VISUAL | |
|----------------------------|-------------|
| TRABAJABILIDAD | BUENA |
| BRILLO | NO PRESENTA |
| SEGREGACIÓN DE FINOS | NINGUNA |

5.5. ENSAYO DE COHESIÓN, NORMA ISSA TB - 139/ASTM D - 3910

5.5.1. DESCRIPCIÓN

El método tiene aplicación en el estudio de las lechadas asfálticas utilizadas en construcción de carreteras.

La prueba de cohesión es usada para clasificar los sistemas de micro-pavimentos de acuerdo al tiempo de rompimiento y apertura al tráfico. La prueba de cohesión es la simulación del giro torsional del neumático de un vehículo, que mide el torque necesario para desintegrar una muestra de mezcla, de 6-8 mm de espesor por 600 mm de diámetro bajo la acción de un vástago neumático con una almohadilla de caucho de 32 mm de diámetro a una presión de 200kPa. Las medidas de torque son efectuadas con intervalos de tiempo de 20, 30, 60, 90, 150, 210 y 270 minutos después del mezclado.

Todos los micro pavimentos son diseñados como sistemas de rompimiento rápido y de apertura rápida al tráfico.

5.5.2. EQUIPO Y MATERIALES

1. Cohesiómetro aparato diseñado tanto para su utilización en laboratorio como en campo. Esencialmente constará de: un cilindro neumático de presión cuyo pistón tendrá en su parte inferior un pie de goma dura de 25.4 mm de diámetro. El recorrido del pistón estará comprendido entre 35 y 40 mm. En la parte superior del cilindro neumático se podrá acoplar el torsiómetro o mecanismo utilizado para medir el par de torsión entre 0 y 3.5 Nm. La presión vertical para ejercer sobre la muestra de la lechada asfáltica se obtendrá mediante una fuente de aire a presión, o un compresor portátil, o incluso un inflador de llantas de bicicletas, de acuerdo con las disponibilidades. El cohesiómetro dispondrá del sistema de toma de aire de presión y conducción del mismo al cilindro neumático, con las llaves de control adecuadas y un manómetro intercalado en el circuito, que pueda medir y suministrar presiones de 0 a 1.100 kPa (de 0 a 11 kg/cm²).



Fotografía 5. 8: Cohesímetro

2. Moldes metálicos para fabricar y contener las probetas de la lechada asfáltica. Los moldes serán anulares y de dimensiones: 65.5 ± 0.5 mm de diámetro exterior; 60.0 ± 0.5 mm de diámetro interior; altura de 6.0 ± 0.5 mm ó 10.0 ± 0.5 mm, según el tamaño máximo del agregado.
3. Pie de goma de forma cilíndrica con diámetro de 25.4 ± 0.5 mm en la cara de contacto con la muestra de lechada.
4. Papel de lija, para el calibrado N° 100 y N° 200.
5. Arena silíceo, para el calibrado, de tamaño comprendido entre 500 μ m y 1 mm.
6. Cartón asfáltico u otro material no absorbente, para utilizar como fondo y apoyo de los moldes de las probetas de lechada asfáltica.

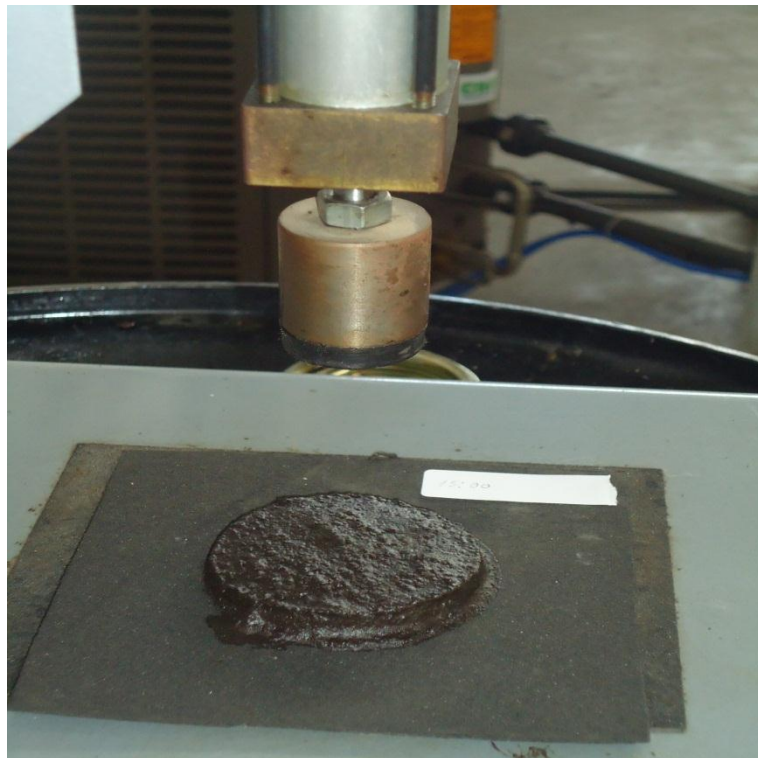
5.5.3. PROCEDIMIENTO

1. Para las gradaciones del Tipo II y Tipo III se tamiza a través del tamiz N° 4 y N° 8 respectivamente; mientras que la parte retenida se descarta.
2. Se prepara la mezcla de micro pavimento para el ensayo, inmediatamente se transfiere a un número suficiente de moldes de la altura adecuada al tamaño del agregado.
3. Los moldes se colocan sobre el cartón asfáltico que actúa como fondo del molde durante la fabricación de las probetas. Hay que tener cuidado para producir muestras uniformes cuyas superficies son paralelas horizontalmente.



Fotografía 5. 9: Fabricación de probetas para el ensayo

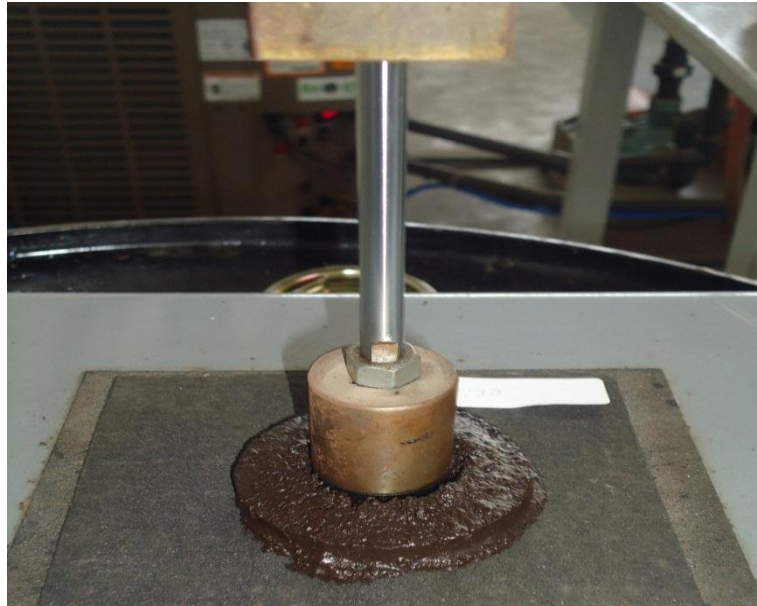
4. Se deja reposar la mezcla dentro de los moldes, luego se sitúa la probeta de ensayo debajo del pie de goma del pistón de carga y se centra respecto a éste.



Fotografía 5. 10: Centrado de la probeta con respecto al pie de goma

5. Se aplica la carga a través del pistón neumático con una presión de 200 kPa que se considera como equivalente a la ejercida por un automóvil de tipo medio. Se descende el pistón hasta

que el pie de goma haga contacto con la superficie de la muestra. Este descenso se debe hacer a una velocidad comprendida entre 8 a 10 cm/s.



Fotografía 5. 11: Descenso del pistón y contacto con la superficie de la muestra

6. Después de 5 a 6 segundos de compresión se encera el torsiómetro y se coloca en la parte superior del cilindro de compresión neumático.
7. Se gira el torsiómetro de forma suave, pero firme, en un movimiento horizontal hasta unos 90° a 120° de arco, en un tiempo comprendido entre 0.7 y 1.0 segundos.



Fotografía 5. 12: Torque o giro de 90°

8. Las mediciones del “torque” se lo realizan a intervalos adecuados como a 30’, 60’, 90’, 150’, 210’ y 270’ minutos después de la mezcla.
9. Las medidas se efectúan en los tiempos especificados o hasta que el valor obtenido más alto del par se repita, permaneciendo constante en la siguiente medición.
10. El tiempo necesario para alcanzar una torsión máxima constante, o hasta que el pie de goma, en su deslizamiento sobre la superficie de la probeta, no desplace o arranque ninguna partícula del agregado de la muestra, se define en esta norma como tiempo de curado de la emulsión.
11. Finalmente la lectura del torque se registra junto con el tiempo, levantar el cilindro y el pie de goma y limpiarlo raspando.

5.5.4. RESULTADOS DEL ENSAYO

Los valores del par de torsión medidos en los tiempos establecidos de 30, 60, 90 minutos, etc., hasta obtener el valor máximo constante se llevan a un gráfico en el que las abscisas representan el tiempo en minutos y las ordenadas los pares de torsión, respectivos, en kg.cm.

Tiempo de rotura y tiempo de apertura al tránsito.

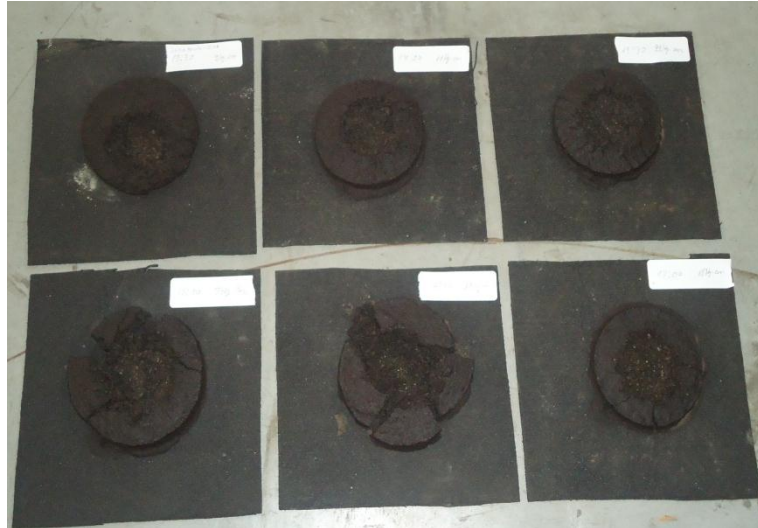
Se define como **tiempo de rotura** a el tiempo transcurrido después desde la fabricación, el sistema de lechada, no puede ser mezclada en una pasta homogénea; cuando no existe desplazamiento lateral cuando la muestra se ha compactado; cuando una toalla de papel absorbente no se mancha cuando se presiona ligeramente la superficie de la pasta; o, cuando la emulsión se ha unido y no está a disposición para lubricar la mezcla; y cuando la emulsión no libre puede ser diluida y se lava con agua.

La rotura se produce cuando se llega a un nivel de torque de 12kg.cm.

El **tiempo de apertura al tránsito móvil**, es el tiempo que transcurre desde que se extiende el micro pavimento hasta que se pueda permitir el tráfico sobre este sin causar ningún daño, se produce cuando se llega a un nivel de torque de 20kg.cm.

Lechada de curado rápido se define como aquella lechada que alcanza 12kg.cm en el torsiómetro dentro de los primeros 30 minutos.

Lechada de apertura rápida al tráfico se define como la lechada que alcanza 20kg.cm en el torsiómetro dentro de los primeros 60 minutos.



Fotografía 5. 13: Muestras ensayadas

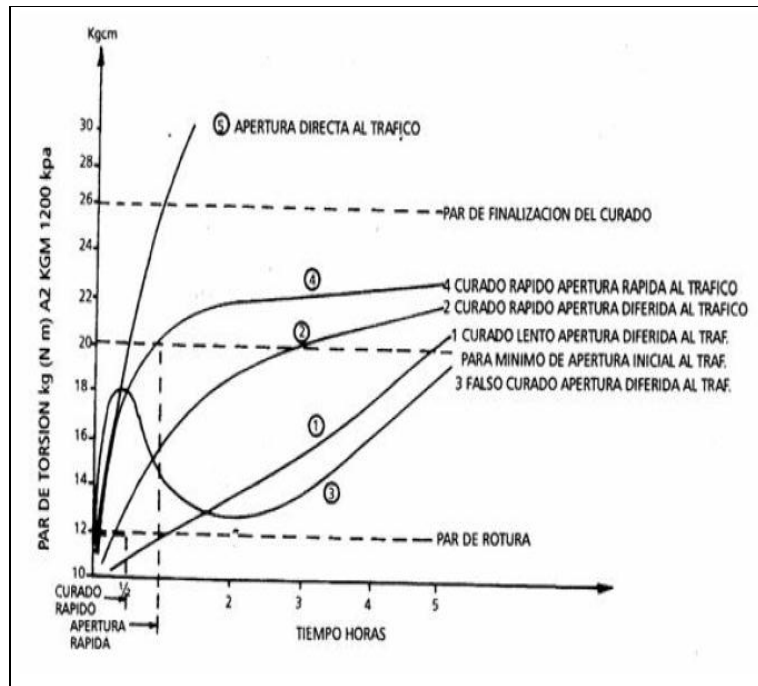


Figura 5. 1: Clasificación de las lechadas en función del par de torsión y del tiempo de curado

Fuente: Instituto Nacional de Vías de Colombia

CANTERA: CALAGUA

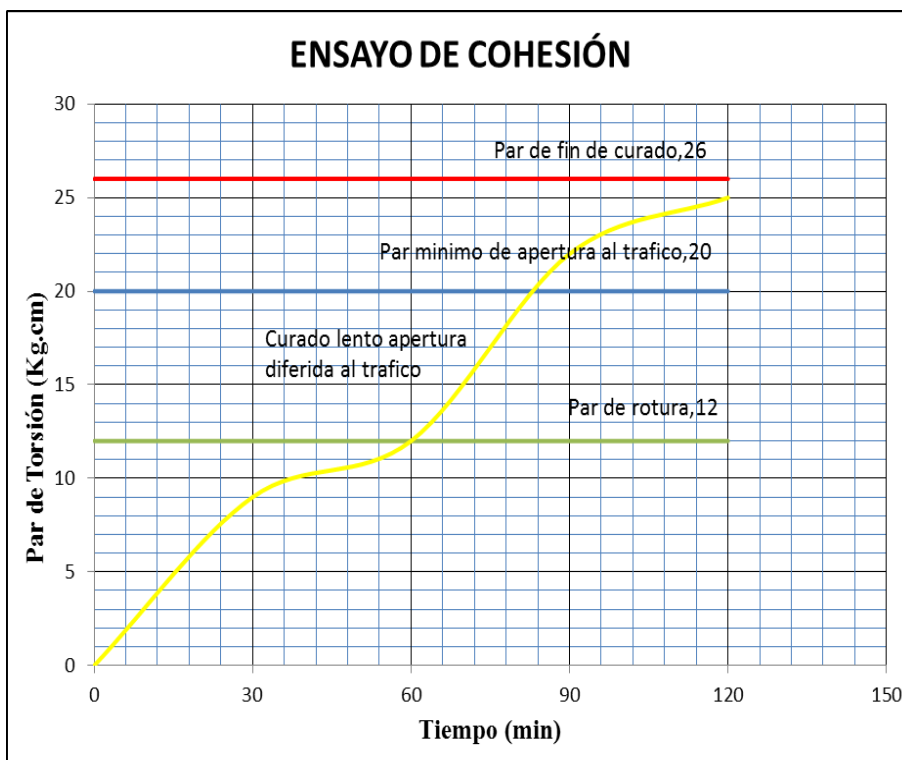
EMULSIÓN: CSS-1h

Dosificación

| Agregado | | Cemento | | Emulsión | | Agua | | | |
|----------|------|---------|------|----------|------|-------------|----------|---------|------|
| | | | | | | Incrementar | Emulsión | Amasado | |
| (%) | (gr) | (%) | (gr) | (%) | (gr) | (%) | (%) | (%) | (gr) |
| 100 | 150 | 2 | 3 | 9 | 13,5 | 23 | 3 | 20 | 30 |

Resultado

| Tiempo minutos | Carga Aplicada Kg-cm |
|----------------|----------------------|
| 30 | 9 |
| 60 | 12 |
| 90 | 22 |
| 120 | 25 |



5.6. ENSAYO DE ABRASIÓN EN HUNEDO, NORMA ISSA TB - 100/ASTM D - 3910

5.6.1. DESCRIPCIÓN

Esta prueba determina la resistencia a la abrasión de mezclas de micro-pavimentos relacionada con el contenido de asfalto, siendo ésta una de las dos pruebas que ISSA utiliza para determinar el contenido óptimo de asfalto. Esta prueba simula condiciones de abrasión en pavimentos mojados, tales como un vehículo circulando en una curva y frenando.

Mediante este procedimiento se pueden definir los valores mínimos de emulsión necesarios para obtener una lechada bituminosa con la cohesión suficiente para resistir la acción abrasiva producida por el tráfico.

5.6.2. EQUIPO Y MATERIALES

1. Agitador mecánico modelo N-50, equipado con un dispositivo para sujetar una manguera de caucho (cabezal de abrasión), con un movimiento libre hacia arriba y hacia abajo en la camisa del eje de 12.7 mm aproximadamente y con una masa total de 2.270 gr.



Fotografía 5. 14: Agitador Mecánico molde N - 50

2. Balanza, de 2000 gr de capacidad y sensibilidad de 0.1 gr
3. Recipiente para ensayo, bandeja metálica de fondo plano y grueso, de aproximadamente 330 mm de diámetro, con paredes laterales verticales de 51 mm de alto, con cuatro tornillos equidistantes, capaces de sujetar una muestra de 285 mm de diámetro al fondo de la bandeja.
4. Recipiente para mezcla, adecuado para contener la muestra durante el mezclado.

5. Cuchara o Espátula.
6. Cartón asfáltico, liso de 286 mm de diámetro.
7. Molde, para la fabricación de las probetas se usará una plantilla circular de 6 mm de espesor y 279 mm de diámetro interior.
8. Horno, con temperatura constante de $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$.
9. Baño de agua, a temperatura constante de $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$
10. Cabeza abrasiva de caucho, será una manguera de caucho reforzado, con revestimiento resistente al aceite, de 19 mm de diámetro interior y 31 mm de diámetro exterior. La manguera debe cortarse en trozos de 127 mm y perforada con dos pares de agujeros de 9 mm alineados centro a centro cada 102 mm, los agujeros deben atravesar los lados cóncavo y convexo de la manguera.
11. Cronometro, con precisión de 1 segundo

5.6.3. PROCEDIMIENTO

1. Las proporciones convenientes de llenante mineral cemento si es que hiciera falta, agua, aditivos si se requieren y contenido teórico de emulsión asfáltica, respecto del agregado seco, se deberán predeterminar en el laboratorio.
2. Se cuartea una cantidad suficiente de agregados secados al aire que pasen el tamiz N° 4, para obtener como mínimo 800 gr. en un cuarteo.
3. Se pesan 1000 gr. de agregado en el recipiente de mezclado. Usando la cuchara, se mezcla en seco el llenante mineral con los agregados por 1 minuto o hasta que la distribución sea uniforme. Se agrega la cantidad predeterminada de agua y se mezcla otra vez por 1 minuto o hasta que todas las partículas de los agregados estén uniformemente humedecidas. Finalmente, se agrega la cantidad predeterminada de emulsión y se mezcla por un período no menor de 1 minuto, ni mayor de 3.



Fotografía 5. 15: Peso de agregado, cemento, agua y emulsión

4. Coloque el molde sobre el cartón asfaltado, inmediatamente vierta la mezcla de micro pavimento dentro del molde, nivele la mezcla con el mínimo de manipulación (excesiva manipulación puede segregar el materia) y deseche el material sobrante, dejar reposar la mezcla por lo menos 5 minutos.



Fotografía 5. 16: Colocación de la mezcla en el molde y muestra en reposo

5. Se retira el molde y colocar la pieza moldeada en el horno a una temperatura de 60 °C y secar hasta peso constante (mínimo 15 horas de secado).



Fotografía 5. 17: Colocación de las muestras al horno a 60°

6. Sacar la muestra del horno, dejar enfriar a temperatura ambiente y posteriormente pese la muestra. Seguidamente se coloca en Baño María a 25°C durante un lapso de 60 a 75 minutos.
7. Se retira la probeta del Baño María, se coloca en la bandeja de fondo plano y se asegura al fondo ajustando las tuercas de mariposa de las mordazas.
8. Se cubre la probeta con una lámina de agua a 25°C, de por lo menos 6mm.
9. Se asegura la bandeja que contiene la probeta sobre la plataforma de la máquina Hobart N-50 y se fija la cabeza abrasiva del tubo de caucho al eje de la misma. Se eleva la plataforma hasta que el tubo se apoye en la superficie de la muestra.
10. Se enciende la máquina a una velocidad aproximada entre 144 rpm del eje con 61 vueltas del mango de caucho y se mantiene en funcionamiento por 5 minutos



Fotografía 5. 18: Proceso de ejecución del ensayo

11. Se retira la probeta de la bandeja luego del ciclo de abrasión y se lavan cuidadosamente eliminando los residuos de materiales sueltos, se coloca en el horno a 60°C , y se mantiene allí hasta que alcance peso constante.
12. Se retira la probeta del horno, se permite que alcance la temperatura ambiente y se determina su masa. La diferencia entre los 2 pesos (Antes de ensayar y después de ensayar) es la pérdida por desgaste.



Fotografía 5. 19: Visualización de las muestras ensayadas

13. Se fabricarán por lo menos tres probetas para cada variación en proporción o calidad de los ingredientes de la mezcla.

5.6.4. RESULTADOS EL ENSAYO

Los resultados del ensayo de abrasión en pista húmeda se expresarán en gramos por metro cuadrado (gr/m^2) o gramos por pies cuadrados (g/pies^2), de acuerdo con el procedimiento siguiente:

Se determina, para cada probeta, la diferencia entre las masas, en estado seco, antes y después de someterla al ensayo de abrasión.

El valor de desgaste por unidad de área se lo calcula multiplicando el valor de gramos perdidos por el factor adecuado según el modelo de la máquina usada.

| Modelo de la Máquina | Ejecución | Factor adecuado | |
|-----------------------|-------------------|-------------------|-----------------|
| | Tiempo en minutos | gr/pie^2 | gr/m^2 |
| C - 100 (1) | 300" \pm 2" | 3.06 * 1.0 | 32.9 * 1.0 |
| A - 120 (1) | 405" \pm 2" | 2.78 * 1.17 | 29.9 * 1.17 |
| N - 50 (1) Modificado | 315" \pm 2" | 3.38 * 0.78 | 37.5 * 0.78 |
| N - 50 (2) | 315" \pm 2" | 3.06 * 1.0 | 32.9 * 1.0 |

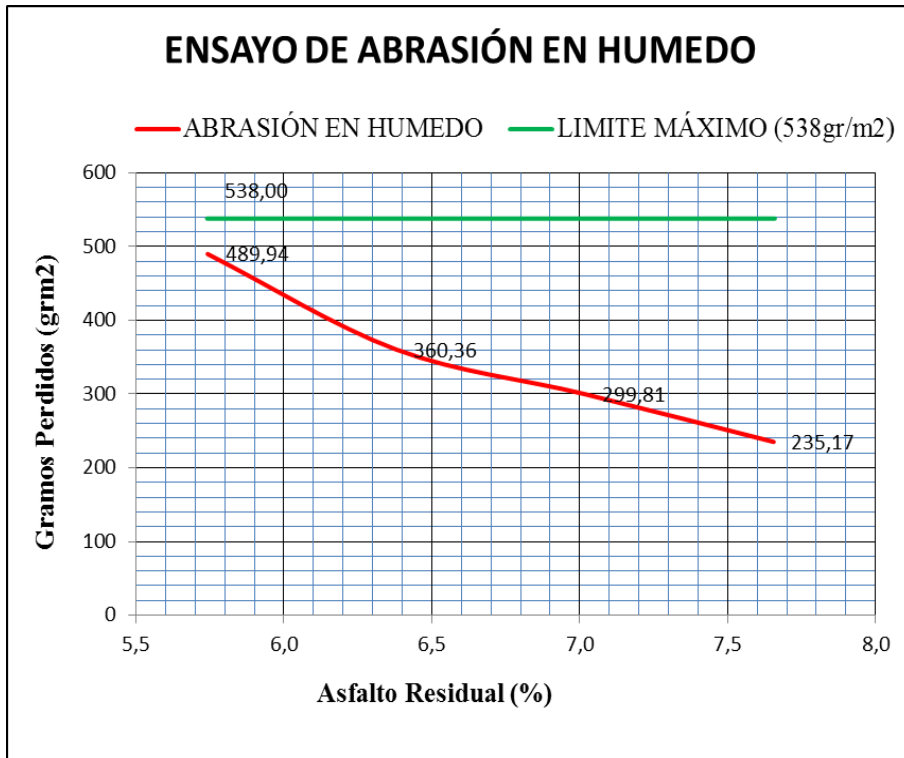
Tabla 5. 2: Cuadro de factores de corrección según el tipo de máquina

Fuente: Norma ISSA TB - 100

CANTERA: CALAGUA

EMULSIÓN: CSS-1h

| K = 29,25 (1/m ²) | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|----------|------|------------------|-------|------|------|---------|----|-----------|---------|----------------------|-----------------|----------------------|
| Agregado | Emulsión | | Asfalto Residual | | Agua | | Cemento | | Masa (gr) | | Tiempo en agua (min) | Gramos Perdidos | |
| (gr) | (%) | (gr) | (%) | (gr) | (%) | (gr) | | | Antes | Despues | | (gr) | (gr/m ²) |
| 1000 | 9 | 90 | 5,00 | 50,02 | 20 | 200 | 2 | 20 | 741,80 | 725,05 | 5 | 16,75 | 489,94 |
| 1000 | 10 | 100 | 5,56 | 55,58 | 20 | 200 | 2 | 20 | 744,10 | 731,78 | 5 | 12,32 | 360,36 |
| 1000 | 11 | 110 | 6,11 | 61,14 | 20 | 200 | 2 | 20 | 694,00 | 683,75 | 5 | 10,25 | 299,81 |
| 1000 | 12 | 120 | 6,67 | 66,70 | 20 | 200 | 2 | 20 | 784,30 | 776,26 | 5 | 8,04 | 235,17 |



5.7. ENSAYO DE RUEDA CARGADA, NORMA ISSA TB - 109

5.7.1. DESCRIPCIÓN

Esta prueba es usada para determinar el contenido máximo de asfalto y evitar excesos en el contenido de asfalto en los sistemas de morteros asfálticos y micro-pavimentos. Esto se logra mediante la medición de arenas finas especificadas previamente, que se adhieren al espécimen de una muestra que se encuentra bajo la acción de cargas simuladas de una rueda. La ISSA recomienda un valor máximo de adhesión de arena de 538 gr/m² para vías de tráfico pesado. Si la adhesión de arena es por debajo de este valor máximo, no ocurrirá ninguna exudación en la mezcla.

5.7.2. EQUIPO Y MATERIALES

1. Máquina de rueda cargada se empleará la máquina desarrollada por el investigador americano B. Benedict, el cual puso a punto la denominada “Máquina de ensayo de rueda cargada” o Loaded Wheel Tester (LWT), especie de máquina simuladora de tráfico, que consta de las siguientes partes, incluyendo accesorios.



Fotografía 5. 20: Máquina de ensayo de rueda cargada

Dónde:

- a. Base y canal ajustables de acero
- b. Placa de montaje para muestras
- c. Motor, con accesorios de acoplamiento, de 1/3 HP y 750 RPM
- d. Engranaje reductor horizontal, de doble salida y de relación 40:1

- e. Biela motriz de 15,216 cm. de radio
- f. Brazos conectores de conducción, de canal de acero, ajustables.
- g. Caja para pesas, ajustable para centrarla sobre el eje de la rueda.
- h. Ensamblaje con rueda neumática de 7,608 cm. de diámetro por 2,536 cm de ancho, de caucho blando (dureza 60-70), montada a una distancia de 60,864 cm de los ejes motrices que la impulsen.
- i. Contador de revoluciones, re graduable a ceros.
- j. Pesas de plomo que den un total de 125 libras.
- k. Placas de acero galvanizado para el montaje de las muestras, de dimensiones 7,608 cm de ancho por 40,576 cm de largo.

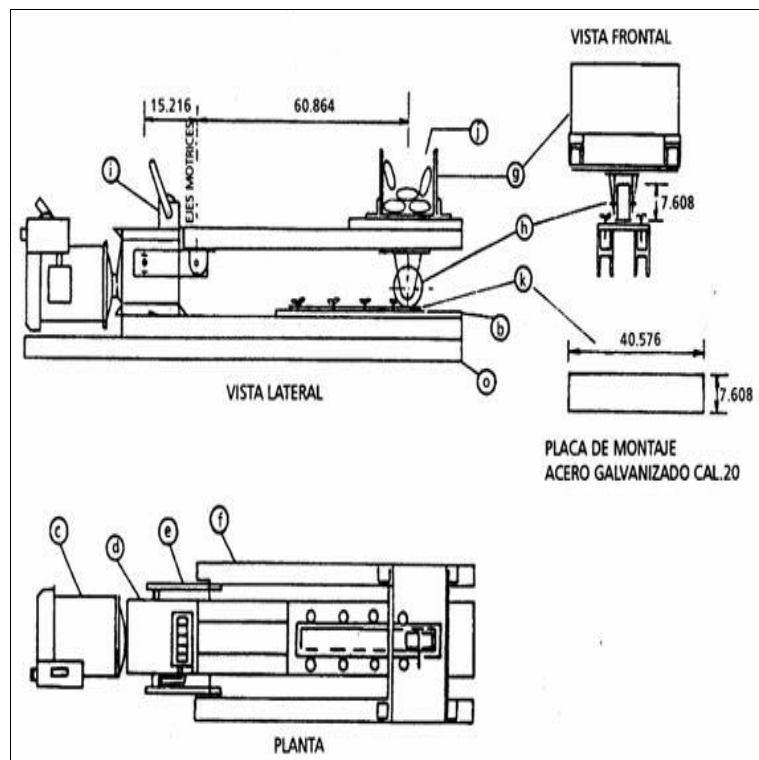


Figura 5. 2: Maquina de ensayo de Rueda Cargada

Fuente: Instituto Nacional de Vías de Colombia

2. Moldes y marco para la muestra.

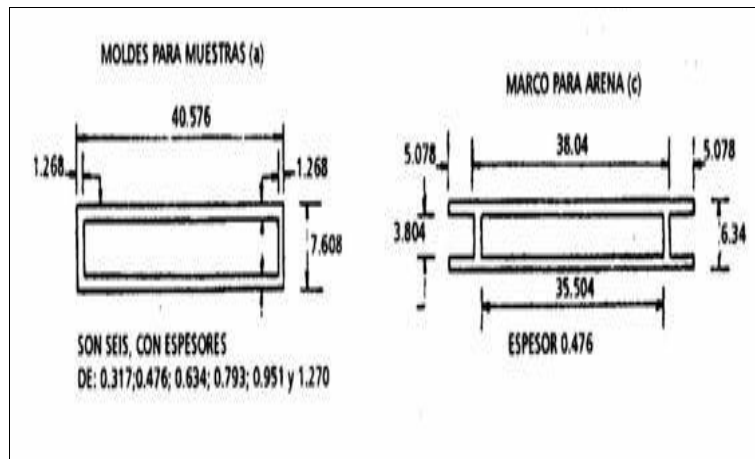


Figura 5. 3: Moldes para la muestra en (cm)

Fuente: Instituto Nacional de Vías de Colombia

3. Balanza, de 2000 gr de capacidad y sensibilidad de 0.1 gr.
4. Recipiente para mezcla, adecuado para contener la muestra durante el mezclado.
5. Cuchara o Espátula.
6. Horno, con temperatura constante de $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$.
7. Termómetro de -10°C a 110°C .
8. Arena fina de Ottawa

5.7.3. PROCEDIMIENTO

1. Preparar las proporciones convenientes de llenante mineral cemento si es que hiciera falta, agua, aditivos si se requieren y contenido teórico de emulsión asfáltica, respecto del agregado seco, que se deberán predeterminar en el laboratorio.
2. Se pesan 500 gr. de agregado en el recipiente de mezclado. Usando la cuchara, se mezcla en seco el llenante mineral con los agregados por 1 minuto o hasta que la distribución sea uniforme. Se agrega la cantidad predeterminada de agua y se mezcla otra vez por 1 minuto o hasta que todas las partículas de los agregados estén uniformemente humedecidas. Finalmente, se agrega la cantidad predeterminada de emulsión y se mezcla por un período no menor de 1 minuto, ni mayor de 3.



Fotografía 5. 21: Preparación de la mezcla de micro pavimento

3. Se coloca el molde que se haya seleccionado sobre una placa de montaje, inmediatamente vierta la mezcla de micro pavimento dentro del molde, nivele la mezcla con el mínimo de manipulación (excesiva manipulación puede segregar el materia) y deseche el material sobrante, dejar reposar la mezcla por lo menos 5 minutos.



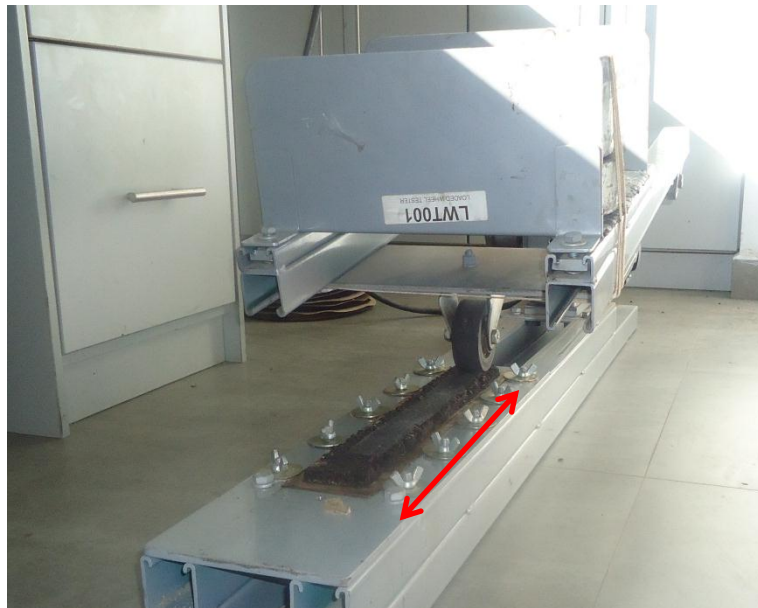
Fotografía 5. 22: Muestra en reposo

4. Se retira el molde y colocar la pieza moldeada en el horno a una temperatura de 60 °C y secar hasta peso constante (mínimo 15 horas de secado).
5. Se extrae la muestra del horno y se deja enfriar a temperatura ambiente.
6. La briqueta se monta con la placa de montaje firmemente y se fija en posición con las arandelas de agarre y las tuercas de mariposa.



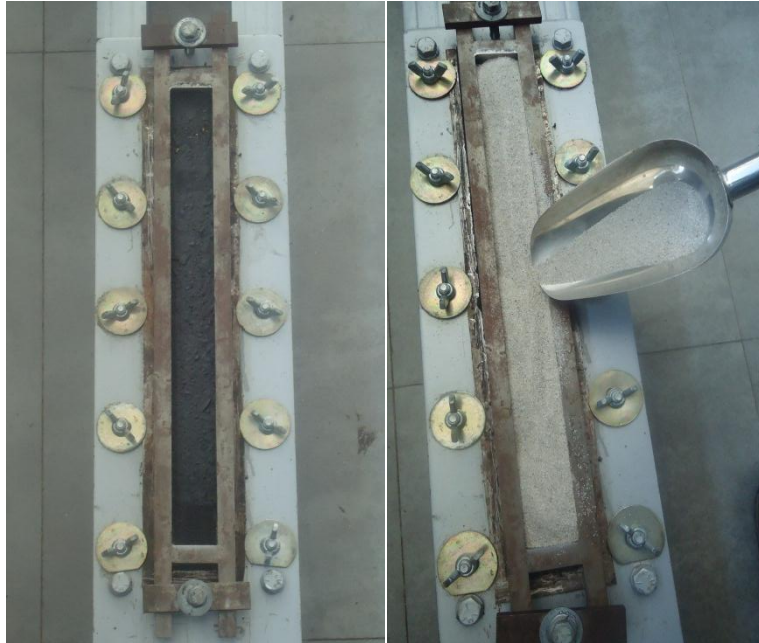
Fotografía 5. 23: Montaje de la briqueta

7. Se coloca la rueda sobre la briqueta, y se carga la caja de pesas hasta la carga de 125 libras, previa inspección y limpieza de la rueda con un solvente evaporable y agua.
8. Se encera el contador de revoluciones y se inicia la compactación con el interruptor eléctrico, hasta completar 1000 ciclos; se para la máquina y se retira la carga.



Fotografía 5. 24: Proceso de ejecución del ensayo

9. Se anota la masa de la briqueta y ésta se monta nuevamente en el plato de montaje en su posición original.
10. Se centra el marco para poner la arena sobre la briqueta, con el caucho espumoso hacia ella para prevenir pérdidas de arena.
11. Se esparcen uniformemente dentro del molde de arena 300 gramos de la arena fina de Ottawa, calentada a 82° C.



Fotografía 5. 25: Centrado del marco y vertido de la arena Ottawa

12. Inmediatamente se carga la rueda sobre la briqueta y se somete a 100 ciclos adicionales.



Fotografía 5. 26: Rueda a 100 ciclos, vertida arena Ottawa

13. Realizado el proceso anterior, se retira la carga para levantar la rueda, quitando con una brocha la arena suelta, se retira la probeta de la máquina y se determina su masa, se anota el aumento en la masa debido a la adhesión de arena.

14. Si existiera desprendimiento de partículas por manipulación durante su limpieza, estas deberán reincorporarse a la probeta para que no existan valores erróneos al momento de pesarla.



Fotografía 5. 27: Pesado de la muestra ensayada después de los 100 ciclos

15. Se fabricarán por lo menos tres briquetas para cada variación en proporción de los ingredientes de la mezcla.



Fotografía 5. 28: Tipos de muestras ensayadas

5.7.4. RESULTADOS DEL ENSAYO

Se determina, para cada probeta, la diferencia entre las masas en estado seco, antes y después de someterla a la adhesividad de la arena. Los resultados del ensayo se expresarán en gramos por metro cuadrado gr/m^2 .

$$PA = (P2 - P1) \cdot k$$

Dónde:

PA = arena adherida a la briqueta en gr/m^2 .

P1 = peso de la briqueta seca luego de sometida a los 1000 ciclos, antes de esparcir la arena.

P2 = peso de la briqueta seca después de someterla con la arena a 100 ciclos

A = área de la probeta para adherencia de arena en m^2

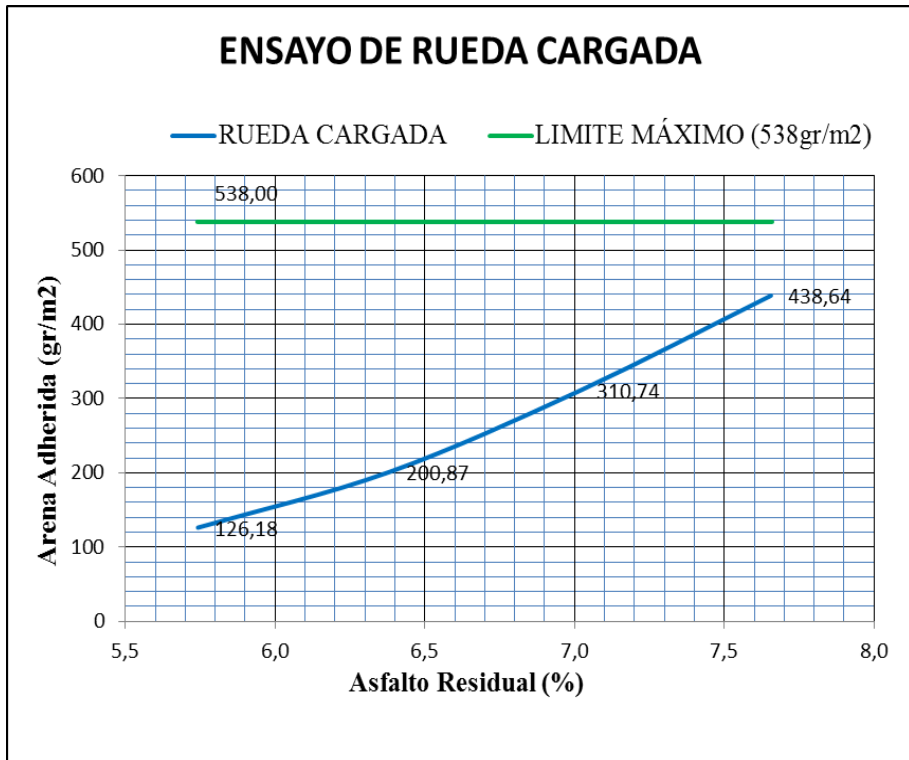
$$A = 0.033 \text{ m} \times 0.353 \text{ m} = 0.011649 \text{ m}^2$$

$$1/A = k = 85.84 \text{ (1/ m}^2\text{)}$$

CANTERA: CALAGUA

EMULSIÓN: CSS-1h

| K = 85,84 (1/m ²) | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|----------|-----|------------------|-------|------|-----|---------|-----|-----------|--------|--------|-------|--------|
| Agregado | Emulsión | | Asfalto Residual | | Agua | | Cemento | | Masa (gr) | | CICLOS | P2-P1 | PA |
| | (gr) | (%) | (gr) | (%) | (gr) | (%) | (gr) | (%) | P1 | P2 | | | |
| 500 | 9 | 45 | 5,00 | 25,01 | 20 | 100 | 2 | 10 | 679,06 | 680,53 | 100 | 1,47 | 126,18 |
| 500 | 10 | 50 | 5,56 | 27,79 | 20 | 100 | 2 | 10 | 694,82 | 697,16 | 100 | 2,34 | 200,87 |
| 500 | 11 | 55 | 6,11 | 30,57 | 20 | 100 | 2 | 10 | 658,63 | 662,25 | 100 | 3,62 | 310,74 |
| 500 | 12 | 60 | 6,67 | 33,35 | 20 | 100 | 2 | 10 | 673,73 | 678,84 | 100 | 5,11 | 438,64 |



CAPÍTULO 6

6. DOSIFICACIÓN Y COLOCACIÓN

6.1. PREPARACIÓN Y DEPOSITO EN OBRA

Inmediatamente antes de aplicar el Micro pavimento, la superficie se limpia de todo el material suelto, manchas de lodo, vegetación y otras materias objetables.

Cualquier método de limpieza estándar será aceptable. Si se utiliza agua, las grietas se dejarán secar completamente antes de aplicar el Micro pavimento. Alcantarillas, cajas de válvulas, tomas de gota y otras entradas de servicio deben estar protegidas de los Micro pavimento por el método adecuado. Ningún agregado seco ya sea derramado debajo de la maquinaria de trabajo o ya existente en la carretera, se permitirá.

La superficie a pavimentarse con Micro pavimento deberá ser preparada cuidadosamente, recuperando el perfil longitudinal y transversal con sistemas de bacheo y sellado de grietas utilizando el equipo, métodos y procedimientos adecuados.

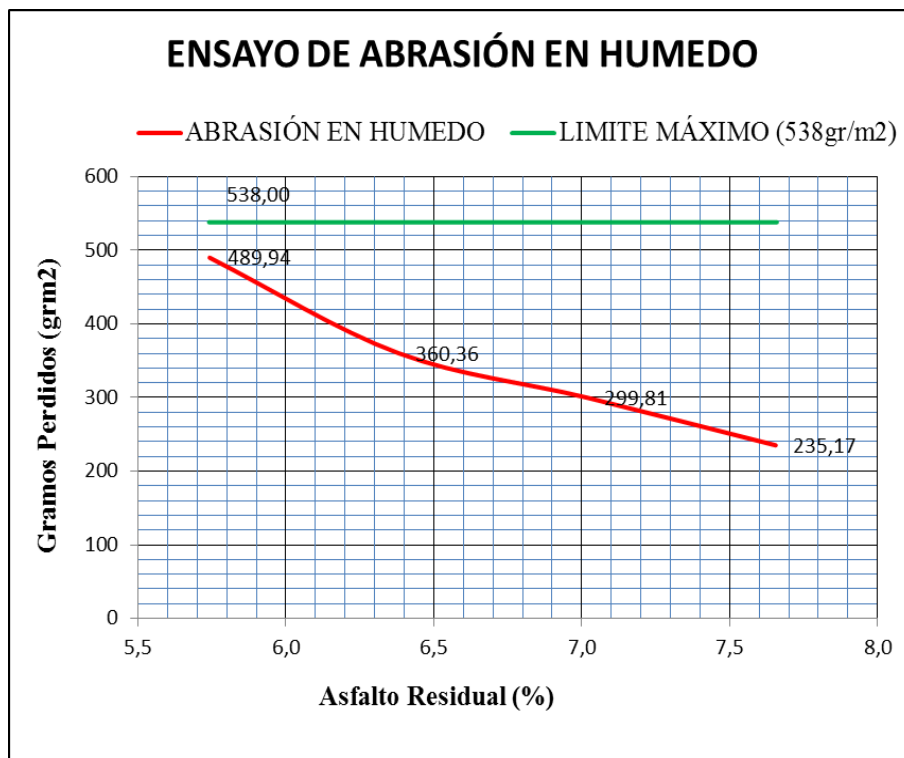
Se deberá utilizar el barrido como método de limpieza, para eliminar la mayor cantidad de polvos y materiales nocivos al mortero. El riego de agua previo a la aplicación del mortero se recomienda como control de ruptura prematura de la mezcla y mejorador de adherencia a la superficie existente.

Una vez que los componentes del Micro pavimento son mezclados se inicia el proceso de ruptura de la mezcla. El tiempo de este proceso depende de la química de los agregados y finos, formulación de la emulsión, tipo y concentración de aditivos así como la temperatura ambiental. Para permitir el tendido del mortero asfáltico sobre la vía, se requiere un tiempo mínimo de mezclado de 2 a 5 minutos, durante el cual el mortero asfáltico permanece fluido y puede ser distribuido sobre la superficie. Una vez colocado sobre la vía el mortero asfáltico continúa con el proceso de ruptura y agua clara es liberada. La terminación del proceso químico de ruptura del mortero asfáltico se logra cuando la coloración de la mezcla cambia de café a negro en pocos minutos.

6.2. ANALISIS DEL ENSAYO DE ABRASIÓN EN HÚMEDO

CANTERA: CALAGUA

EMULSIÓN: CSS-1h



Mediante este procedimiento se pueden definir los valores mínimos de emulsión necesarios para obtener una lechada bituminosa con la cohesión suficiente para resistir la acción abrasiva producida por el tráfico.

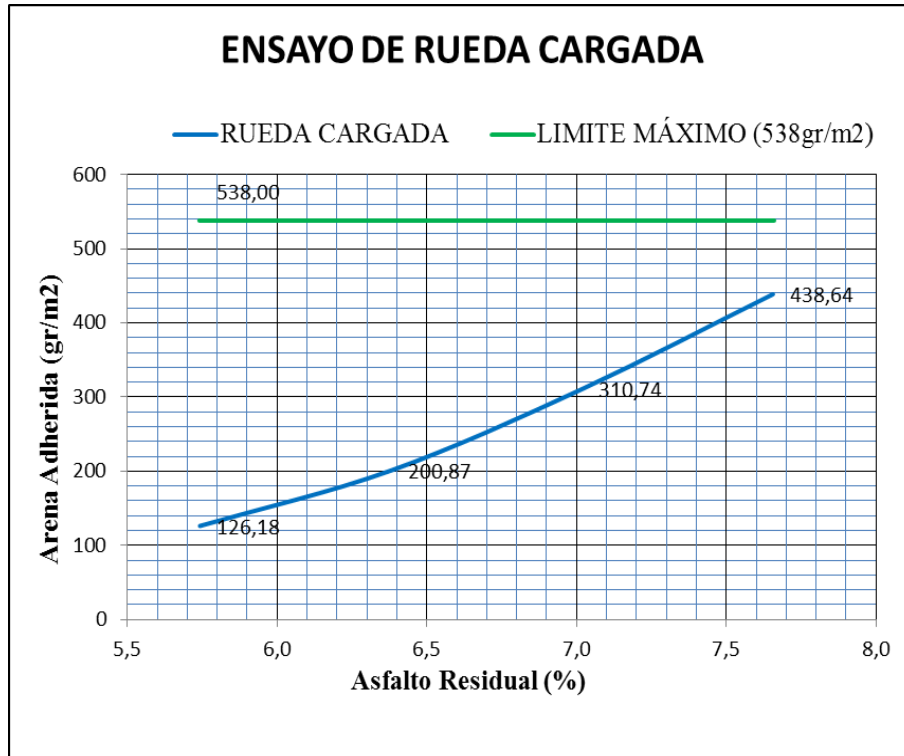
Analizado los contenidos de asfalto resultantes de estas pérdidas de peso, son considerados los contenidos mínimos de asfalto necesario para que las pérdidas a la abrasión sean inferiores o por debajo del límite máximo de 538gr/m² que está especificado por la ISSA TB – 100.

Valores superiores o por encima de lo especificado el micro pavimento adolecerá de falta de cohesión, y su comportamiento en obra no será correcto.

6.3. ANALISIS DEL ENSAYO DE RUEDA CARGADA

CANTERA: CALAGUA

EMULSIÓN: CSS-1h



Esta prueba es usada para determinar el contenido máximo de asfalto y evitar excesos en el contenido de asfalto en micro pavimentos.

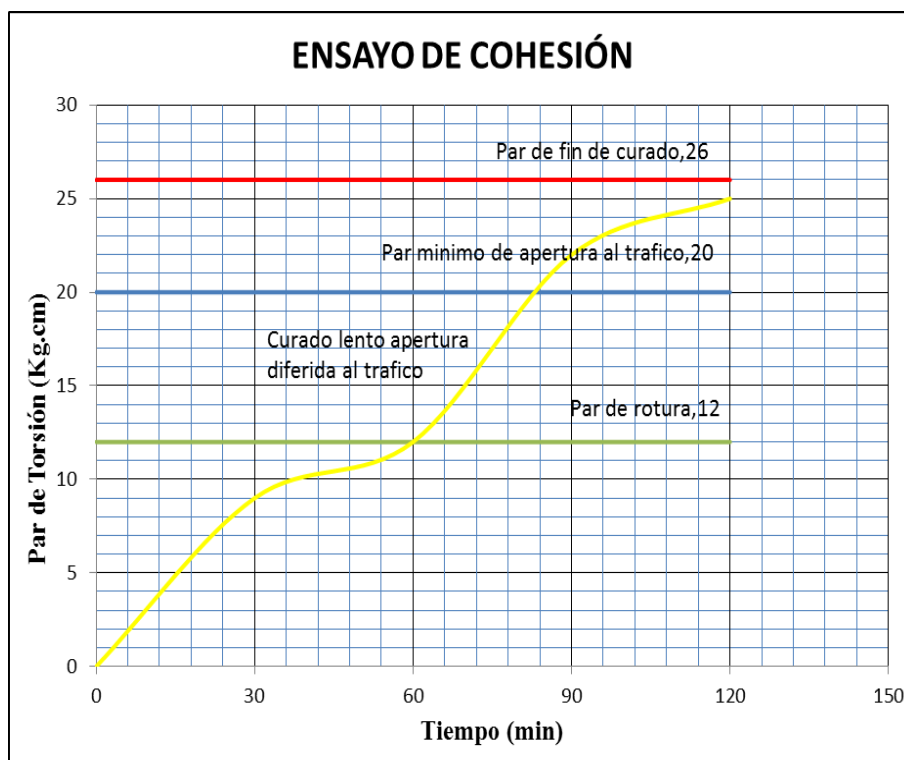
Analizado los contenidos de asfalto resultantes de la adhesión de la arena, son considerados los contenidos máximos de asfalto que no debe sobrepasar el límite máximo de 538gr/m² que está especificado por la ISSA TB – 109, para vías de tráfico pesado.

Si la adhesión de arena es por debajo de este valor máximo, no ocurrirá ninguna exudación en la mezcla de micro pavimento.

6.4. ANALISIS DEL ENSAYO DE COHESIÓN

CANTERA: CALAGUA

EMULSIÓN: CSS-1h



Un sistema es definido de “rompimiento rápido”, si desarrolla un valor de torque de 12 Kg.cm dentro de los 20-30 min. Similarmente un “sistema de apertura rápida al tráfico” es definido como la mezcla que desarrolla 20 Kg.cm de torque dentro de los 60 min. Un torque de 12 Kg.cm es considerado el valor de cohesión al cual la mezcla se consolida, es resistente al agua y no puede ser re-mezclada. A un valor de 20 Kg.cm se ha producido suficiente cohesión para permitir circulación de tráfico.

En nuestro diseño de micro pavimento tenemos un **Curado lento apertura diferida al tráfico, en la cual se obtuvo un tiempo de rotura de 2 horas, y un tiempo de apertura al tráfico de 1 hora con 24 minutos.**

6.5. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO

Bajo los procedimientos de la ISSA, el contenido óptimo de asfalto es determinado al combinar gráficamente los resultados de la Prueba Abrasión en Húmedo (Wet Track Abrasión Test ó WTAT) y la Prueba de Rueda Cargada (Loaded Wheel Test ó LWT).

A continuación se muestran cómo el contenido óptimo de asfalto puede ser determinado por la combinación grafica de WTAT y LWT, dentro de un rango aceptable. Los contenidos máximo y mínimo de asfalto, deben estar dentro del rango de especificación.

La ISSA recomienda que el contenido óptimo de asfalto residual deba estar en un rango de 5.5 a 10.5 %.

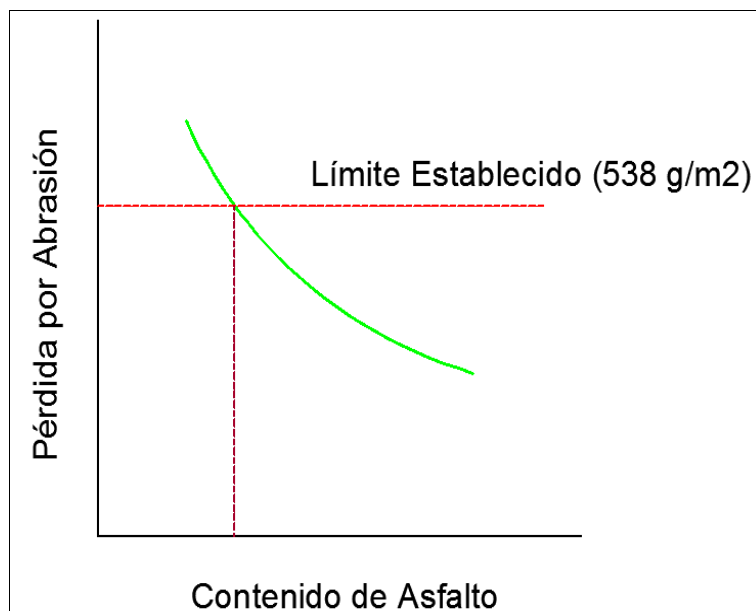


Figura 6. 1: Contenido de asfalto mínimo

Fuente: ISSA TB - 100

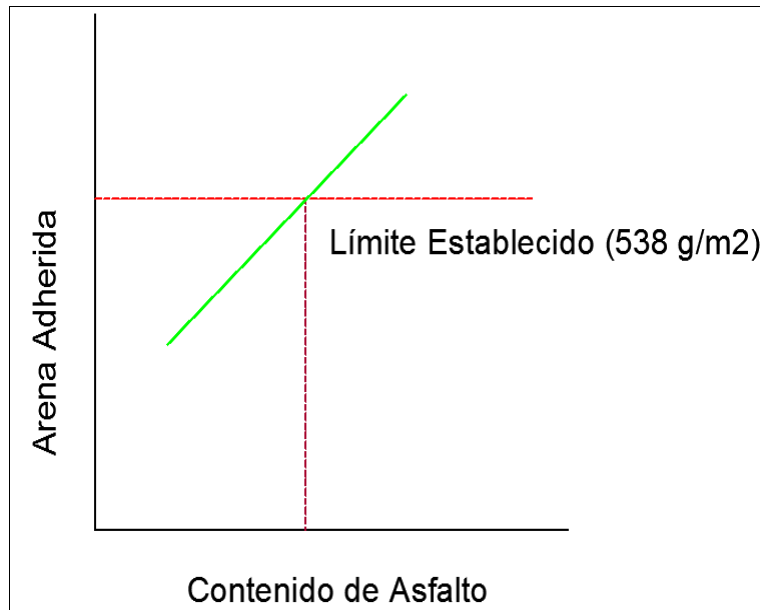


Figura 6. 2: Contenido de asfalto máximo

Fuente: ISSA TB – 109

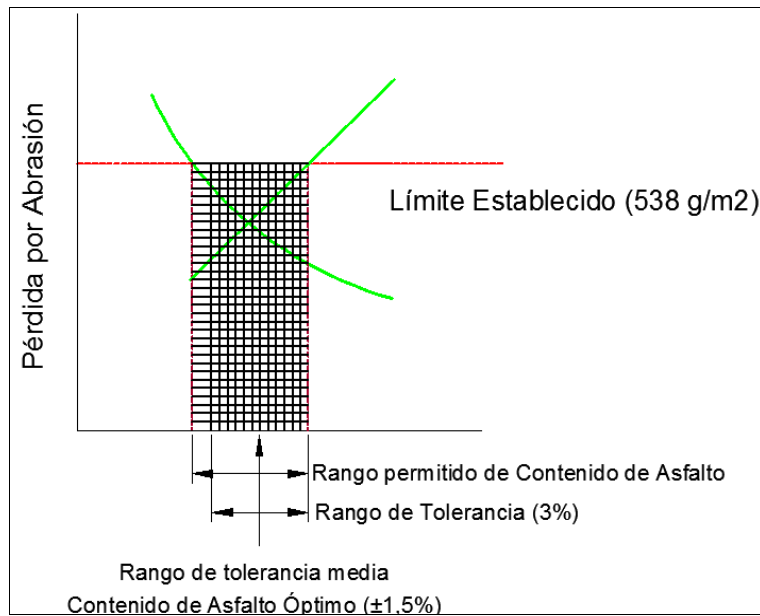


Figura 6. 3: Determinación del contenido óptimo de asfalto

Fuente: ISSA TB - 111

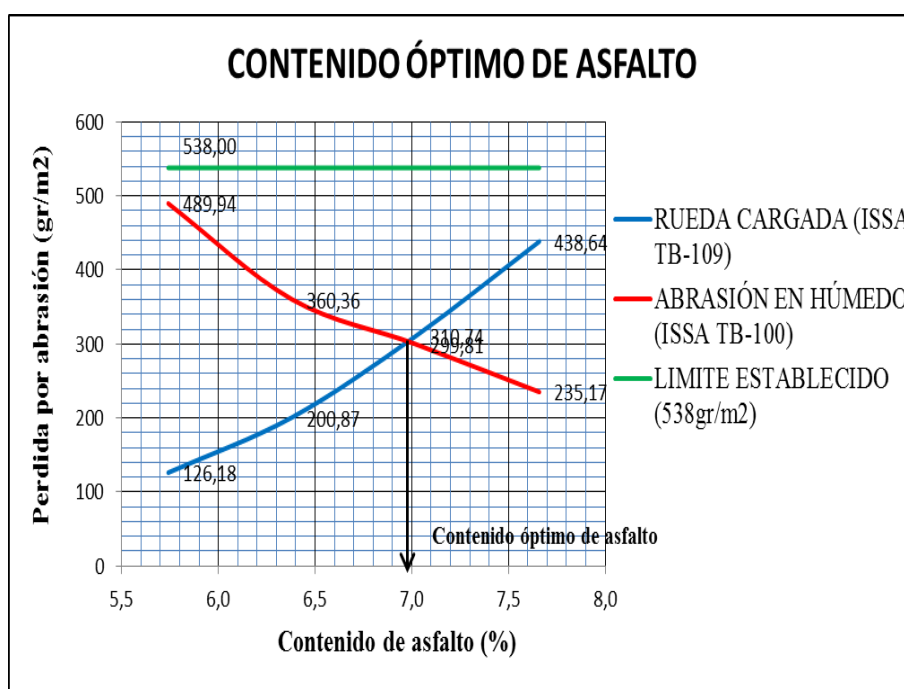
6.5.1. RESULTADOS DEL ENSAYO

Se determinan los límites de contenido de asfalto, si las curvas de abrasión en húmedo y rueda cargada sobrepasan el límite de diseño establecido de 538 gr/m², si esto no se produce, se realiza únicamente la lectura del contenido óptimo de asfalto que es la intersección entre las 2 curvas.

CANTERA: CALAGUA

EMULSIÓN: CSS-1h

| EMULSIÓN (%) | ASFALTO RESIDUAL (%) | ABRASIÓN EN HÚMEDO (gr/m ²) | RUEDA CARGADA (gr/m ²) |
|--------------|----------------------|---|------------------------------------|
| 9 | 5,74 | 489,94 | 126,18 |
| 10 | 6,38 | 360,36 | 200,87 |
| 11 | 7,02 | 299,81 | 310,74 |
| 12 | 7,66 | 235,17 | 438,64 |



Nota: El contenido óptimo de asfalto residual es de 6.98%, que se encuentra dentro del rango 5,5 a 10,5% recomendado por la ISSA, entonces el diseño definitivo de micro pavimento es correcto para su aplicación en la vía.

A = Contenido óptimo de asfalto residual (%)

B = Porcentaje de residuo por evaporación = 63,80 %

C = Contenido óptimo de emulsión (%)

$$C = \frac{A}{B} * 100$$

$$C = \frac{6,98}{63,8} * 100$$

$$C = 10,94\%$$

% óptimo de emulsión asumido = 11%

6.6. ESPECIFICACIONES Y DOSIFICACIÓN

6.6.1. ESPECIFICACIÓN DEL AGREGADO

CANTERA: CALAGUA

| REQUISITO | NORMA | U | ESPECIFICACIÓN | | RESULTADO |
|----------------------|---------------|-------------------|----------------|-----|-----------|
| | | | MIN | MAX | |
| Granulometría | ASTM C - 136 | - | - | - | FAJA N° 3 |
| Abrasión | ASTM C - 131 | (%) | - | 30 | 20,50 |
| Gravedad Específica | ASTM C - 128 | gr/m ³ | - | - | 2,58 |
| Azul de Metileno | ISSA TB - 145 | mgr/gr | - | 10 | 2,00 |
| Equivalente de Arena | ASTM D - 2419 | (%) | 65 | - | 82,26 |

6.6.2. ESPECIFICACIÓN DE LA EMULSIÓN

EMULSIÓN: CSS-1h

| REQUISITO | NORMA | U | ESPECIFICACIÓN | | RESULTADO |
|----------------------------|--------------|----------|-------------------|-----|-----------|
| | | | MIN | MAX | |
| Viscosidad Saybolt Furol | ASTM D - 244 | ssf | 20 | 100 | 23,5 |
| Estabilidad a las 24 horas | ASTM D - 244 | (%) | - | 1 | 0,34 |
| Asentamiento a los 5 días | ASTM D - 244 | (%) | - | 5 | 0,18 |
| Retenido en Malla N° 20 | ASTM D - 244 | (%) | 0 | 0,1 | 0,003 |
| Carga de la Partícula | ASTM D - 244 | - | positiva/negativa | | positava |
| Mezcla con cemento | ASTM D - 244 | (%) | 0 | 2 | 0,13 |
| PH | ASTM D - 244 | pH | 1,5 | 2,5 | 2,05 |
| Residuo Asfáltico | ASTM D - 244 | (%) | 57 | 64 | 63,8 |
| Punto de Reblandecimiento | ASTM D - 36 | °C | 57 | - | 60,5 |
| Penetración del residuo | ASTM D - 5 | (1/10mm) | 40 | 90 | 46 |
| Ductilidad del Residuo | ASTM D - 133 | (cm) | 40 | - | 76 |

6.6.3. ESPECIFICACIÓN DE DESEMPEÑO DEL MICROPAVIMENTO

CANTERA: CALAGUA

EMULSIÓN: CSS-1h

| REQUISITO | NORMA | U | ESPECIFICACIÓN | | RESULTADO |
|--------------------|---------------|-------------------|----------------|-----|------------------------------|
| | | | MIN | MAX | |
| Consistencia | ISSA TB - 106 | cm | 2 | 3 | 3 |
| Tiempo de mezclado | ISSA TB - 113 | min | 3 | - | > 3 |
| Cohesión | ISSA TB - 139 | kg-cm | 12 | - | 5.5.4. Resultados del ensayo |
| Abrasión en húmedo | ISSA TB - 100 | gr/m ² | - | 538 | 299,81 |
| Rueda cargada | ISSA TB - 109 | gr/m ² | - | 538 | 310,74 |

CAPITULO 7

7. PRESUPUESTOS Y COSTOS (VÍA HUANTO), UBICADO POR EL SECTOR LA MOYA, VÍA A SALINAS DE BOLÍVAR

7.1. ALCANCE Y LIMITACIONES DE RESULTADOS ESPERADOS

Cuando se trata únicamente de determinar si el costo total de una obra guarda la debida relación con los beneficios que de ella se espera obtener, y si las condiciones son apropiadas para su ejecución, es suficiente hacer un presupuesto aproximado, tomando como base cantidades aproximadas de los rubros, con sus unidades adecuadas y precios unitarios que no estén muy detallados. Por el contrario, este presupuesto aproximado no basta cuando el estudio se hace como base para financiar la obra, por lo que el constructor deberá preparar su presupuesto, con cantidades y precios unitarios más detallados, tomando en cuenta para estos últimos no sólo el precio de los materiales y mano de obra, sino también las circunstancias especiales en que se ha de realizar.

Esto obliga a analizar todos los detalles y formar precios unitarios partiendo de la descripción de cada rubro y sus componentes. Los rubros que conforman un presupuesto son todas las tareas necesarias para el desarrollo de una obra.

Son los cargos por concepto de material, de mano de obra y de gastos, correspondientes directamente a la fabricación o producción de un artículo determinado o de una serie de artículos o de un proceso de manufactura.

Es ejercer un control presupuestal antes y durante el desarrollo del proyecto hasta su culminación

Es de entender que un presupuesto de construcción por ser elaborado antes que los hechos reales ocurran, tiene un alto grado de aproximación que puede ser del 10 al 15%, causado por los siguientes aspectos:

- Los precios básicos de los materiales que sirven de base para los cálculos son precios variables, a veces con poca vigencia, muchas veces las proyecciones de alzas futuras que pueden tener son simplemente aproximadas, pues pueden variar de acuerdo con la ley de la oferta y la demanda.
- Los costos de la mano de obra, no solo dependen de la oferta y la demanda, sino que además se relacionan de alguna manera con otros factores como la habilidad de los operarios disponibles, la ubicación del proyecto, el clima y los imprevistos que también influyen en los rendimientos de una obra.

- El uso de maquinaria, costo por transporte, más los componentes de indirectos y utilidades que son aspectos muy importantes en el aspecto del presupuesto de las obras de ingeniería.
- La modalidad y técnicas de construir, su proceso o sistemas administrativos y de dirección, que deben influir igualmente en los costos finales.

Los costos del micro pavimentos varían dependiendo de muchos factores incluyendo localización, disponibilidad de buenos materiales, contratista, cantidades de aplicación, mantenimiento del tráfico y otros elementos de licitación.

Actualmente se usan varios métodos para medir y pagar los Micro pavimentos. Los métodos de medición incluyen:

- Medida de la cantidad de agregados y emulsión asfáltica modificada con polímeros.
- Medida de la cantidad de los componentes de la mezcla.
- Medida del área superficial.

El pago se efectúa ya sea por el precio unitario de los componentes o por el precio por unidad contratada en metros cuadrados.

7.2. COSTOS Y PRECIOS UNITARIOS

7.2.1. COSTOS DIRECTO

Se define como los costos que pueden identificarse con productos específicos directamente con los rubros del proyecto.

En lo que se refiere a la construcción se entenderán todos los costos que están asociados directamente con la obra. Corresponden a materiales, mano de obra, equipos y maquinarias comprometidas directamente con la ejecución. Se definen así porque afectan de forma directa en la determinación del precio de cada rubro que interviene en la ejecución de la obra, el cual tendrá que ser recuperado a través de su precio de venta.

Los precios de los materiales que intervienen en la elaboración del Micro pavimento son tomados de la Contraloría General del Estado actualizado al 2012 y empresa productora de emulsiones asfálticas Chova Vial. Las cantidades presentadas en el análisis de precios unitarios de cada mezcla son determinadas por metro cuadrado de colocación en obra.

| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS | | | | |
|--|---|---------------------------|----------------------------|-------------------------|
| RUBRO: 1A | DESCRIPCIÓN: MICROPAVIMENTO, TIPO III, CON MAQUINA, INCLUYE LIMPIEZA | | | |
| | UNIDAD | m ² | | |
| 1. MATERIALES | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO (\$) | COSTO TOTAL (\$) |
| Agregados triturado (Calagua) | m ³ | 0,01250 | 2,25 | 0,028 |
| Emulsión para Micropavimento, C _{ss} - 1h | Kg | 2,102 | 0,34 | 0,715 |
| Cemento | sc | 0,008 | 6,25 | 0,048 |
| Agua | m ³ | 0,004 | 1,00 | 0,004 |
| | | | | |
| SUBTOTAL 1 | | | | 0,79 |
| 2. MANO DE OBRA | HORAS HOMBRE | COSTO HORARIO (\$) | COSTO TOTAL (\$) | |
| Op. I: Motoniveladora, Cargadora, Excavadora, Grua | 0,003 | 2,71 | 0,008 | |
| Chofer D: Volqueta, Tanque, Mixer | 0,003 | 3,91 | 0,012 | |
| Cat. IV: Maestro/Obra/Eléctrico, Perforador, Perfilero | 0,003 | 2,56 | 0,008 | |
| Cat I: Peón | 0,003 | 2,56 | 0,008 | |
| Atudante de Maquinaria | 0,003 | 2,56 | 0,008 | |
| Op. II: Finisher, Rodillo, Distribuidor de Asfalto, Compactador, Escoba Mecánica | 0,003 | 2,66 | 0,008 | |
| | | | | |
| SUBTOTAL 2 | | | 0,05 | |
| HERRAMIENTAS | | | | |
| HERRAMIENTAS MANUALES | | | 0,00 | |
| 3. EQUIPO | HORAS EQUIPO | COSTO HORARIO (\$) | COSTO TOTAL (\$) | |
| Finisher | 0,003 | 93,90 | 0,282 | |
| Cargadora Ruedas | 0,003 | 43,42 | 0,130 | |
| Tanquero | 0,003 | 21,15 | 0,063 | |
| Autotanque | 0,003 | 10,01 | 0,030 | |
| Camioneta de Abastecimiento | 0,003 | 5,02 | 0,015 | |
| Minicargadora (Rec. y Esc. Mec.) | 0,003 | 33,63 | 0,101 | |
| Cribadora | 0,003 | 6,62 | 0,020 | |
| | | | | |
| SUBTOTAL 3 | | | 0,64 | |
| 4. TRANSPORTE | UNIDAD | DISTANCIA | COSTO UNITARIO (\$) | COSTO TOTAL (\$) |
| Agregados triturado (Calagua) | Km | 25,000 | 0,0036 | 0,091 |
| | | | | |
| SUBTOTAL 4 | | | | 0,09 |
| 4. TOTAL COSTO UNITARIO DIRECTO (1+2+3+4) | | | | 1,58 |

7.2.2. COSTOS INDIRECTOS

El **costo indirecto** corresponde a los gastos generales necesarios para la ejecución de los trabajos no incluidos en los **costos directos** que realiza el contratista, tanto en sus oficinas centrales como en la obra, y comprende entre otros: los gastos de administración, organización, dirección técnica, vigilancia, supervisión, construcción de instalaciones generales necesarias para realizar conceptos de trabajo, el transporte de maquinaria o equipo de construcción, imprevistos y, en su caso, prestaciones laborales y sociales correspondientes al personal directivo y administrativo.

Para su determinación se deberá considerar que el costo correspondiente a las oficinas centrales del contratista, comprenderá únicamente los gastos necesarios para dar apoyo técnico y administrativo a la superintendencia del contratista encargado directamente de los trabajos. En el caso de los **costos indirectos** de oficinas de campo se deberá considerar todos los conceptos que de él se deriven.

Los **costos indirectos** se expresan como un porcentaje del costo directo de cada concepto de trabajo.

Con la finalidad de obtener el costo comercial referencial de la mezcla de micro pavimento a continuación se realiza una estimación de costos indirectos.

- **Costos Indirectos.**

| COSTOS INDIRECTOS | PORCENTAJE (%) |
|-------------------------------|-----------------------|
| Administración central y obra | 6 |
| Imprevistos | 2 |
| Garantías o financiamiento | 4 |
| Utilidad | 8 |
| Total | 20 |

7.2.3. COSTO TOTAL UNITARIO

El costo total unitario es la suma del costo total unitario directo más el costo unitario indirecto. Estimar el costo total unitario es muy importante, porque consiste en la cotización que se suele hacer para establecer el precio de venta del artículo que se produce. Generalmente se estiman antes de que se realice la producción y entrega de productos.

$$PTU = CTUD + CUI$$

Dónde:

PTU = Precio Total Unitario.

CTUD = Costo Total Unitario Directo.

CUI = Costo Unitario Indirecto.

En la investigación se obtuvo los siguientes precios totales unitarios

| | |
|---|-----------------|
| 1. COSTO TOTAL UNITARIO DIRECTO | 5,99 USD |
| 2. COSTO UNITARIO INDIRECTO (20%) | 1,20 USD |
| 3. PRECIO UNITARIO CALCULADO (1+2) | 7,18 USD |
| 4. PRECIO UNITARIO OFERTADO | 7,18 USD |

7.3. RUBROS Y CANTIDADES ADICIONALES

| ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS | | | | |
|-----------------------------------|---|---------------------------|----------------------------|-------------------------|
| RUBRO: 1C | DESCRIPCIÓN: | | | |
| | AGUA PARA CONTROL DE POLVO | | | |
| | UNIDAD | m3 | | |
| 1. MATERIALES | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO (\$) | COSTO TOTAL (\$) |
| Agua | m3 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| SUBTOTAL 1 | | | | 1,00 |
| 2. MANO DE OBRA | HORAS HOMBRE | COSTO HORARIO (\$) | COSTO TOTAL (\$) | |
| Chofer D: Volqueta, Tanque, Mixer | 1,60 | 3,91 | 6,26 | |
| Cat I: Peón | 1,60 | 2,56 | 4,10 | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| SUBTOTAL 2 | | | 10,35 | |
| HERRAMIENTAS | | | | |
| HERRAMIENTAS MANUALES | | | 0,36 | |
| 3. EQUIPO | HORAS EQUIPO | COSTO HORARIO (\$) | COSTO TOTAL (\$) | |
| Tanquero | 1,60 | 21,15 | 33,84 | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| SUBTOTAL 3 | | | 33,84 | |
| | 4. TOTAL COSTO DIRECTO (1+2+3) | | | 45,55 |
| | 5. COSTO UNITARIO INDIRECTO (20%) | | | 9,11 |
| | 6. PRECIO UNITARIO CALCULADO (4+5) | | | 54,66 |
| | 7. PRECIO UNITARIO OFERTADO | | | 54,66 |

| ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS | | | | |
|--------------------------------------|--|---------------------------|----------------------------|-------------------------|
| RUBRO: 1D | DESCRIPCIÓN: | | | |
| | CHARLAS DE CONCIENTIZACIÓN: SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SALUD | | | |
| | UNIDAD | u | | |
| 1. MATERIALES | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO (\$) | COSTO TOTAL (\$) |
| Charlas de Concientización | u | 1,00 | 300,00 | 300,00 |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| SUBTOTAL 1 | | | | 300,00 |
| 2. MANO DE OBRA | HORAS HOMBRE | COSTO HORARIO (\$) | COSTO TOTAL (\$) | |
| Cat. IV: Inspector de Obra | 4,00 | 2,56 | 10,24 | |
| Cat I: Peón | 4,00 | 2,56 | 10,24 | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| SUBTOTAL 2 | | | 20,48 | |
| HERRAMIENTAS | | | | |
| HERRAMIENTAS MANUALES | | | 0,85 | |
| 3. EQUIPO | HORAS EQUIPO | COSTO HORARIO (\$) | COSTO TOTAL (\$) | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| SUBTOTAL 3 | | | 0,00 | |
| | 4. TOTAL COSTO DIRECTO (1+2+3) | | | 321,33 |
| | 5. COSTO UNITARIO INDIRECTO (20%) | | | 64,27 |
| | 6. PRECIO UNITARIO CALCULADO (4+5) | | | 385,60 |
| | 7. PRECIO UNITARIO OFERTADO | | | 385,60 |

| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS | | | | |
|--|---|---------------------------|----------------------------|-------------------------|
| RUBRO: 1E | DESCRIPCIÓN: | | | |
| | SEÑAL: HOMBRES TRABAJANDO (0,6 x 1,2m) | | | |
| | UNIDAD | u | | |
| 1. MATERIALES | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO (\$) | COSTO TOTAL (\$) |
| Señal: Hombres Trabajando (0,6 x 1,2m) | u | 1,00 | 100,00 | 100,00 |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| SUBTOTAL 1 | | | | 100,00 |
| 2. MANO DE OBRA | HORAS HOMBRE | COSTO HORARIO (\$) | COSTO TOTAL (\$) | |
| Cat. IV: Inspector de Obra | 1,00 | 2,56 | 2,56 | |
| Cat I: Peón | 1,00 | 2,56 | 2,56 | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| SUBTOTAL 2 | | | 5,12 | |
| HERRAMIENTAS | | | | |
| HERRAMIENTAS MANUALES | | | 0,21 | |
| 3. EQUIPO | HORAS EQUIPO | COSTO HORARIO (\$) | COSTO TOTAL (\$) | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| SUBTOTAL 3 | | | 0,00 | |
| | 4. TOTAL COSTO DIRECTO (1+2+3) | | | 105,33 |
| | 5. COSTO UNITARIO INDIRECTO (20%) | | | 21,07 |
| | 6. PRECIO UNITARIO CALCULADO (4+5) | | | 126,40 |
| | 7. PRECIO UNITARIO OFERTADO | | | 126,40 |

| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS | | | | |
|---------------------------------|---|---------------------------|----------------------------|-------------------------|
| RUBRO: 1F | DESCRIPCIÓN: SEÑAL: RESTRICCIÓN DE VELOCIDAD (0,6 x 1,2 m) | | | |
| | UNIDAD | u | | |
| 1. MATERIALES | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO (\$) | COSTO TOTAL (\$) |
| Señal: Restricción de Velocidad | u | 1,00 | 100,00 | 100,00 |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| SUBTOTAL 1 | | | | 100,00 |
| 2. MANO DE OBRA | HORAS HOMBRE | COSTO HORARIO (\$) | COSTO TOTAL (\$) | |
| Cat. IV: Inspector de Obra | 1,00 | 2,56 | 2,56 | |
| Cat I: Peón | 1,00 | 2,56 | 2,56 | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| SUBTOTAL 2 | | | 5,12 | |
| HERRAMIENTAS | | | | |
| HERRAMIENTAS MANUALES | | | 0,21 | |
| 3. EQUIPO | HORAS EQUIPO | COSTO HORARIO (\$) | COSTO TOTAL (\$) | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| SUBTOTAL 3 | | | 0,00 | |
| | 4. TOTAL COSTO DIRECTO (1+2+3) | | | 105,33 |
| | 5. COSTO UNITARIO INDIRECTO (20%) | | | 21,07 |
| | 6. PRECIO UNITARIO CALCULADO (4+5) | | | 126,40 |
| | 7. PRECIO UNITARIO OFERTADO | | | 126,40 |

| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS | | | | |
|-------------------------------|---|---------------------------|----------------------------|-------------------------|
| RUBRO: 1G | DESCRIPCIÓN: SEÑAL: DESVIO (0,6 x 1,2 m) | | | |
| | UNIDAD | u | | |
| 1. MATERIALES | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO (\$) | COSTO TOTAL (\$) |
| Señal: Desvio (0,6 x 1,2m) | u | 1,00 | 100,00 | 100,00 |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| SUBTOTAL 1 | | | | 100,00 |
| 2. MANO DE OBRA | HORAS HOMBRE | COSTO HORARIO (\$) | COSTO TOTAL (\$) | |
| Cat. IV: Inspector de Obra | 1,00 | 2,56 | 2,56 | |
| Cat I: Peón | 1,00 | 2,56 | 2,56 | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| SUBTOTAL 2 | | | 5,12 | |
| HERRAMIENTAS | | | | |
| HERRAMIENTAS MANUALES | | | 0,21 | |
| 3. EQUIPO | HORAS EQUIPO | COSTO HORARIO (\$) | COSTO TOTAL (\$) | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| SUBTOTAL 3 | | | 0,00 | |
| | 4. TOTAL COSTO DIRECTO (1+2+3) | | | 105,33 |
| | 5. COSTO UNITARIO INDIRECTO (20%) | | | 21,07 |
| | 6. PRECIO UNITARIO CALCULADO (4+5) | | | 126,40 |
| | 7. PRECIO UNITARIO OFERTADO | | | 126,40 |

| ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS | | | | |
|-------------------------------|--|---------------------------|----------------------------|-------------------------|
| RUBRO: 1H | DESCRIPCIÓN: SEÑAL: PELIGRO (0,4 X 1,2 m) | | | |
| | UNIDAD | u | | |
| 1. MATERIALES | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO (\$) | COSTO TOTAL (\$) |
| SEÑAL: PELIGRO (0,4 X 1,2 m) | u | 1,00 | 100,00 | 100,00 |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| SUBTOTAL 1 | | | | 100,00 |
| 2. MANO DE OBRA | HORAS HOMBRE | COSTO HORARIO (\$) | COSTO TOTAL (\$) | |
| Cat. IV: Inspector de Obra | 1,00 | 2,56 | 2,56 | |
| Cat I: Peón | 1,00 | 2,56 | 2,56 | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| SUBTOTAL 2 | | | 5,12 | |
| HERRAMIENTAS | | | | |
| HERRAMIENTAS MANUALES | | | 0,21 | |
| 3. EQUIPO | HORAS EQUIPO | COSTO HORARIO (\$) | COSTO TOTAL (\$) | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| SUBTOTAL 3 | | | 0,00 | |
| | 4. TOTAL COSTO DIRECTO (1+2+3) | | | 105,33 |
| | 5. COSTO UNITARIO INDIRECTO (20%) | | | 21,07 |
| | 6. PRECIO UNITARIO CALCULADO (4+5) | | | 126,40 |
| | 7. PRECIO UNITARIO OFERTADO | | | 126,40 |

| ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS | | | | |
|--|--|---------------------------|----------------------------|-------------------------|
| RUBRO: II | DESCRIPCIÓN: SEÑAL: PROHIBIDO EL PASO (0,6 x 1,2 m) (VALLA MOVIL) | | | |
| | UNIDAD | u | | |
| 1. MATERIALES | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO (\$) | COSTO TOTAL (\$) |
| SEÑAL: PROHIBIDO EL PASO (0,6 x 1,2 m) | u | 1,00 | 200,00 | 200,00 |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| SUBTOTAL 1 | | | | 200,00 |
| 2. MANO DE OBRA | HORAS HOMBRE | COSTO HORARIO (\$) | COSTO TOTAL (\$) | |
| Cat. IV: Inspector de Obra | 1,00 | 2,56 | 2,56 | |
| Cat I: Peón | 1,00 | 2,56 | 2,56 | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| SUBTOTAL 2 | | | 5,12 | |
| HERRAMIENTAS | | | | |
| HERRAMIENTAS MANUALES | | | 0,21 | |
| 3. EQUIPO | HORAS EQUIPO | COSTO HORARIO (\$) | COSTO TOTAL (\$) | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| SUBTOTAL 3 | | | 0,00 | |
| | 4. TOTAL COSTO DIRECTO (1+2+3) | | | 205,33 |
| | 5. COSTO UNITARIO INDIRECTO (20%) | | | 41,07 |
| | 6. PRECIO UNITARIO CALCULADO (4+5) | | | 246,40 |
| | 7. PRECIO UNITARIO OFERTADO | | | 246,40 |

| ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS | | | | |
|--|--|---------------------------|----------------------------|-------------------------|
| RUBRO: 1K | DESCRIPCIÓN: PINTURA REFLECTIVA (FONDO ROJO LETRA AMARILLA) | | | |
| | UNIDAD | u | | |
| 1. MATERIALES | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO (\$) | COSTO TOTAL (\$) |
| PINTURA REFLECTIVA (FONDO ROJO LETRA AMARILLA) | u | 1,00 | 150,00 | 150,00 |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| SUBTOTAL 1 | | | | 150,00 |
| 2. MANO DE OBRA | HORAS HOMBRE | COSTO HORARIO (\$) | COSTO TOTAL (\$) | |
| Cat. IV: Inspector de Obra | 4,00 | 2,56 | 10,24 | |
| Cat I: Peón | 4,00 | 2,56 | 10,24 | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| SUBTOTAL 2 | | | 20,48 | |
| HERRAMIENTAS | | | | |
| HERRAMIENTAS MANUALES | | | 0,85 | |
| 3. EQUIPO | HORAS EQUIPO | COSTO HORARIO (\$) | COSTO TOTAL (\$) | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| SUBTOTAL 3 | | | 0,00 | |
| | 4. TOTAL COSTO DIRECTO (1+2+3) | | | 171,33 |
| | 5. COSTO UNITARIO INDIRECTO (20%) | | | 34,27 |
| | 6. PRECIO UNITARIO CALCULADO (4+5) | | | 205,60 |
| | 7. PRECIO UNITARIO OFERTADO | | | 205,60 |

| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS | | | | |
|-------------------------------|---|---------------------------|----------------------------|-------------------------|
| RUBRO: 1M | DESCRIPCIÓN: CINTA PLÁSTICA PELIGRO | | | |
| | UNIDAD | u | | |
| 1. MATERIALES | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO (\$) | COSTO TOTAL (\$) |
| CINTA PLÁSTICA PELIGRO | u | 1,00 | 0,20 | 0,20 |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| SUBTOTAL 1 | | | | 0,20 |
| 2. MANO DE OBRA | HORAS HOMBRE | COSTO HORARIO (\$) | COSTO TOTAL (\$) | |
| Cat. IV: Inspector de Obra | 0,02 | 2,56 | 0,04 | |
| Cat I: Peón | 0,02 | 2,56 | 0,04 | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| SUBTOTAL 2 | | | 0,08 | |
| HERRAMIENTAS | | | | |
| HERRAMIENTAS MANUALES | | | 0,00 | |
| 3. EQUIPO | HORAS EQUIPO | COSTO HORARIO (\$) | COSTO TOTAL (\$) | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| SUBTOTAL 3 | | | 0,00 | |
| | 4. TOTAL COSTO DIRECTO (1+2+3) | | | 0,28 |
| | 5. COSTO UNITARIO INDIRECTO (20%) | | | 0,06 |
| | 6. PRECIO UNITARIO CALCULADO (4+5) | | | 0,34 |
| | 7. PRECIO UNITARIO OFERTADO | | | 0,34 |

| ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS | | | | |
|-------------------------------|---|---------------------------|----------------------------|-------------------------|
| RUBRO: 1N | DESCRIPCIÓN: CONO VIAL (H= 0,70 m) | | | |
| | UNIDAD | u | | |
| 1. MATERIALES | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO (\$) | COSTO TOTAL (\$) |
| CONO VIAL (H= 0,70 m) | u | 1,00 | 11,00 | 11,00 |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| SUBTOTAL 1 | | | | 11,00 |
| 2. MANO DE OBRA | HORAS HOMBRE | COSTO HORARIO (\$) | COSTO TOTAL (\$) | |
| Cat. IV: Inspector de Obra | 0,08 | 2,56 | 0,20 | |
| Cat I: Peón | 0,08 | 2,56 | 0,20 | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| SUBTOTAL 2 | | | 0,41 | |
| HERRAMIENTAS | | | | |
| HERRAMIENTAS MANUALES | | | 0,02 | |
| 3. EQUIPO | HORAS EQUIPO | COSTO HORARIO (\$) | COSTO TOTAL (\$) | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| SUBTOTAL 3 | | | 0,00 | |
| | 4. TOTAL COSTO DIRECTO (1+2+3) | | | 11,43 |
| | 5. COSTO UNITARIO INDIRECTO (20%) | | | 2,29 |
| | 6. PRECIO UNITARIO CALCULADO (4+5) | | | 13,72 |
| | 7. PRECIO UNITARIO OFERTADO | | | 13,72 |

7.4. PRESUPUESTO DE OBRA DE LA VÍA HUANTO (L = 2.5 Km)

Se entiende por presupuesto de una obra o proyecto la determinación previa de la cantidad en dinero necesaria para realizarla, a cuyo fin se toma como base la experiencia adquirida en otras construcciones de índole semejante. La forma o el método para realizar esa determinación difieren según sea el objeto que se persiga con ella.

El tramo de vía analizada tiene una longitud de 2.5 kilómetros y el objetivo para la realización del diseño micro pavimento para esta vía será lograr que el pavimento asfáltico alcance la vida de servicio proyectada desde el punto de vista estructural, también realizará correcciones superficiales mejorando así el confort de los usuarios que transitan por esta vía y finalmente poder incrementar esta nueva tecnología de mantenimiento superficial para nuevas vía que se encuentran en deterioro en la provincia Bolívar.

TABLA DE DESCRIPCIÓN DE RUBROS

OBRA:

MANTENIMIENTO CON MICRO PAVIMENTO (TIPO III) DE LA VÍA HUANTO

| RUBRO No | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL |
|----------|---|----------------|----------|----------------------|---------------------|
| 1A | MICRO PAVIMENTO, TIPO III, CON MÁQUINA INCLUYE LIMPIEZA | m ² | 18000,00 | 1,89 | \$ 34.076,37 |
| 1C | AGUA PARA CONTROL DE POLVO | m ³ | 100,00 | 54,66 | \$ 5.466,24 |
| 1D | CHARLAS DE CONCIENTIZACIÓN: SEGURIDAD INDUSTRIAL | u | 2,00 | 385,60 | \$ 771,19 |
| 1E | SEÑAL: HOMBRES TRABAJANDO (0,6 x 1,2m) | u | 6,00 | 126,40 | \$ 758,38 |
| 1F | SEÑAL: RESTRICCIÓN DE VELOCIDAD (0,6 x 1,2 m) | u | 6,00 | 126,40 | \$ 758,38 |
| 1G | SEÑAL: DESVIO (0,6 x 1,2 m) | u | 6,00 | 126,40 | \$ 758,38 |
| 1H | SEÑAL: PELIGRO (0,4 X 1,2 m) | u | 6,00 | 126,40 | \$ 758,38 |
| 1I | SEÑAL: PROHIBIDO EL PASO (0,6 x 1,2 m) (VALLA MOVIL) | u | 6,00 | 246,40 | \$ 1.478,38 |
| 1K | PINTURA REFLECTIVA (FONDO ROJO LETRA AMARILLA) | u | 6,00 | 205,60 | \$ 1.233,58 |
| 1M | CINTA PLÁSTICA PELIGRO | m | 1000,00 | 0,34 | \$ 338,30 |
| 1N | CONO VIAL (H= 0,70 m) | u | 15,00 | 13,72 | \$ 205,73 |
| | | | | TOTAL | \$ 47.567,13 |
| | | | | IVA 12% | \$ 5.708,06 |
| | | | | TOTAL CON IVA | \$ 53.275,19 |

CAPITULO 8

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. APLICACIÓN O USO EN PROYECTOS

A medida que más y más pavimentos alcanzan su vida útil de servicio, las agencias de carreteras se muestran más preocupadas en encontrar técnicas apropiadas de rehabilitación de superficies que ayuden a prolongar su vida útil con una relación en costo beneficio óptimo. Una tecnología prometedora, denominada Micro pavimento ha sido usada como técnica de rehabilitación y mantenimiento de superficies desde 1980. Cuando es diseñada y aplicada apropiadamente, el micro pavimento se ha comportado bien al mejorar las características de fricción superficial y la recuperación de ahuellamientos por neumáticos, bajo variadas condiciones de tráfico y clima.

Otro factor existente para la utilización de ésta tecnología, se trata de la falta de calidad de fuentes de agregados o la disponibilidad de granulometrías apropiadas dentro de las distancias razonables de acarreo. El progreso en la localización de fuentes apropiadas de agregados, puede impulsar el uso del micro pavimentos.

Otro problema es la poca disposición de productores de agregado a suministrar granulometrías para micro pavimentos, debido a lo pequeño del mercado. A medida que la demanda por micro pavimentos se incrementa, este problema disminuye.

Finalmente, esta tecnología debe continuar desarrollándose. El uso de diferentes granulometrías en agregados y procedimientos de construcción para optimizar la fricción superficial.

8.2. CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN

8.2.1. AGREGADO

- Este agregado cumple con la granulometría recomendada por la ISSA A – 143 para la faja III que es específicamente para diseño de micro pavimento.
- El agregado de esta cantera presenta un porcentaje de desgaste a la abrasión (Máquina de los ángeles) de 20.5%, valor muy aceptable a lo que recomienda la ISSA A – 143 que es de máximo de 30% de desgaste, con lo que sí se puede realizar un diseño de micro pavimento con resultados satisfactorios para su aplicación en campo.
- La absorción que presenta el agregado es de 2.15%.
- El valor del ensayo de azul de metileno presentado en este agregado es de 2 mgr/gr, el agregado cumplen satisfactoriamente las especificaciones de la Norma ISSA – TB 145, es decir no contienen material potencialmente dañino como arcillas, material orgánico.

- El ensayo de equivalente de arena arrojó un valor de 82.26%, mayor al mínimo recomendado en la ISSA A – 143 que es de 65%, lo cual nos indica que estos agregados tienen poca cantidad de arcillas o finos nocivos.
- Se obtuvieron los porcentajes óptimos para la formulación de trabajo que fueron de:
 - Agregado 100%.
 - Cemento Portland 2%.
 - Agua 20%.
 - Emulsión CSS – 1H 11%.
- Con estos porcentajes se garantiza trabajabilidad y resistencia de la mezcla. Sin embargo el porcentaje de agua variará según las condiciones climáticas al momento de la colocación.
- Con la formulación de trabajo establecida se consiguió un tiempo de mezcla de 120 segundos, mayor al mínimo recomendado por la ISSA A – 143; con lo cual se consigue una mezcla uniforme y se tendrá tiempo suficiente para la colocación en obra.
- El tiempo de apertura al tránsito se determinó que es de 1 hora con 24 minutos de haber colocado el material.

| REQUISITO | NORMA | U | ESPECIFICACIÓN | | RESULTADO |
|----------------------|---------------|-------------------|----------------|-----|-----------|
| | | | MIN | MAX | |
| Granulometría | ASTM C - 136 | - | - | - | FAJA N° 3 |
| Abrasión | ASTM C - 131 | (%) | - | 30 | 20,50 |
| Gravedad Específica | ASTM C - 128 | gr/m ³ | - | - | 2,58 |
| Azul de Metileno | ISSA TB - 145 | mgr/gr | - | 10 | 2,00 |
| Equivalente de Arena | ASTM D - 2419 | (%) | 65 | - | 82,26 |

8.2.2. EMULSIÓN CSS – 1H

- Las emulsiones analizadas mediante el ensayo de viscosidad es de 23.5seg, se encuentran dentro del rango establecido por la norma ASTM D - 224 de 20 a 100 segundos con una temperatura de 25°C, por lo tanto son emulsiones manejables a temperatura ambiente, facilitando su bombeo tanto en planta como en obra.
- En el ensayo de estabilidad a las 24 horas, se obtuvo el valor de 0.34% menor al 1% establecidos por la ASTM D – 244, esto indica que después de 24 horas la emulsión mantiene su dispersión uniforme.
- Se obtuvo en el ensayo de asentamiento de los 5 días el valor de 0.18% menor al máximo establecido por la ASTM D – 244 que es del 5%.
- En emulsiones modificadas con polímero, durante su almacenamiento podrían producirse asentamientos separando el polímero de la emulsión por lo que previa a su utilización debía agitarla suficientemente para usarla.

- En el ensayo de retenido en malla No. 20 se obtuvo el valor de 0.003%, que está dentro del rango establecido por la ASTM D – 244 que es entre 0 – 0.1%, esto indica que las emulsiones no contienen asfalto mal emulsionado o grumos, producto de una rotura prematura de estas, no presentan agentes contaminantes.
- Se obtuvo en el ensayo de carga de la partícula, que la emulsión analizada son catiónica (carga positiva). Esto indica que va a existir una unión adecuada entre la emulsión y el agregado.
- En el ensayo de mezcla con cemento se obtuvo el valor de 0.13%, menor a lo establecido por la ASTM D - 224 que es entre 0 - 2 gramos, esto nos indica que son emulsiones manejables al combinarse con filler; es decir su rotura es controlable.
- Los resultados obtenidos en el ensayo de pH es el valor de 2.05pH que se encuentran dentro del rango establecido por la norma ASTM D - 244 que es entre 1.5 – 2.5 pH.
- En el ensayo de residuo por evaporación se obtuvo el valor de 63.8%, que se encuentran dentro del rango establecido por la ASTM D - 244 que es entre el 57% a 64%.
- En la realización del ensayo de reblandecimiento, se obtuvo el valor de 60.5°C, que es un valor mayor al mínimo establecido por la ASTM D - 36, que es de 57°C.
- Los resultados obtenidos en el ensayo de penetración al residuo se obtuvo el valor de 46 I/10mm, que se encuentran dentro del rango establecido por la ASTM D - 5, que es de 40 a 90 I/10mm a los 25°C, y 5 segundos.
- En la realización del ensayo de ductilidad, se obtuvo el valor de 76cm, que es un valor mayor al mínimo establecido por la ASTM D - 113, que es de 40cm.

| REQUISITO | NORMA | U | ESPECIFICACIÓN | | RESULTADO |
|----------------------------|--------------|----------|-------------------|-----|-----------|
| | | | MIN | MAX | |
| Viscosidad Saybolt Furol | ASTM D - 244 | ssf | 20 | 100 | 23,5 |
| Estabilidad a las 24 horas | ASTM D - 244 | (%) | - | 1 | 0,34 |
| Asentamiento a los 5 días | ASTM D - 244 | (%) | - | 5 | 0,18 |
| Retenido en Malla N° 20 | ASTM D - 244 | (%) | 0 | 0,1 | 0,003 |
| Carga de la Particula | ASTM D - 244 | - | positiva/negativa | | positava |
| Mezcla con cemento | ASTM D - 244 | (%) | 0 | 2 | 0,13 |
| PH | ASTM D - 244 | pH | 1,5 | 2,5 | 2,05 |
| Residuo Asfáltico | ASTM D - 244 | (%) | 57 | 64 | 63,8 |
| Punto de Reblandecimiento | ASTM D - 36 | °C | 57 | - | 60,5 |
| Penetración del residuo | ASTM D - 5 | (I/10mm) | 40 | 90 | 46 |
| Ductilidad del Residuo | ASTM D - 133 | (cm) | 40 | - | 76 |

8.2.3. AGUA

- Se utilizó el agua potable de la red del Distrito Metropolitano de Quito, esto nos garantizó que no contenía sales solubles o químicos reactivos, con lo cual no se tuvo inconvenientes en las mezclas.

- No se utilizaron ningún tipo de aditivo, ya que no se consideró que era necesario para este tipo de diseño.

8.3. DISEÑO DE LA MEZCLA PARA TRAMO DE PRUEBA

- En el ensayo de tiempo de mezclado se obtuvo, un Micro pavimento que nos brinda un adecuado tiempo de manejabilidad el cual es mayor a lo especificado por la ISSA TB – 113 que es 3 minutos.
- En el ensayo de consistencia, con un contenido óptimo de agua del 20%, se obtuvo una medida de 3 cm sobre la base circular graduada, esta se encuentra dentro de los límites especificados por la ISSA TB – 106, entre 2 y 3 cm.
- Se obtuvo en el ensayo de cohesión un tiempo de rotura de 1 hora, y un tiempo de apertura al tráfico de 1 hora con 24 minutos.
- En el ensayo de abrasión en húmedo con el 11%, de emulsión se obtuvo un desgaste menor a 538 gr/m², máximo recomendado por la ISSA A – 143, con lo que nos indica que en obra no existirá un excesivo desprendimiento del material en condiciones de desempeño máximo y garantice el tiempo de vida útil estimado.
- Para el ensayo de rueda cargada con el 11%, de emulsión se evidencio que este diseño ofrecerá resistencia a las cargas de tránsito y que no existirá exudación de asfalto.
- Al relacionar la curvas de rueda cargada y abrasión en húmedo se obtuvo un contenido óptimo de emulsión del 10.94%.
- Para el diseño de Micro pavimento con este agregado, se necesitaría un 2% de cemento para compensar la deficiencia de finos, presente en el material.

| REQUISITO | NORMA | U | ESPECIFICACIÓN | | RESULTADO |
|--------------------|---------------|-------------------|----------------|-----|------------------------------|
| | | | MIN | MAX | |
| Consistencia | ISSA TB - 106 | cm | 2 | 3 | 3 |
| Tiempo de mezclado | ISSA TB - 113 | min | 3 | - | > 3 |
| Cohesión | ISSA TB - 139 | kg-cm | 12 | - | 5.5.4. Resultados del ensayo |
| Abrasión en húmedo | ISSA TB - 100 | gr/m ² | - | 538 | 299,81 |
| Rueda cargada | ISSA TB - 109 | gr/m ² | - | 538 | 310,74 |

8.4. RECOMENDACIONES PARA SU UTILIZACIÓN EN PROYECTOS VIALES

- Se recomienda que la emulsión asfáltica tenga un contenido de asfalto residual de 62% o mayor.
- Se debe considerar las variaciones de temperatura y humedad ambiental, ya que influencia directamente en el contenido de humedad en formulación de la mezcla.

- Con relación al agregado de la cantera Calagua, es muy recomendable para el diseño de Micro pavimentos, debido a su gran desempeño mecánico y mezcla con la emulsión, dándonos como resultado buena trabajabilidad de la mezcla y apertura al tránsito.
- Se pueden utilizar indistintamente como relleno mineral (filler): cemento Portland Tipo I, cal hidratada, polvo de piedra caliza o ceniza volcánica, con un porcentaje máximo del 3 %. La adición de este relleno mineral, mejorar la parte fina de la curva granulométrica de los agregados, influyendo en el comportamiento a la ruptura y curado de micro pavimento.
- El agregado tiene una deficiencia de finos del 2%, la cual se podrá compensar con filler ya que si cumple con los demás requerimientos para el diseño.
- Para las emulsiones, es necesario que tengan un buen almacenamiento, con recirculación constante, esto con el fin de evitar la formación de natas en la parte superior debido al polímero que lo contiene, también para evitar asentamientos debido a periodos prolongados de almacenamiento.
- Llevar a cabo la dosificación en un laboratorio adecuadamente equipado para obtener resultados óptimos.
- Para dar apertura al tránsito, hay que esperar hasta que el Micro pavimento rompa, esto con el fin de evitar daños prematuros en la superficie.
- Se presenta a continuación un cuadro final de resumen obtenido a partir de los ensayos de agregado, emulsión, diseño y dosificación final

| ENSAYO | | U | CALAGUA |
|---|--|--------------------|------------------------------|
| CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO | ABRASIÓN | % | 20,50 |
| | EQUIVALENTE DE ARENA | % | 82,26 |
| | GRAVEDAD ESPECIFICA | gr/cm ³ | 2,58 |
| | AZUL DE METILENO | mgr/gr | 2,00 |
| | GRANULOMETRÍA | - | Faja No. 3 |
| ENSAYO | | U | CSS - 1h (CON POLÍMERO) |
| CARACTERIZACIÓN DE LA EMULSIÓN | RESIDUO POR EVAPORACIÓN | % | 63,80 |
| | PENETRACIÓN EN EL RESIDUO | 1/10 mm | 46,00 |
| | DUCTILIDAD AL RESIDUO | cm | 76,00 |
| | VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL (25 ^o C) | ssf | 23,50 |
| | CARGA DE LA PARTÍCULA | - | positiva |
| | ASENTAMIENTO A LOS 5 DÍAS | % | 0,18 |
| | ESTABILIDAD DE ALMACENAMIENTO A LAS 24 HORAS | % | 0,34 |
| | RETENIDO EN MALLA NO 20 | % | 0,003 |
| MEZCLA CON CEMENTO | % | 0,13 | |
| DOSIFICACIÓN | | U | CALAGUA |
| FORMULACIÓN DE TRABAJO | AGREGADO | | 100 |
| | CEMENTO | % | 2,00 |
| | AGUA | | 20,00 |
| | EMULSIÓN CSS - 1h (CON POLÍMERO) | | 10,94 |
| ENSAYO | | U | CALAGUA |
| PRUEBAS DE DESEMPEÑO - EMULSIÓN CSS - 1h (CON POLÍMERO) | TIEMPO DE MEZCLADO | min | >3 |
| | CONSISTENCIA | cm | 3 |
| | COHESIÓN | kg-cm | 5.5.4. Resultados del ensayo |
| | ABRASIÓN EN HÚMEDO | gr/cm ² | 299,81 |
| | RUEDA CARGADA | gr/cm ² | 310,74 |

8.5. BIBLIOGRAFÍA

- ISSA A 143 (Mayo de 2005); —Guía recomendada para Micro pavimentos
- ASTM D 75 (2003); —Muestreo del agregado mineral
- ASTM C 128 (2004); —Ensayo de Densidad, densidad relativa (Gravedad específica), y la absorción de Agregado Fino
- ASTM C 136 (2001); —Análisis Granulométrico de los agregados
- ASTM C 117 (1995); —Análisis Granulométrico de los agregados finos
- ASTM D 2419 (2002); —Ensayo de Equivalente de Arena de Suelos y Agregado Fino
- AASHTO T 96 (2002); —Ensayo a la Abrasión del Agregado Grueso de tamaño pequeño usando la Maquina de los Ángeles
- ASTM D 244 (2004); —Ensayos de Asfalto Emulsificado
- ASTM D 2397 (1998); —Especificaciones para la emulsión catiónica
- ASTM D 977 (2003); —Especificaciones para la emulsión aniónica
- ASTM D 36 (2000); —Punto de ablandamiento por el uso del anillo y bola
- ASTM D 5 (2005); —Penetración 3,5 oz. (100 gr.) a los 5 segundos a 77°F (25°C)
- ASTM D 88 (1999); —Viscosidad Saybolt Furol
- ASTM D 6933 (2004); —Ensayo de Tamiz N° 20
- ASTM D 6934 (2004); —Residuo por evaporación
- ISSA TB 100 (1990); Abrasión en Húmedo para Slurry Seal (Determina el porcentaje de asfalto mínimo en la mezcla)
- ISSA TB 109 (1990); El exceso de asfalto por la adhesión de arena (Rueda Cargada LWT)
- ISSA TB 111 (1999); Guía de Diseño para la producción de Slurry Seal
- ISSA TB 109 (1990); El exceso de asfalto por la adhesión de arena (Rueda Cargada LWT)
- ISSA TB 113 (1990); —Tiempo de mezcla
- ISSA TB 139 (1990); —Ensayo de Cohesión
- PAVEMENT PRESERVATION TREATMENT CONSTRUCTION GUIDE
http://fhwapap34.fhwa.dot.gov/NHI-PPTCG/chapter_8/index.htm; Enero 2010.
- SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTE, INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
- ASPHALT INSTITUTE - Manual Básico de Emulsiones Asfálticas serie No. 19
- ASPHALT INSTITUTE - Principios de Construcción de pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente serie No. 22
- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS DE COLOMBIA - Normas para Ensayos, Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras

- BAÑON BLÁSQUEZ, Luis, BEVIÁ GARCÍA José F. Manual de Carreteras, Construcción y Mantenimiento 2
- CARRIÓN HUAMÁN Raúl Metodico (Enero 2011); —Tecnología de emulsiones asfálticas, Slurry Seal y Micro pavimentos <http://www.scribd.com/doc/10478011/Slurry-Seal-y-Micropavimentos>.
- BITUPER S.A.C; <http://www.bituper.com/emul.htm>; Septiembre 2010.
- BERGKAMP; http://www.bergkampinc.com/industry_links.html; Enero 2010.

ANEXOS