



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE UN
DISEÑO DE MEZCLA PARA MICROPAVIMENTOS, UTILIZANDO ARENA DE RÍO Y ARENA
TRITURADA COMO AGREGADO FINO, APLICADO A CARRETERAS DE SEGUNDO
ORDEN**

Jorge Antonio Aldana López

Asesorado por el Ing. José Juan Istupe Ibáñez

Guatemala, noviembre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE UN
DISEÑO DE MEZCLA PARA MICROPAVIMENTOS, UTILIZANDO ARENA DE RÍO Y ARENA
TRITURADA COMO AGREGADO FINO, APLICADO A CARRETERAS DE SEGUNDO
ORDEN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JORGE ANTONIO ALDANA LÓPEZ
ASESORADO POR EL ING. JOSÉ JUAN ISTUPE IBAÑEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Díaz
EXAMINADOR	Ing. José Mauricio Arriola Donis
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE UN
DISEÑO DE MEZCLA PARA MICROPAVIMENTOS, UTILIZANDO ARENA DE RÍO Y ARENA
TRITURADA COMO AGREGADO FINO, APLICADO A CARRETERAS DE SEGUNDO
ORDEN**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 13 de mayo de 2020.

Jorge Antonio Aldana López



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria.usac.edu.gt




Guatemala, 9 de noviembre de 2021

Ingeniero Civil
Hugo Leonel Montenegro Franco
Coordinador del Área de Materiales de Construcción
Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Montenegro:

Por medio de la presente le comunico que he revisado el informe final del Trabajo de Graduación con el tema **“ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE UN DISEÑO DE MEZCLA PARA MICROPAVIMENTOS, UTILIZANDO ARENA DE RÍO Y ARENA TRITURADA COMO AGREGADO FINO, APLICADO A CARRETERAS DE SEGUNDO ORDEN”**; elaborado por el estudiante de Ingeniería Civil **Jorge Antonio Aldana López**, quien se identifica con Registro Académico número **201603175** y Documento Personal de Identificación **3367 24209 1906**, considerando que dicho trabajo cumple los requisitos establecidos por la Escuela de Ingeniería Civil. Por lo anterior, doy mi aprobación y recomiendo para su publicación.

Sin otro particular, me suscribo atentamente,


José Juan Istúpe Ibáñez
Ingeniero Civil
Colegiado No. 16089
Ing. Civil José Juan Istúpe Ibáñez
Asesor de trabajo de graduación





ESCUELA DE
INGENIERÍA CIVIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Guatemala, 12 de noviembre de 2021

Ingeniero
Armando Fuentes Roca
Director Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Fuentes, Le informo que he revisado el trabajo de graduación **“ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE UN DISEÑO DE MEZCLA PARA MICROPAVIMENTOS, UTILIZANDO ARENA DE RÍO Y ARENA TRITURADA COMO AGREGADO FINO, APLICADO A CARRETERAS DE SEGUNDO ORDEN”**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Jorge Antonio Aldana López, quién contó con la asesoría del Ing. José Juan Istupe Ibañez.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo, doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Civil. Hugo Leonel Montenegro Franco
Jefe de área de materiales y construcciones civiles.





El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. José Juan Istupe Ibáñez y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco al trabajo de graduación del estudiante Jorge Antonio Aldana López **ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE UN DISEÑO DE MEZCLA PARA MICROPAVIMENTOS, UTILIZANDO ARENA DE RÍO Y ARENA TRITURADA COMO AGREGADO FINO, APLICADO A CARRETERAS DE SEGUNDO ORDEN**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Sin otro particular, le saludo muy atentamente.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Armando Fuentes Roca
Director Escuela Ingeniería Civil

Guatemala, noviembre 2021
/mrrm.





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

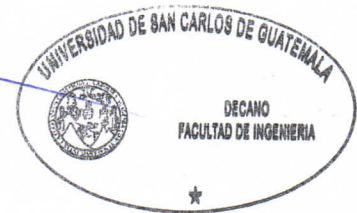
Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101 - 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

DTG.701.2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE UN DISEÑO DE MEZCLA PARA MICROPAVIMENTOS, UTILIZANDO ARENA DE RÍO Y ARENA TRITURADA COMO AGREGADO FINO, APLICADO A CARRETERAS DE SEGUNDO ORDEN**, presentado por el estudiante universitario: **Jorge Antonio Aldana López**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, noviembre de 2021

AACE/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres	Mildred López y Jorge Aldana, por brindarme los recursos y el apoyo necesario durante el transcurso de la carrera.
Mis abuelos	Jorge Oswaldo Aldana (q. e. p. d.), Rosabel Oliva, Ofelia Bonilla y Elfio López, por ser una luz en mi vida.
Mis tías	Jackeline y Ligia López, y Roxana Aldana, por el apoyo brindado a mí, y a mi familia.
Mis amigos	A quienes conocí durante la carrera y a los que, desde antes, estuvieron ahí para darme aliento y ánimos.
Grupo ITSA	Por la oportunidad de desarrollarme personal y profesionalmente.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por permitirme formar ser parte del privilegiado grupo de personas que tiene acceso a educación superior.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme los conocimientos que hoy hacen que me pueda desarrollar profesionalmente.
Escuela de ingeniería Civil	Por acogerme y recibirme como un estudiante más de tan prestigiosa escuela.
Mis padres	Por estar siempre para mí, además de brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente.
Mis abuelos	Por apoyarme en todo momento y ser la luz de mi vida.
Mis tías	Por brindarme todo su apoyo y motivarme a superarme personal, académica y profesionalmente.
Ing. José Istupe	Por la asesoría y apoyo incondicional durante el desarrollo del presente trabajo de graduación.

Mis amigos

Por apoyarme durante la carrera y ser parte
esencia en mi formación académica y
profesional.

PADEGUA

Por abrirme las puertas de sus instalaciones y
permitirme desarrollar el presente trabajo de
graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Estudio de morteros asfálticos en Guatemala	1
1.2. Mantenimiento de pavimentos flexibles	3
1.2.1. Mantenimiento preventivo de pavimentos flexibles.....	3
1.2.2. Mantenimiento correctivo de pavimentos flexibles....	5
1.2.3. Mantenimiento de emergencia de pavimentos flexibles.....	6
1.3. Métodos de mantenimiento y corrección de pavimentos flexibles.....	6
1.3.1. Sello de fisuras y grietas.....	6
1.3.2. Bacheo	7
1.3.3. Carpeta asfáltica (reapeo).....	9
1.3.4. Tratamientos superficiales.....	10
1.3.4.1. Tratamiento superficial simple (TS-1)..	10
1.3.4.2. Tratamiento superficial múltiple	11

2.	GENERALIDADES DEL BANCO DE MATERIALES	13
2.1.	Descripción del banco de materiales.....	13
2.1.1.	Banco de materiales No.1	13
2.1.2.	Banco de materiales No.2	13
2.2.	Localización del banco de materiales.....	14
2.2.1.	Banco de materiales No.1	14
2.2.2.	Banco de materiales No.2	15
3.	GENERALIDADES DE LOS MORTEROS ASFÁTICOS.....	17
3.1.	Definición de morteros asfálticos	17
3.2.	Tipos de morteros asfálticos	17
3.2.1.	<i>Slurry Seal</i> (lechada asfáltica).....	17
3.2.2.	<i>Microsurfacing</i> (micropavimentación).....	18
3.2.3.	<i>Cape Seal</i> (sello de capa)	18
3.3.	Micropavimentos (<i>microsurfacing</i>)	19
3.3.1.	Componentes de un micropavimento	19
3.3.1.1.	Emulsión asfáltica	19
3.3.1.1.1.	Propiedades de las emulsiones	20
3.3.1.1.2.	Clasificación de las emulsiones	21
3.3.1.2.	Emulsiones para micropavimentos.....	24
3.3.1.3.	Agregado pétreo.....	25
3.3.1.3.1.	Agregados naturales	25
3.3.1.3.2.	Agregados triturados	26
3.3.1.4.	Relleno mineral	26
3.3.1.4.1.	Cemento Portland	27
3.3.1.4.2.	Cal hidratada.....	28
3.3.1.5.	Agua.....	28

3.4.	Usos generales de los micropavimentos	29
3.4.1.	Ventajas del uso de micropavimentos	29
3.4.2.	Tipos de micropavimentos según su granulometría.....	30
3.4.2.1.	Micropavimento tipo II.....	31
3.4.2.2.	Micropavimento tipo III.....	31
3.4.3.	Normas aplicables al diseño de micropavimentos ..	32
4.	METODOLOGÍA PARA LA COLOCACIÓN DE MICROPAVIMENTOS	35
4.1.	Equipo para la colocación de micropavimentos.....	35
4.1.1.	Equipo de mezclado	35
4.1.2.	Unidades de dosificación	35
4.1.3.	Equipo esparcidor.....	36
4.1.4.	<i>Strike-off</i> secundario.....	36
4.2.	Proceso de colocación de micropavimento	36
4.2.1.	Inspección y preparación de la superficie.....	36
4.2.2.	Riego de material ligante	37
4.2.3.	Aplicación de la mezcla de micropavimento	37
4.2.4.	Limpieza final.....	37
5.	DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MICROPAVIMENTOS	39
5.1.	Parámetros para evaluar de los componentes de un micropavimento	39
5.1.1.	Ensayos sobre emulsión asfáltica.....	39
5.1.1.1.	Residual por destilación o evaporación (AASHTO T59 o ASTM D6934).....	39

5.1.1.2.	Penetración al asfalto residual (ASTM D-5)	41
5.1.1.3.	Punto de ablandamiento (AASHTO T 53-96 o ASTM D36)	43
5.1.2.	Agregados	45
5.1.2.1.	Análisis granulométrico por tamices de los agregados fino y gruesos.....	46
5.1.2.2.	Equivalente de arena, suelos y agregados finos.....	48
5.1.2.3.	Resistencia a la degradación de agregado grueso de pequeño tamaño por abrasión en impacto en la máquina Los Ángeles	51
5.1.3.	Relleno mineral (<i>Filler</i>)	53
5.1.4.	Agua.....	53
5.2.	Diseño de mezcla de un micropavimento.....	54
5.2.1.1.	Método de ensayo para determinar el tiempo de mezcla para sistemas tipo slurry.....	54
5.2.1.2.	Ensayo de consistencia de sellador tipo Slurry	56
5.2.1.3.	Prueba para la medición de la estabilidad y resistencia a la compactación, desplazamiento lateral y vertical de mezclas frías de agregado fino multicapa	59
5.2.1.4.	Prueba para la medición de exceso de asfalto para mezclas bituminosas usando el ensayo de adherencia de	

	arena por medio del ensayo de la rueda cargada.....	60
5.2.1.5.	Método de ensayo para la abrasión húmeda de sistemas de superficies tipo slurry (WTAT).....	64
5.3.	Resultados.....	69
5.3.1.	Emulsión asfáltica.....	69
5.3.2.	Agregados	70
5.3.3.	Diseño de mezcla de micropavimentos	76
5.3.4.	Comparación de los resultados de las mezclas con ambos agregados	82
CONCLUSIONES		87
BIBLIOGRAFÍA.....		91
APÉNDICES		97
ANEXO		101

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Efectividad del mantenimiento preventivo de carreteras	4
2.	Configuración de sello de grietas	7
3.	Área de carretera a bachear	8
4.	Trabajos de recapeo por parte de COVIAL	9
5.	Tratamiento superficial sobre base granular.....	11
6.	Tratamiento superficial múltiple	11
7.	Planta Palín Este	14
8.	Río San José Chiquimula	15
9.	Estructura de un <i>cape seal</i>	19
10.	Clasificación de las emulsiones según su dispersión	22
11.	Cemento tipo Portland	27
12.	Cal hidratada	28
13.	Preparación de muestra para el ensayo por penetración	43
14.	Preparación de la muestra para ensayo de punto de ablandamiento....	45
15.	Ensayo de granulometría de agregados con agitador mecánico.....	48
16.	Ensayo de equivalente de arena	51
17.	Proceso de realización del ensayo de desgaste por abrasión e impacto	53
18.	Determinación de tiempo de mezclado	56
19.	Escala para la evaluación de la consistencia de la mezcla (ISSA TB 106).....	57

20.	Evaluación de la consistencia de la mezcla mediante el cono de arena sobre la escala graduada, utilizando distintos porcentajes de agua	58
21.	Evaluación de la estabilidad, resistencia a la compactación, desplazamiento lateral y vertical de mezclas	60
22.	Máquina para ensayo de la rueda cargada (LWT)	62
23.	Especímenes con distintos porcentajes de emulsión después del ensayo de adherencia de arena con rueda cargada	64
24.	Maquina Hobart para ensayo de abrasión húmeda	66
25.	Especímenes para ensayo de abrasión húmeda para diferentes porcentajes de emulsión	69
26.	Curva granulométrica del agregado No.1 según límites.....	73
27.	Curva granulométrica de agregado No.2	74
28.	Obtención del porcentaje óptimo de emulsión para diseño de mezcla con agregado No.1.....	84
29.	Obtención del porcentaje óptimo de emulsión para diseño de mezcla con agregado No.2.....	85

TABLAS

I.	Clasificación de las emulsiones asfálticas	24
II.	Usos de un micropavimento según su granulometría	30
III.	Granulometría para micropavimento tipo II.....	31
IV.	Granulometría para micropavimento tipo III.....	32
V.	Resumen de ensayos de calidad para materiales de micropavimentos.....	33
VI.	Resumen de ensayos del diseño de mezcla del micropavimento.....	34
VII.	Factores de corrección de pérdidas para la correlación con la máquina Hobart C -100.....	65

VIII.	Residual por destilación o evaporación de la emulsión CSS 1h	70
IX.	Penetración al asfalto residual	70
X.	Ensayo de equivalente de arena agregado No.1	71
XI.	Ensayo de equivalente de arena agregado No.2	71
XII.	Granulometría del agregado No.1	72
XIII.	Granulometría del agregado No.2.....	73
XIV.	Ensayo de desgaste tipo “C” para agregado No.1	74
XV.	Ensayo de desgaste tipo “D” para agregado No.1	75
XVI.	Ensayo de desgaste tipo “C” para agregado No.2	75
XVII.	Ensayo de desgaste tipo “D” para agregado No.2	76
XVIII.	Ensayo de tiempo de premezcla con agregado No.1	76
XIX.	Tiempo de rotura de la emulsión con agregado No.1	77
XX.	Ensayo de premezcla con agregado No.2	77
XXI.	Tiempo de rotura de la emulsión con agregado No.2	78
XXII.	Resultados del ensayo de consistencia con agregado No.1	78
XXIII.	Resultados del ensayo de consistencia con agregado No.2	79
XXIV.	Desplazamiento lateral en especímenes del ensayo de rueda cargada (LWT) agregado No.1.....	79
XXV.	Desplazamiento lateral en especímenes del ensayo de rueda cargada (LWT) agregado No.2.....	80
XXVI.	Adherencia de arena por medio del ensayo de rueda cargada con agregado No.1	80
XXVII.	Adherencia de arena por medio del ensayo de rueda cargada con agregado No.2	81
XXVIII.	Perdida por abrasión en húmedo de agregado No.1	81
XXIX.	Pérdida por abrasión en húmedo de agregado No.2	82
XXX.	Comparación del diseño de mezcla de micropavimentos utilizando el agregado No.1 y el agregado No.2	82

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetro
°C	Grado Centígrado
°F	Grado Farenheit
g	Gramo
g/m²	Gramo sobre metro cuadrado
g/ft²	Gramo sobre pie cuadrado
kg	Kilogramo
lb	Libra
m	Metro
m²	Metro cuadrado
µm	Micrómetro
mm	Milímetro
ft	Pie
ft²	Pie cuadrado
s	Segundo

GLOSARIO

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation.
Agregado	Material resultante del proceso de desintegración de las rocas, de origen natural o artificial.
Asfalto	Mineral negro de origen natural u obtenido artificialmente, producto de la destilación del petróleo.
ASTM	American Society for Testing and Materials.
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normalización.
COVIAL	Unidad Ejecutora de Conservación Vial.
Emulsión	Dispersión de partículas de asfalto en agua.
Filler	Materiales inorgánicos minerales, naturales o artificiales, preparados en función de su granulometría.
HOBART N-50	Es una batidora de mesa de 5 litros de capacidad.
IAG	Instituto del Asfalto de Guatemala.

ISSA	International Slurry Surfacing Association.
LWT	Wheel Load Test.
Microcapas	Capas de pequeño tamaño, compuestas por emulsión, agregados, relleno mineral, agua y aditivos.
NTG	Norma Técnica Guatemalteca.
PADEGUA	Pavimentos de Guatemala, S.A.
WTAT	Wet Track Abrasion Test.
%E_{opt}	Porcentaje óptimo de emulsión.

RESUMEN

Actualmente, existen carreteras tanto de primer orden, como de segundo orden, que necesitan algún tipo de mantenimiento, preventivo, correctivo o reposición total de la carpeta de rodadura.

Esto representa un alto costo a las autoridades encargadas del mantenimiento de carreteras, debido a que se realizan otros tipos de trabajos que no representan soluciones duraderas y de calidad.

Los micropavimentos presentan una forma de dar mantenimiento a carreteras de primer y segundo orden, siendo estos, más fáciles de evaluar y presentando un mejor desempeño en diversas condiciones.

En el presente trabajo de graduación se evaluó el desempeño de un micropavimento utilizando un agregado de origen artificial y uno de origen natural, tomando como referencia, las normas de la International Slurry Surfacing Association (ISSA).

Para la evaluación, tanto de sus propiedades físicas como mecánicas en condiciones de laboratorio. Con los resultados de los ensayos se estableció un diseño de mezcla, que puede ser aprovechado para su aplicación en carreteras de segundo orden.

OBJETIVOS

General

Realizar una comparación de las propiedades físicas y mecánicas del diseño de mezcla de un micro pavimento, utilizando arena de río y arena triturada, como agregado fino.

Específicos

1. Elaborar dos tipos de mezcla asfáltica para micro pavimentos, la primera utilizando arena de río y, la segunda, un agregado fino triturado, de acuerdo con las granulometrías exigidas por la norma ISSA A143.
2. Determinar las ventajas y las desventajas de la utilización de arena de río y arena triturada como agregado fino en el diseño de mezcla de un micro pavimento.
3. Crear una metodología capaz de asistir en el diseño, ensayos y control de calidad en el uso y aplicación de los micro pavimentos, como forma de recuperación de vías con tráfico liviano.

INTRODUCCIÓN

Durante mucho tiempo se ha buscado implementar métodos alternativos para la recuperación de carpetas de rodadura asfáltica, construidos por métodos de pavimentación tradicionales, que han sido sometidos a tránsito constante y agentes atmosféricos que han derivado en su deterioro y desgaste.

Es importante que estos métodos sean capaces de ofrecer una solución técnica y económica para la rehabilitación de tramos carreteros, de acuerdo con el tipo de tráfico para el que han sido diseñados.

Los micro pavimentos ofrecen una solución a los problemas que puede sufrir una carpeta de rodadura, cuando estos presentan problemas de nivelación, grietas, entre otros.

Los micro pavimentos han demostrado un tiempo de curación menor a otros métodos, por lo que se utiliza para la apertura temprana del tránsito. La emulsión asfáltica modificada con polímeros, lo hace apto para el tránsito rápido.

Para tratar los problemas anteriormente mencionados, en carreteras de segundo orden con tráfico liviano, se ha optado por determinar y comparar las propiedades físicas y mecánicas de un micro pavimento, mediante las pruebas de laboratorio correspondientes a las normas utilizadas.

Con esto se busca crear una metodología para el diseño de mezcla de esta y constituirlo en aplicaciones para recuperación de carreteras.

1. ANTECEDENTES

1.1. Estudio de morteros asfálticos en Guatemala

Al hablar de términos como lechada asfáltica, mortero asfáltico, sello y *slurry seal* se genera confusión y pueden considerarse como sinónimos unos con otros. La lechada asfáltica o *slurry seal*, es una mezcla de agregado, emulsión, material *filler* (cemento o cal), aditivos y agua, que, al ser mezclado, es aplicado como un tratamiento de superficie de poco espesor, con maquinaria especializada.

Actualmente en Guatemala, existe una mínima cantidad de obras que han utilizado métodos como el *slurry seal* y *microsurfacing*. El manual de Especificaciones Técnicas de COVIAL 2016, hacen mención de ciertos métodos de mantenimiento de la red vial pavimentada, entre estos se mencionan a los tratamientos superficiales, *Slurry Seal* (lechada asfáltica), y *microsurfacing* (micropavimentos), estos contienen especificaciones para los materiales a utilizarse, proceso de medición, ejecución y forma de pago, además de especificaciones de ensayos de laboratorio basados en las normas internacionales. Entre los trabajos de investigación relacionados al estudio de morteros asfálticos en Guatemala se encuentran los siguientes.

Diseño de la mezcla de micropavimentos para el mantenimiento de la ruta Santa Rosa Tres (RD-SRO-03), tramo Casillas-desvió a San Rafael Las Flores.

En Guatemala se han efectuado investigaciones para ser aplicadas en algunos proyectos de mantenimiento de carreteras con métodos como el *microsurfacing*. Uno de ellos fue la propuesta de un diseño de mezcla sobre la

Ruta RD-SRO-03, tramo Casillas-San Rafael Las Flores. Díaz R., la ruta no contaba con el mantenimiento adecuado, por lo que se formaron baches, erosión severa, fisuras longitudinales, ahuellamientos y peladuras lo que afectaba la transitabilidad.

Por esto se decidió aplicar un micropavimento como alternativa para la recuperación de la superficie asfáltica y extender su vida útil. Este tipo de mantenimiento preventivo permitió mejorar la serviciabilidad de la carretera, por lo que se propuso un diseño de mezcla de un micropavimento para aplicarse sobre el tramo carretero en mención. Los ensayos de mezcla y su documentación fueron realizados como parte de un trabajo de investigación de tesis de la Universidad Rafael Landívar, por Rodrigo Eduardo Díaz Alarcón titulado:

Metodología, diseño y aplicación de un mortero asfáltico para el proyecto M-30-20090.

El proyecto M-30 fue realizado en el departamento de Jutiapa. En este proyecto se realizaron todas las pruebas de calidad relacionadas a los materiales, tomando como base las normas del ISSA A143. Se realizaron los ensayos correspondientes a la emulsión asfáltica, agregados pétreos, agregado mineral, agua y aditivos, además de los ensayos a la mezcla terminada.

Se detalla el proceso de la colocación del micropavimento sobre la superficie, lo que responde a las especificaciones establecidas por ISSA, la calibración de las máquinas, su uso y el control de calidad en la aplicación *in situ*. Este trabajo se documentó como parte de un trabajo de graduación de la Universidad de San Carlos de Guatemala, por el alumno Ismael Tahuite Arana.

1.2. Mantenimiento de pavimentos flexibles

Las carreteras se encuentran entre los bienes públicos más importantes de un país, debido a que son considerados como los accesos principales a hospitales, mercados, escuelas, universidades, entre otros.

El Instituto del Asfalto de Guatemala (IAG), clasifica el mantenimiento de los pavimentos flexibles según el tipo, frecuencia o grado de deterioro que presenta el mismo. Este puede ser preventivo o correctivo.

Según la Unidad Ejecutora de Conservación Vial (COVIAL), el mantenimiento de carreteras se agrupa en cinco categorías distintas.

- Mantenimiento rutinario
- Mantenimiento periódico
- Mantenimiento preventivo
- Trabajos por administración
- Operaciones de emergencia

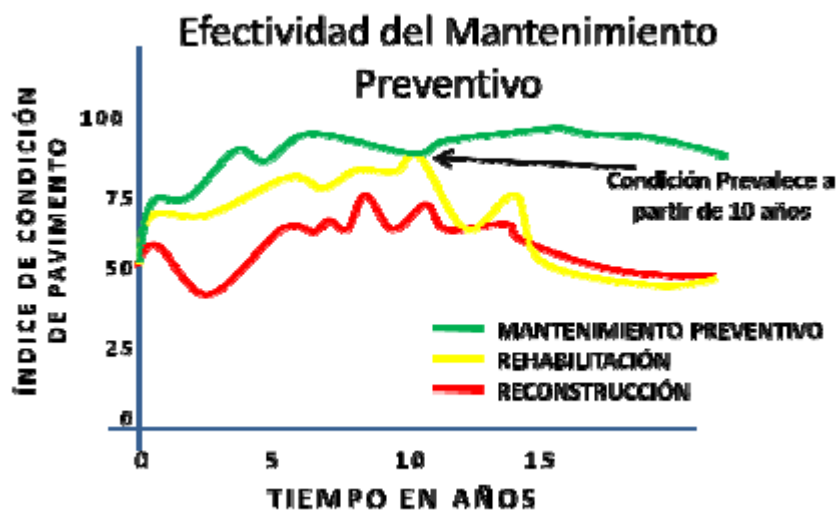
1.2.1. Mantenimiento preventivo de pavimentos flexibles

Comprende todas aquellas actividades requeridas para conservar una vía de regular a buen estado, las cuales se repiten una o más veces al año. También, incluye aquellas labores de reparación vial destinadas a recuperar elementos menores dañados, deteriorados o destruidos, tal como los barandales de puentes, dragado de ríos, obras de proyección en ríos, obras de drenaje menor, señalización vertical y horizontal, muros de retención y actividades afines.¹

¹ COVIAL. *Conoce las actividades de mantenimiento que realiza COVIAL.* <http://www.covial.gob.gt/conoce-las-actividades-de-mantenimiento-que-realiza-covial/>. Consulta: 22 de febrero de 2021.

En Guatemala el mantenimiento preventivo de carreteras se encuentra a cargo de la Unidad Ejecutora de Conservación Vial (COVIAL), esta a través de las Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes, define los procesos que se deben llevar a cabo para realizar este tipo de mantenimientos.

Figura 1. **Efectividad del mantenimiento preventivo de carreteras**



Fuente: DIAZ ALARCÓN, Rodrigo. *Diseño de mezcla de micropavimentos para el mantenimiento de la ruta Santa Rosa Tres (RD-SRO-03), Tramo Casillas-Desvío a San Rafael las Flores.* p. 11.

Para un mantenimiento preventivo correcto, es recomendable realizar mantenimientos periódicos, los cuales consisten en actividades realizadas cada año. La Unidad Ejecutora de Conservación Vial (COVIAL), realiza los siguientes tipos de mantenimiento preventivos para carreteras.

- Mantenimiento Periódico: este mantenimiento abarca las obras de conservación vial que se realizan en periodos programados, cada año, para prolongar la vida útil de la carretera.
- Mantenimiento Rutinario: comprende la realización de actividades necesarias para conservar la vía en buen estado. Estas se repiten varias veces al año, incluye la señalización.

El mantenimiento de carreteras debe realizarse con un mínimo de costos e interrupciones de tráfico.

1.2.2. Mantenimiento correctivo de pavimentos flexibles

Es aquel que corrige los defectos observados en los equipamientos o instalaciones, es la forma básica de mantenimiento y consiste en localizar averías o defectos y corregirlos o repararlos, este mantenimiento que se realiza luego que ocurra una falla que por su naturaleza no pueden planificarse en el tiempo, presenta costos por reparación o no presupuestado.²

En este tipo de mantenimiento se pretende corregir los defectos observados en los equipamientos e instalaciones. Representa costos por reparación no presupuestados. Algunos de los métodos de mantenimiento correctivo actuales son:

- Bacheos
- Sellos de Grietas
- Limpiezas
- Señalización
- Sellos de pavimentos

² ESCOBAR, Emerson. *Metodología para mantenimiento de carreteras pavimentadas y caminos rurales para la prevención de riesgos y seguridad vial en la república de Guatemala*. p. 2.

- Recarpeteos
- Reconstrucciones

1.2.3. Mantenimiento de emergencia de pavimentos flexibles

Este tipo de mantenimiento corresponde a la ejecución de actividades realizadas de forma urgente, como consecuencia de sucesos de fuerza mayor, entre estos se pueden mencionar los daños provocados por desastres naturales. Tiene como objetivo rehabilitar de forma inmediata la vía para que se permita la libre transitabilidad. Estos son mantenimientos que no se encuentran presupuestados.

1.3. Métodos de mantenimiento y corrección de pavimentos flexibles

La Unidad Ejecutora de conservación Vial (COVIAL), en las Especificaciones Técnicas 2017, describe algunos métodos para el mantenimiento y recuperación de la red vial pavimentada, entre estos se pueden mencionar los siguientes.

1.3.1. Sello de fisuras y grietas

Es una actividad de mantenimiento preventivo y se debe realizar cuando las mismas se presenten sobre la superficie pavimentada. Las fisuras pueden aparecer de forma longitudinal o transversal. Para esto se utilizará un asfalto líquido modificado con polímeros, para un mejor comportamiento ante las cargas vehiculares. Se utiliza con el objetivo de impermeabilizar las capas que forman la estructura del pavimento, evitando la falla tipo piel de cocodrilo, y luego la formación de baches.

El sello de fisuras no debe realizarse cuando la patología del pavimento presente grietas de carácter poliédrico, semejante a la piel de cocodrilo, porque es producto de la fatigación del pavimento por sobrecarga.

Figura 2. **Configuración de sello de grietas**



Fuente: Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA). *Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial*. p. 105.

1.3.2. **Bacheo**

Bacheo es una reparación menor y localizada del pavimento bituminoso con el propósito de garantizar la uniformidad de la superficie de rodadura y reparar los daños que se presentan en algunos puntos de la carretera, que ponen en riesgo tanto la integridad de los usuarios, los vehículos, como de la estructura en general.³

Estas áreas deben prepararse para devolver la sustentación estructural original de la carretera y proporcionar confort y seguridad. Para el bacheo debe sustituirse todo el material inadecuado para tratar el área afectada. Luego este debe ser llenado por una mezcla asfáltica en frío que debe cumplir con las especificaciones de la sección 406,06 de las Especificaciones Técnicas y de las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes. El bacheo es un proceso mediante el cual las áreas afectadas son excavadas de

³ Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME). *Guía para inspectores: Bacheo formal con mezcla asfáltica en caliente*. p. 7.

forma rectangular para luego ser rellenas de material de la misma calidad que la carpeta de rodadura.

Las técnicas de bacheo se pueden catalogar como acciones de mantenimiento rutinario, esto debido a que el bacheo previene y soluciona problemas que se presentan en una carretera debido a su uso. Esta técnica es la más conocida por las agencias encargadas del mantenimiento de carreteras. El bacheo es efectivo contra problemas como agrietaduras, abrasión superficial y para sustitución de cualquiera de las capas que compongan la estructura de pavimento. El bacheo se cataloga en bacheo superficial y bacheo profundo.

Figura 3. **Área de carretera a bachear**



Fuente: FONSECA, José. *Análisis técnico-económico de las actividades de bacheo para la conservación vial en Costa Rica*. p. 74.

1.3.3. Carpeta asfáltica (recapeo)

Consiste en la colocación de una mezcla asfáltica en caliente, con un espesor mínimo de 5 centímetros sobre una carpeta de rodadura existente. Esto permite reforzar estructuralmente el pavimento cuando no existen severos daños en la estructura de este. La sobrecarpeta debe colocarse sobre pavimentos estructuralmente sólidos. Esto se debe a que ofrecen pocas mejoras estructurales, pero permiten la funcionalidad de la carretera. Los recapeos se utilizan en los siguientes casos.

- Desintegraciones
- Oxidación del pavimento
- Agrietamientos menores
- Irregularidades superficiales
- Problemas de ahuellamientos
- Pavimentos permeables

Figura 4. **Trabajos de recapeo por parte de COVIAL**



Fuente: COVIAL. *Conoce en qué consisten los trabajos de recapeo.*

<http://www.covial.gob.gt/conoce-en-que-consisten-los-trabajos-de-recapeo/>. Consulta: 10 de junio de 2020.

1.3.4. Tratamientos superficiales

Los tratamientos superficiales son una alternativa para preservar el estado de una carretera y mejorar las características de estas. Estos consisten en el suministro y aplicación de material asfáltico sobre la superficie preparada del tramo de carretera y el suministro, riego y aplanado del material graduado que se colocará sobre el material asfáltico en diferentes capas.

Los tratamientos superficiales se definen como una aplicación uniforme de un ligante asfáltico, usualmente emulsión asfáltica, cubierta por una capa uniforme de agregados de igual tamaño. Estos pueden realizarse sobre pavimentos flexibles o sobre bases granulares.

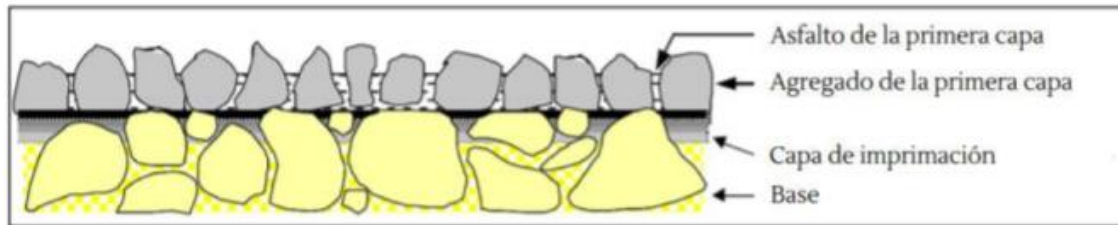
A continuación, se muestran algunos de los beneficios de la colocación de pavimentos flexibles.

- Aumento del coeficiente de fricción de la carretera.
- Impermeabilización de la estructura de pavimento, lo que protege las capas subyacentes.
- Permite disponer de una superficie uniforme.

1.3.4.1. Tratamiento superficial simple (TS-1)

El tratamiento superficial simple consiste en la aplicación uniforme de ligante asfáltico (emulsión), sobre un pavimento o base granular, seguida de una capa de agregado de tamaño uniforme. Este tratamiento se utiliza para reducir las pérdidas de material por escorrentía, además de impermeabilizar la superficie del pavimento.

Figura 5. **Tratamiento superficial sobre base granular**

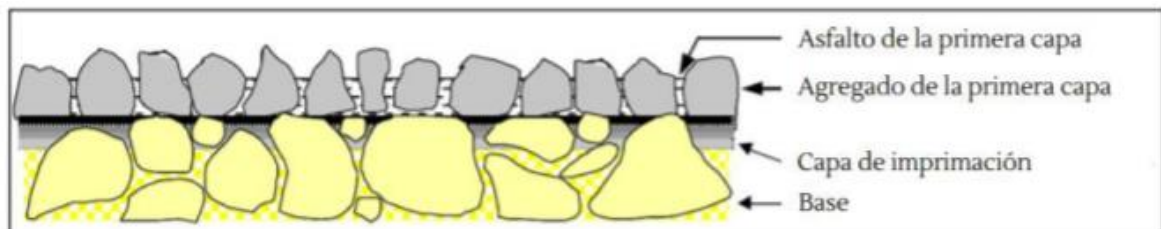


Fuente: LANAMME, *Tratamientos superficiales como alternativa en rutas de lastre*.
<https://repositoriosidca.csuca.org/Record/RepoTEC6103>. Consulta: 16 de agosto de 2020.

1.3.4.2. **Tratamiento superficial múltiple**

Son una sobreposición de tratamientos superficiales simples, las capas se construyen como si fuera un tratamiento superficial simple. En un tratamiento superficial múltiple, los agregados de cada capa, se procura que sean de la mitad de tamaño de la capa anterior. Estos también se utilizan sobre bases granulares y superficies donde ya existe un pavimento. Estos se utilizan en lugares donde las condiciones climáticas son adversas.

Figura 6. **Tratamiento superficial múltiple**



Fuente: LANAMME, *Tratamientos superficiales como alternativa en rutas de lastre*.
<https://repositoriosidca.csuca.org/Record/RepoTEC6103>. Consulta: 16 de agosto de 2020.

2. GENERALIDADES DEL BANCO DE MATERIALES

2.1. Descripción del banco de materiales

Se describen los bancos de materiales, según el tiempo de agregado que se obtuvo.

2.1.1. Banco de materiales No.1

El banco de materiales No.1, corresponde al agregado de origen artificial, y es obtenido a partir de la trituración de piedra para reducirla a menor tamaño. El agregado obtenido es de 0" a 3/8".

2.1.2. Banco de materiales No.2

El banco de materiales No.2 corresponde al agregado de origen natural, y es obtenido mediante su extracción directa del lugar donde se encuentra.

2.2. Localización del banco de materiales

A continuación, se describe la localización de cada uno de los bancos de materiales, con sus direcciones exactas.

2.2.1. Banco de materiales No.1

El banco de materiales No.1, se encuentra ubicado en Km. 32,5 Autopista al Pacífico CA-9 SUR, Finca Rancho Grande, Amatitlán, Guatemala. La planta se denomina Planta Palín Este (PPE).

Figura 7. **Planta Palín Este**



Fuente: Google maps *Ubicación banco de materiales Planta Palín Este.*

[https://earth.google.com/web/search/Agreca+PPE/@14.4452472,-](https://earth.google.com/web/search/Agreca+PPE/@14.4452472,-90.6443258,1182.33459613a,1019.26365391d,35y,0h,45t,0r/data=CnUaSxJFCiUweDg1ODkwNjRjMWE4NmIzY2I6MHhkOTdhZGExMTFiMjcwYzgzGWIF5XD34yxAIQS-R6I8qVbAKgpBZ3JIY2EgUFBFGAlgASImCiQJ6ihAaUueLUAR_AbLbE2NLUAZjILmx4JfVsAhNKuaP4NkVsAoAg)

[90.6443258,1182.33459613a,1019.26365391d,35y,0h,45t,0r/data=CnUaSxJFCiUweDg1ODkw](https://earth.google.com/web/search/Agreca+PPE/@14.4452472,-90.6443258,1182.33459613a,1019.26365391d,35y,0h,45t,0r/data=CnUaSxJFCiUweDg1ODkwNjRjMWE4NmIzY2I6MHhkOTdhZGExMTFiMjcwYzgzGWIF5XD34yxAIQS-R6I8qVbAKgpBZ3JIY2EgUFBFGAlgASImCiQJ6ihAaUueLUAR_AbLbE2NLUAZjILmx4JfVsAhNKuaP4NkVsAoAg)

[NjRjMWE4NmIzY2I6MHhkOTdhZGExMTFiMjcwYzgzGWIF5XD34yxAIQS-](https://earth.google.com/web/search/Agreca+PPE/@14.4452472,-90.6443258,1182.33459613a,1019.26365391d,35y,0h,45t,0r/data=CnUaSxJFCiUweDg1ODkwNjRjMWE4NmIzY2I6MHhkOTdhZGExMTFiMjcwYzgzGWIF5XD34yxAIQS-R6I8qVbAKgpBZ3JIY2EgUFBFGAlgASImCiQJ6ihAaUueLUAR_AbLbE2NLUAZjILmx4JfVsAhNKuaP4NkVsAoAg)

[R6I8qVbAKgpBZ3JIY2EgUFBFGAlgASImCiQJ6ihAaUueLUAR_AbLbE2NLUAZjILmx4JfVsAhN](https://earth.google.com/web/search/Agreca+PPE/@14.4452472,-90.6443258,1182.33459613a,1019.26365391d,35y,0h,45t,0r/data=CnUaSxJFCiUweDg1ODkwNjRjMWE4NmIzY2I6MHhkOTdhZGExMTFiMjcwYzgzGWIF5XD34yxAIQS-R6I8qVbAKgpBZ3JIY2EgUFBFGAlgASImCiQJ6ihAaUueLUAR_AbLbE2NLUAZjILmx4JfVsAhNKuaP4NkVsAoAg)

[KuaP4NkVsAoAg](https://earth.google.com/web/search/Agreca+PPE/@14.4452472,-90.6443258,1182.33459613a,1019.26365391d,35y,0h,45t,0r/data=CnUaSxJFCiUweDg1ODkwNjRjMWE4NmIzY2I6MHhkOTdhZGExMTFiMjcwYzgzGWIF5XD34yxAIQS-R6I8qVbAKgpBZ3JIY2EgUFBFGAlgASImCiQJ6ihAaUueLUAR_AbLbE2NLUAZjILmx4JfVsAhNKuaP4NkVsAoAg). Consulta: 10 de octubre de 2021.

2.2.2. Banco de materiales No.2

El banco de materiales No.2, se encuentra ubicado en el río San José, Chiquimula, en este la extracción es de manera artesanal.

Figura 8. Río San José Chiquimula



Fuente: Google maps *Ubicación banco de materiales río San José, Chiquimula.*

<https://earth.google.com/web/search/Puente+Rio+San+Jose,+CA-10,+Chiquimula/@14.7829169,->

89.5358356,355.90685478a,1017.51646833d,35y,0h,45t,0r/data=CpABGmYSYAokMHg4ZjYyMzA5MTYzNDBjMGNmOjB4MThkMmY4MjM0YjA5MDVkJGa744XvakC1AIRWCZiFLYIbAKiZQdWVudGUgUmlvIFNhb3N1LCBDQS0xMCwgQ2hpcXVpbXVsYRgCIAEiJgokCTjnVFyN9ixAECZro1f-4CxAGTf2LgqqqFbAlZpYUvueq1bAKAI. Consulta: 10 de octubre de 2021.

3. GENERALIDADES DE LOS MORTEROS ASFÁTICOS

3.1. Definición de morteros asfálticos

Tahuite en el 2003, en su trabajo de graduación titulado: *Metodología, diseño y aplicación de un mortero asfáltico modificado (microsurfacing)*, para el proyecto M-30-2009, define a un mortero asfáltico como una combinación de aglomerante, un cemento asfáltico, se combina con un aglomerado, que son los agregados. Los morteros asfálticos se colocan normalmente sobre una base impregnada. Según el Instituto Mexicano del Transporte, las carpetas de mortero asfáltico no tienen función estructural y se construyen para brindar a los usuarios, una superficie de rodamiento uniforme, bien drenada, resistente al derrapamiento, cómoda y segura.

3.2. Tipos de morteros asfálticos

Existen distintos tipos de morteros asfálticos, y se utilizan de acuerdo a las propiedades que se deseen obtener de la carpeta de rodadura.

3.2.1. *Slurry Seal* (lechada asfáltica)

LANAMME en su *Guía de diseño de mezcla de laboratorio para los sellos de lechada asfáltica (Slurry Seal)*, define que un *slurry seal* es una mezcla de agregado graduado, emulsión y relleno mineral. Es un proceso de sello generalmente utilizado en pistas, calles y carreteras, para extender su vida útil. El *slurry seal* es aplicada como un tratamiento de superficie de poco espesor, como una máquina especialmente diseñada. Puede ser aplicada sobre un

pavimento, como un tratamiento de sellado con el fin de impermeabilizarla; proporcionando resistencia, antideslizamiento y adherencia firme sobre la superficie. Esta técnica se utiliza en superficies de ruedo donde no se tiene un deterioro avanzado.

El uso adecuado de los *slurry seal*, permite brindar soluciones para sellar los pavimentos que presentan un estado de oxidación muy avanzado. Otro uso que se le da tiene que ver con la impermeabilización de las capas de rodadura y la corrección de los desprendimientos de partículas (*Raveling*).

3.2.2. *Microsurfacing* (micropavimentación)

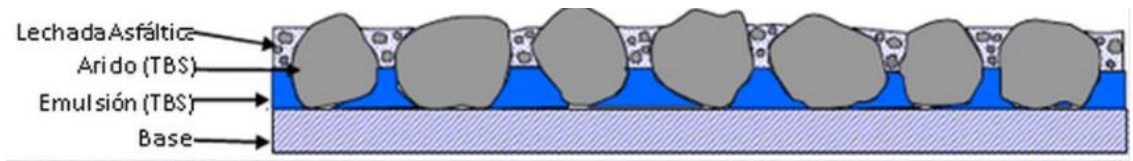
La micro pavimentación consiste en una mezcla de asfalto emulsionado modificado con polímeros, agregado mineral, agua y aditivos, proporcionados, mezclados y esparcidos de manera uniforme sobre una superficie preparada adecuadamente⁴. La micro pavimentación debe funcionar en secciones de diferentes espesores, como baches capas niveladoras y superficies fresadas. Después del curado y la consolidación inicial del tránsito, debe resistir una mayor compactación. La micro pavimentación se aplicará como una capa homogénea, se adherirá firmemente a la superficie preparada y presentará una textura resistente a los deslizamientos durante su vida útil. ⁴

3.2.3. *Cape Seal* (sello de capa)

Es un tratamiento superficial múltiple. Consiste en una primera aplicación de un tratamiento bituminoso superficial tipo simple (TBS), seguido de una lechada asfáltica (*slurry seal*). Su excelente comportamiento en rutas con tránsito elevado de hasta 20,000 vehículos livianos equivalentes por día, además de regiones con topografías y climas exigentes.

⁴ International Slurry Surfacing Association (ISSA). *Norma de rendimiento recomendada para micropavimentación*. p. 2.

Figura 9. Estructura de un *cape seal*



Fuente: Revista Vial, "CAPE SEAL". *Innovación en tratamientos bituminosos superficiales*.
<http://revistavial.com/cape-seal-innovacion-en-tratamientos-bituminosos-superficiales/>. Consulta:
13 de octubre de 2021.

3.3. Micropavimentos (*microsurfacing*)

Un micropavimento es un sistema de recuperación de carreteras, en este deben aplicarse ciertas normas, establecidas en la norma ISSA A143, y describe los componentes mínimos necesarios para su desempeño óptimo.

3.3.1. Componentes de un micropavimento

Los micropavimentos están compuestos de emulsión asfáltica, agregado mineral, un *filler*, y agua, estos posteriormente son mezclados, proporcionados y aplicados en una superficie preparada. Estos componentes se describen a continuación.

3.3.1.1. Emulsión asfáltica

Una emulsión asfáltica consiste en una fina dispersión de partículas de asfalto en agua. Las pequeñas gotas de asfalto se mantienen uniformemente que al rodear la gota proporciona la repulsión necesaria para conservar la estabilidad del sistema hasta su uso.⁵

⁵ BRACHO, Luis. *Emulsiones asfálticas*. p. 1.

3.3.1.1.1. Propiedades de las emulsiones

Una emulsión asfáltica posee dos tipos de propiedades; las intrínsecas, es decir, aquellas propiedades internas naturales de la emulsión y las extrínsecas, aquellas que condicionan su comportamiento de acuerdo con el uso que se le proporcione a la misma. Entre las propiedades intrínsecas pueden mencionarse las siguientes.

- **Viscosidad:** la viscosidad se entiende con la resistencia que desarrolla un líquido al oponerse al movimiento de las partículas que lo conforman. Cuando la emulsión es de baja viscosidad, se utiliza para hacer riegos de imprimación y en gran parte para estabilizaciones de suelo, mientras que si es de alta viscosidad es utilizado en tratamientos superficiales y en mezclas abiertas, donde se debe garantizar que el material o agregado mineral sea provisto de una película de ligante suficientemente alta en superficie.
- **Adhesividad:** la adhesividad de una emulsión asfáltica frente a un agregado está ligado a una serie de factores directamente involucrados con la naturaleza y características del agregado y de la emulsión utilizada.
- **Cohesividad:** es la fuerza aglutinante de la mezcla, utilizada para la pavimentación. Esta cohesividad aumenta, conforme la emulsión va perdiendo agua.

Entre las propiedades extrínsecas se pueden mencionar las siguientes.

- Estabilidad en el almacenamiento: la emulsión asfáltica debe conservar sus características de formulación. Por lo que se pretende que las propiedades se mantengan estables, sin importar el tipo de emulsión.
- Estabilidad de la emulsión ante los agregados: esta propiedad está relacionada con la forma de rotura al entrar en contacto con el material pétreo con el que se mezcla. Las emulsiones más estables son las de rotura lenta, porque se mezclan con un *filler* sin romper.

3.3.1.1.2. Clasificación de las emulsiones

- Según su carga eléctrica

Se clasifican debido a la carga eléctrica que éste les aporta a las partículas de asfalto en tres categorías: aniónicas, catiónicas y no iónicas.

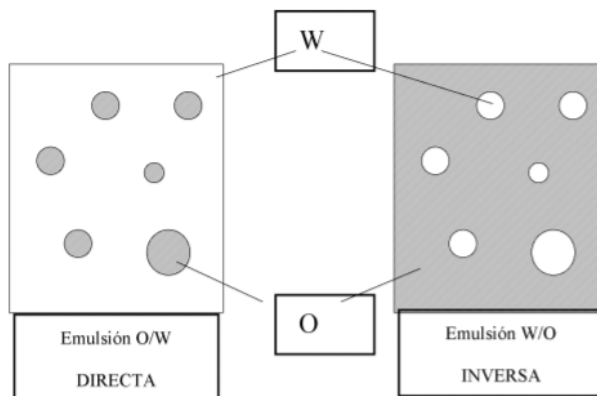
- Catiónicas: se produce cuando el glóbulo de asfalto por la presencia del emulsificante en su superficie adquiere carga positiva, es decir, que los iones que recubren los glóbulos son cationes (+) resultantes de la ionización de las moléculas del emulsificante.
- Aniónicas: es una emulsión, en la que la carga eléctrica del glóbulo de asfalto es negativa.
- No iónicas: son aquellas que no poseen carga alguna, son exactamente neutrales y no emigran a polo alguno.

- Según su forma de dispersión

Una emulsión es la dispersión de un líquido en forma de glóbulos dentro de otro que no es miscible con el primero, al conjunto de estos microscópicos glóbulos se denomina fase discontinua o dispersada, y al medio, fase continua o dispersante. Existen dos tipos de emulsiones.

- Emulsión directa
- Emulsión inversa

Figura 10. **Clasificación de las emulsiones según su dispersión**



Fuente: BRACHO, Carlos. *Emulsiones asfálticas*. <https://vdocuments.mx/13-emulsiones-asfalticas.html>. Consulta: 13 de octubre de 2021.

- Según su velocidad de rotura

Una de las clasificaciones asfálticas se basa en la velocidad con que las gotas de asfalto coleasen (se juntan restaurando el volumen de cemento asfáltico), relacionada íntimamente con la rapidez con que la emulsión se vuelva

inestable. Es importante mencionar que la rotura de una emulsión es un factor decisivo para definir la emulsión que se usará en la obra según el tipo de tratamiento. Las emulsiones se clasifican en las siguientes.

- Emulsión asfáltica de rotura rápida (RC):

Estas rompen muy rápidamente, es decir, se rompen en muy corto tiempo (usualmente algunos minutos) por lo cual se utilizan en trabajos de riego y tratamientos con agregados pétreos limpios. Tienen escasa o nula habilidad para mezclarse con un agregado y mucho menos para mezclar con agregados que contengan finos.⁶

- Emulsión asfáltica de rotura media y rotura lenta:

Con estas es posible efectuar una amplia gama de mezclas en frío según el tipo de granulometría del agregado, características de la maquinaria disponible y condiciones climáticas. Las mezclas de rotura media mezclan mejor con agregados gruesos, mientras que las lentas con finos.⁷

- Otras clasificaciones

Las emulsiones se subdividen adicionalmente según una serie de números relacionados con la viscosidad y la dureza del asfalto base utilizado en su formulación. La letra “h” significa que la base asfáltica es más consistente y la letra “s” significa que la base es más blanda.

⁶ BRACHO, Luis. *Emulsiones asfálticas*. p. 10.

⁷ *Ibíd.* p. 10.

Tabla I. **Clasificación de las emulsiones asfálticas**

Emulsiones asfálticas Aniónicas (ASTM D997, AASHTO M140)	Emulsiones Asfálticas Catiónicas (ASTM D2397, AASHTO M208)
RS-1	CRS-1 (CRR-1)
RS-2	CRS-2
HFRS-2	-
MS-1 (RM-1)	-
MS-2	CMS-2 (CRM-2)
MS-2h	-
HFMS-1	-
HFMS-2	-
HFMS-2h	-
HFMS-2s	-
SS-1(RL-1)	CSS-1 (CRL-1)
SS-1h	CSS-1h

Fuente: BRACHO, Carlos. *Emulsiones asfálticas*. <https://vdocuments.mx/13-emulsiones-asfalticas.html>. Consulta: 13 de octubre de 2021.

3.3.1.2. Emulsiones para micropavimentos

Para un micropavimento, las emulsiones CSS-1h (CLR), son las más usadas. Son empelados para poner en evidencia las características de rotura de la mezcla. Previo a su aplicación, debe realizarse en laboratorio una mezcla de diseño de micro-aglomerado. La correcta mezcla de materiales debe producir una mezcla semi-fluida de material totalmente recubierto sin escurrimiento de la emulsión. La emulsión de asfalto modificada debe ser formulada para que la mezcla de pavimento pueda curar y ser abierta al tránsito de forma pronta.

3.3.1.3. Agregado pétreo

Un agregado se define como materiales pétreos resultantes de la desintegración natural de las rocas, o que pasan por un proceso de trituración de rocas de mayor tamaño y suficientemente duras.

Los agregados constituyen cerca del 90 al 95 % del peso de una mezcla asfáltica y algo más del 75 % del volumen de esta. Contribuyen a la estabilidad mecánica, soportan la carga de tráfico y al mismo tiempo transmiten la carga a la subbase a una unidad de presión considerable reducida⁸.

La norma de rendimiento recomendada para micropavimentación de *International Slurry Surfacing Association (ISSA)*, establece algunos parámetros respecto a los agregados pétreos que se debe utilizar para utilizarse en un micropavimento. El agregado mineral será del tipo especificado para los requisitos de aplicación particulares de la micro pavimentación. El agregado será de piedra molida como: el granito, escoria, caliza, sílex u otro agregado de alta calidad.

Los agregados usados en los pavimentos asfálticos se clasifican, generalmente, de acuerdo con su origen. Esto incluye, agregados naturales, procesados y sintéticos o artificiales.

3.3.1.3.1. Agregados naturales

Estos agregados también son conocidos como agregados de canto rodado. Estos provienen generalmente de ríos, y sus partículas son de forma

⁸ ORELLANA, Mauricio., PEÑA, Edgar. y PÉREZ, Blanca. *Propuesta de diseño y proceso constructivo de lechada asfáltica en el mantenimiento de obras viales en el Salvador*. <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/3196/1/PROPUESTA%20DE%20DISE%C3%91O%20Y%20PROCESO%20CONSTRUCTIVO%20DE%20LECHADA%20ASFALTICA%20EN%20EL%20MANTENIMIENTO%20DE%20OBRAS%20VIALES%20EN%20EL%20SALVADOR.pdf>. Consulta: 13 de junio de 2021.

redondeada. Las gravas y las arenas de río son de este tipo. Este agregado genera productos como el concreto, de buena calidad, por la composición mineralógica de las mismas.

3.3.1.3.2. Agregados triturados

Estos agregados son producidos artificialmente. Proviene generalmente de la trituración de piedra de cantera. Este agregado se utiliza cuando no es posible emplear otros tipos de agregados. Este material es de cantos angulosos y su costo de explotación es mayor que el agregado de origen natural.

3.3.1.4. Relleno mineral

El relleno mineral, puede ser cemento Portland o cal hidratada que esté libre de grumos. Este puede ser aceptado mediante una inspección visual. El tipo y calidad de relleno mineral necesarios deberá ser determinado por el diseño de mezcla de laboratorio y serán considerados como parte de la graduación del agregado. El relleno mineral ayuda a iniciar la reacción entre el agregado y la emulsión, actúa como un agente tixotrópico donde ayuda a la prevención de la segregación de los agregados, también ayuda a los agregados proporcionándoles uniformidad a los materiales graduados.⁹

El relleno mineral puede utilizarse para mejorar la consistencia de la mezcla, mejorar las propiedades de fractura y de curado de la mezcla. La cal hidratada o el cemento Portland deben cumplir con los requisitos de la norma ASTM D 242.

⁹ ALVARADO, Jonathan; CHIPAGUA, Luis; MEJÍA, Víctor. *Propuesta de aplicación de lechadas asfálticas modificadas (microsurfacing) como técnica de mantenimiento periódico en vías de alto impacto*. [http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/4488/1/Propuesta%20de%20aplicaci%C3%B3n%20de%20lechadas%20asf%C3%A1lticas%20modificadas\(Microsurfacing\)%20como%20t%C3%A9cnica%20de%20mantenimiento%20peri%C3%B3dico%20en%20v%C3%ADas%20de%20alto%20tr%C3%A1fico.pdf](http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/4488/1/Propuesta%20de%20aplicaci%C3%B3n%20de%20lechadas%20asf%C3%A1lticas%20modificadas(Microsurfacing)%20como%20t%C3%A9cnica%20de%20mantenimiento%20peri%C3%B3dico%20en%20v%C3%ADas%20de%20alto%20tr%C3%A1fico.pdf). Consulta: 10 de junio de 2021.

El objetivo principal del *filler*, es evitar la segregación, corrigiendo la curva granulométrica, lo cual produce una mezcla de mayor consistencia y menos propensa al fenómeno en mención. El agregado mineral también ayuda a acelerar el rompimiento de la emulsión asfáltica. Existen otros aditivos que se pueden utilizar, algunos de estos ejemplos son el sulfato de aluminio, cloruro de aluminio y bórax.

3.3.1.4.1. Cemento Portland

Los cementos tipo portland son cementos hidráulicos, compuestos por silicatos de calcio. El cemento hidráulico fragua por la reacción química entre el agua y el cemento. Durante la hidratación, el cemento y el agua se combinan para formar una masa similar a una piedra.

Figura 11. **Cemento tipo Portland**



Fuente: PCA. *Diseño y control de mezclas de concreto*. p. 25.

3.3.1.4.2. Cal hidratada

La cal es el producto derivado de la calcinación de las piedras calizas (CaCO_3). La cal recibe su nombre como referencia al óxido de calcio. La cal tiene diversos usos, principalmente en la construcción, y mediante la unión con agua se utiliza para la fabricación de morteros, pavimentos, concretos, entre otros.

Figura 12. Cal hidratada



Fuente: CAL NORESTE. *¿Sabes qué es la cal hidratada y sus usos?*
<https://www.calnoreste.com/sabes-que-es-la-cal-hidratada-y-sus-usos/>. Consulta: 17 de octubre de 2021.

3.3.1.5. Agua

El agua debe estar libre de sales perjudiciales y contaminantes. Esta debe ser entregada con su respectivo estudio de calidad.

3.4. Usos generales de los micropavimentos

Los usos más comunes de los micropavimentos son los siguientes:

- Mantenimiento preventivo o correctivo, con espesores desde 6 – 15 mm
- Sello de grietas superficiales
- Sellado y recuperado de ahuellamientos
- Corrección de desprendimientos/pérdida de fricción superficial
- Microcapas de nivelación
- Capas intermedias
- Reparación y bacheos de poca profundidad

3.4.1. Ventajas del uso de micropavimentos

Comparado con respecto a un mortero asfáltico convencional, el micro pavimento (*microsurfacing*), ofrece las siguientes ventajas:

- Detienen la desintegración y dotan de propiedades antiderrapantes.
- Los micropavimentos presentan propiedades impermeabilizantes.
- Incrementa la durabilidad del pavimento en zonas de altura, debido a la utilización de polímeros.
- Es de rápida apertura al tránsito, generalmente es de una hora, sin necesidad de compactación.
- Permite rellenar el ahuellamiento, seguido de una capa. Esto permite un adecuado drenaje del agua, reduciendo posibilidades de hidroplaneo.
- Son mecanismos amigables con el ambiente debido a su aplicación en frío.

“En el ámbito económico, el micro pavimento tiene ventajas, principalmente porque existe una mejora sustancial en la adherencia, evitando la aplicación de un riego de liga. Esto permite aprovechar las condiciones de diseño y aplicar capas de menor espesor.”¹⁰

3.4.2. Tipos de micropavimentos según su granulometría

Los micropavimentos se clasifican, según la norma ISSA A 143, en dos tipos de micropavimentos, según la gradación que se necesite hacer. Estos son el tipo II y el tipo III.

Tabla II. Usos de un micropavimento según su granulometría

Tipo de agregado	Localización	Tasa de aplicación sugerida
Tipo II	Calles urbanas y residenciales; pistas de aeropuertos	5,4 – 10,8 kg/m ²
Tipo III	Rutas primarias e interestatales	8,1 – 16,3 kg/m ²

Fuente: VARGAS-GUTIERREZ, Alejandro. *Experiencia de diseño de micropavimentos en el salvador*. p. 29.

¹⁰ VARGAS-GUTIÉRREZ, Alejandro. *Experiencia de diseño de micropavimentos en El Salvador*. p. 24.

3.4.2.1. Micropavimento tipo II

Esta graduación de agregado es utilizada para rellenar huecos de la superficie, repara problemas del pavimento, sellar y brindar una superficie durable.

Tabla III. Granulometría para micropavimento tipo II

Tamiz	Tipo II porcentaje que pasa	Reserva tolerancia
1/2"	100	± 5 %
3/8" (9,5 mm)	100	± 5 %
No.4 (4,75 mm)	90 - 100	± 5 %
No.8 (2,36 mm)	65 - 90	± 5 %
No.16 (1,18 mm)	45 - 70	± 5 %
No.30 (600 um)	30 - 50	± 5 %
No.50 (330 um)	18 - 30	± 5 %
No.100 (150 um)	10 - 21	± 5 %
No.200 (75 um)	5 - 15	± 5 %

Fuente: ISSA. Norma de rendimiento recomendada para micro pavimentación. p. 4.

3.4.2.2. Micropavimento tipo III

Esta graduación de agregado brinda máxima resistencia ante el deslizamiento y una superficie de menor desgaste. Es apropiado para pavimentos de alto tránsito, relleno de baches o para ser colocado en superficies donde se requiere una textura mayor.

Tabla IV. **Granulometría para micropavimento tipo III**

Tamiz	Tipo III - porcentaje que pasa	Reserva tolerancia
1/2"	100	± 5 %
3/8" (9,5 mm)	100	± 5 %
No.4 (4,75 mm)	70 - 90	± 5 %
No.8 (2,36 mm)	45 - 70	± 5 %
No.16 (1,18 mm)	28 - 50	± 5 %
No.30 (600 um)	19 - 34	± 5 %
No.50 (330 um)	12 - 25	± 5 %
No.100 (150 um)	7 - 18	± 5 %
No.200 (75 um)	5 - 15	± 5 %

Fuente: ISSA. *Norma de rendimiento recomendada para micro pavimentación*. p. 4.

3.4.3. Normas aplicables al diseño de micropavimentos

Para el diseño de micropavimentos, las emulsiones asfálticas modificadas de rotura rápida, según la norma ISSA A-143.

La norma recomendada por la *International Slurry Surfacing Association (ISSA)* establece en la norma A-143, que antes de comenzar un trabajo, el contratista o constructor debe presentar un diseño de mezcla que cumpla con las normas recomendadas, tanto de calidad de los materiales, como de ensayos sobre la mezcla que será utilizada.

A continuación, se presentan los ensayos más importantes correspondientes a la calidad de los materiales a utilizar en la mezcla.

La norma ISSA A-143, establece en el apartado No.3, que, no se requiere especificar todos los ensayos. Estos dependen de cada tipo de proyectos que se

pretenda realizar. Un sistema de micropavimentos no será descartado si no logra cumplir los requisitos de un ensayo particular. Las pruebas se encuentran en los Boletines Técnicos (*Thecnicall Bulletins*).

La norma establece algunos parámetros que deberán cumplir todos los componentes del micropavimento, como, la emulsión, el agregado, relleno mineral, agua o aditivos.

Tabla V. **Resumen de ensayos de calidad para materiales de micropavimentos**

Ensayos de calidad en micropavimentos			
Ensayo		método de ensayo	
Ensayos en agregados	Equivalente de arena, suelos y agregados finos	T 176	D 2419
	Solidez de agregados por medio sulfato de sodio o sulfato de magnesio	T 104	C 88
Asfalto emulsionado	Estabilidad de asentamiento y almacenamiento del asfalto emulsionado	T 59	D 6930
	Destilación de asfalto emulsionado	T 59	D 6997
	Punto de ablandamiento de materiales bituminosos	T 53	D 36
	Penetración de materiales bituminosos a 77°F	T 49	D 5

Fuente: ISSA. *Norma de rendimiento recomendada para micro pavimentación*. p. 3.

La norma *ISSA A-143*, también establece una serie de normas al diseño de mezcla para comprobar que la misma cumple con los requisitos mínimos para su aplicación. Los ensayos evaluarán la compatibilidad del agregado, del asfalto emulsionado, el agua, relleno mineral y agregados. A continuación, se detallan los ensayos y valores recomendados.

Tabla VI. **Resumen de ensayos del diseño de mezcla del micropavimento**

Ensayo	ISSA TB No.	Especificación
Tiempo de mezcla a 77°F (25°C)	TB 113	Controlable hasta 120 segundos mínimo
Cohesión húmeda: a 30 minutos mínimo (fraguado) a 60 minutos mínimo (tránsito)	TB 139	12 kg-cm mínimo 20 kg-cm
Decapado húmedo	TB 114	Paso (90 % mínimo)
Pérdida por abrasión húmeda: Remojo de una hora Remojo de seis días	TB 100	50g/ft ² (538 g/m ²) máximo 75 g/ft ² (807 g/m ²) máximo
Desplazamiento lateral Gravedad específica después de 1,000 ciclos de 125 lb (56,71 kg)	TB 147	5 % máximo 2,10 % máximo
Asfalto excesivo por adhesión de arena LWT	TB 109	50 g/ft ² (538 g/m ²) máximo
Compatibilidad de clasificación	TB 144	Mínimo de 11 grados (AAA, BAA)

Fuente: ISSA. *Norma de rendimiento recomendada para micro pavimentación A143*. p. 7.

Este ensayo mide las cualidades de desgaste de los sistemas de superficies tipo slurry en condiciones de abrasión húmeda. El ensayo de abrasión húmeda se realiza bajo condiciones de laboratorio. El objetivo principal de este ensayo es determinar el contenido mínimo de asfalto necesario en un sistema de micropavimentos, se encuentra basado en el boletín técnico 100 (ISSA TB 100).

4. METODOLOGÍA PARA LA COLOCACIÓN DE MICROPAVIMENTOS

4.1. Equipo para la colocación de micropavimentos

Para la colocación de micropavimentos, se debe contar con equipo especializado para este tipo de trabajos, y deben cumplir con los requerimientos necesarios para desarrollar un micropavimento uniforme y que cumpla con los parámetros mínimos de construcción.

4.1.1. Equipo de mezclado

La máquina para la colocación de micropavimentos es especial para este tipo de trabajos. El material debe ser mezclado con una maquina mezcladora, que será de flujo continuo, capaz de dosificar y entregar el agregado, la emulsión asfáltica, relleno mineral, aditivo y agua, que llega a un mezclador multipala de doble eje para la descarga del producto, mediante un flujo continuo. La máquina debe tener la capacidad de almacenaje para el agregado y demás componentes.

4.1.2. Unidades de dosificación

Estos representan los controles individuales de volumen o peso para dosificar cada material que se agregara a la mezcla, estos deberán ser previstos y marcados apropiadamente.

4.1.3. Equipo esparcidor

Los componentes de micropavimentos deben mezclarse de manera uniforme en la caja, por medio de agitadores de espirales, o paletas colocadas en la caja esparcidora. La caja esparcidora y el nivelador, debe operarse de manera que la mezcla fluya uniformemente, compensando cualquier variación de geometría de pavimento. Se debe tener capacidad de controlar el ancho de la caja, también se debe inspeccionar que los tornillos de los patines primarios y secundarios funcionen adecuadamente para controlar el espesor de mortero asfáltico.

4.1.4. *Strike-off* secundario

Se debe contar con un nivelador secundario, con el objetivo de mejorar la textura de la superficie.

4.2. Proceso de colocación de micropavimento

Para el proceso de colocación de micropavimentos deben evaluarse las condiciones locales, las cuales dependerán de la temperatura, humedad y requerimientos para su construcción.

4.2.1. Inspección y preparación de la superficie

Esta debe ser limpiada de material orgánico como vegetación, basura, aceites u otro material de mayor tamaño que pueda dañar el equipo o arruinar el micropavimento. Todas las tapaderas de registros sanitarios deben cubrirse y protegerse adecuadamente para evitar daños permanentes, además de permitir una nivelación correcta de la superficie. Otro punto importante es la inspección

del estado de la línea del borde, ya que esta puede presentar algún tipo de deformación plástica, por lo que se debe fresar cualquier bulto que se encuentre en la superficie de pavimento.

4.2.2. Riego de material ligante

El uso de material ligante no es necesario si la superficie del pavimento esté completamente seca. Cuando sea necesario, debe aplicarse una parte de emulsión de asfalto, tres partes de agua y debe ser regado con distribuidora.

4.2.3. Aplicación de la mezcla de micropavimento

Algunas veces, dependiendo de las condiciones climáticas del lugar donde se realizarán los trabajos de micropavimentación, es necesario pre-humedecer las superficies con un esparcidor, esta tasa de aplicación deberá ajustarse según la temperatura, textura superficial, humedad o resequedad del micropavimento. Todas las áreas que no sean alcanzadas por la máquina mezcladora y el esparcidor, deberá ser esparcida usando un rodillo manual para proporcionar una cobertura completa y uniforme. Durante la aplicación deben controlarse parámetros como:

- Juntas entre pavimentos nuevo y viejo, tapaderas, aceras, entre otros
- Estabilidad de la mezcla para evitar rompimiento prematuro
- Líneas en los cordones y en los hombros

4.2.4. Limpieza final

Todas las áreas como aceras, canales e intersecciones deberán limpiarse cualquier resto de mezcla de la superficie.

5. DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MICROPAVIMENTOS

5.1. Parámetros para evaluar de los componentes de un micropavimento

Para el diseño de mezcla de micropavimento, la norma ISSA A143, establece algunos métodos de ensayo, para los componentes de los micropavimentos y el diseño de mezcla.

5.1.1. Ensayos sobre emulsión asfáltica

La norma ISSA A143, establece algunos ensayos para la aceptación de la emulsión que se utilizará en el diseño de mezcla de micropavimentos.

5.1.1.1. Residual por destilación o evaporación (AASHTO T59 o ASTM D6934)

Este método de ensayo mide cuantitativamente la cantidad de asfalto contenido en la emulsión, la cual está formada por una base asfáltica, agua y un emulsificante. La norma establece que debe cumplir con las especificaciones establecidas, pero que no se debe tomar con un parámetro de aceptación de la emulsión, si el residuo por evaporación no cumple con la especificación. Debe establecerse por medio de la prueba de destilación.

Para determinar el asfalto residual por evaporación debe utilizarse la siguiente ecuación.

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

Donde;

A = peso Inicial de la muestra antes de ser sometida a temperatura de 163 °C

B = peso final de la muestra, luego de ser sometida a una temperatura de 163 °C

- Equipo a utilizar
 - Alambique de aluminio con medidas de 240 mm de altura y 95 mm de diámetro.
 - Fuentes de calor y un quemador de anillo de aproximadamente 125 mm de diámetro interno.
 - Aparatos de conexión que constan de 125 mm ± de vidrio o metal, un tubo de conexión, el escudo de estaño y un tubo de refrigeración.
 - Un termómetro que cumpla con lo estipulado en E – 1 o cualquier otro instrumento de medición de temperatura.
 - Balanza con una capacidad de 3 500 g.
 - Tapones Cork, o tapones de silicona.
 - Tubo de goma, resistente y de tamaño adecuado para garantizar la junta de vidrio del tubo de conexión y el condensador.
 - Tamiz con marco de 76,2 mm conforme a especificaciones E-11, y con un tamiz de tela metálica de 300 micras.

- Procedimiento
 - Pesar 200 ± de una muestra representativa de la emulsión asfáltica en la tara de aluminio previamente pesada.
 - Ajustar la cubierta utilizando abrazaderas.

- Insertar dispositivo térmico a través de un tapón en un agujero de la tapa.
- Ajustar la temperatura del dispositivo y ajustar a 6 mm con respecto del fondo de la tara, un segundo agujero puede ser utilizado en otro de los agujeros colocándolo aproximadamente a 165 mm respecto al fondo.
- Colocar el anillo alrededor de la hornilla a unos 150 mm del fondo del alambique, aplicar calor, y aplicar calor al tubo de conexión para evitar condensación de agua.
- Mover el anillo del quemador cuando la temperatura en el termómetro 215 °C al fondo del alambique e incrementar la temperatura a 260 °C durante 15 minutos. La destilación se completará en un tiempo de 60 ± minutos.
- Pesarse nuevamente el alambique y sus accesorios.
- Retirar la tapa del alambique, agitar y luego verter porciones de los residuos en recipientes, para realizar las pruebas posteriores.

5.1.1.2. Penetración al asfalto residual (ASTM D-5)

Este se define como la distancia en décimas de milímetro, que una aguja estándar penetra en una muestra de material bituminoso, bajo condiciones de carga, tiempo y temperatura. Para este ensayo es necesario un aparato de penetración, conocido como penetrómetro.

- Equipo a utilizar
 - Penetrómetro, capaz de indicar la profundidad de penetración. El peso del vástago será de 47,5 ± 0,05 g.

- Aguja de penetración, la aguja es de acero inoxidable templado y duro, con forma cónica, con un ángulo entre 8,7 y 9,7 ° con respecto al largo total del cono.
 - Capsulas de metal o vidrio en forma cilíndrica y con fondo plano.
 - Baño de agua con una capacidad mínima de 10 L.
 - Transportador de cápsula con capacidad mínima de 350 ml y profundidad suficiente para cubrir la altura del contenedor de la muestra.
 - Aparato medidor de tiempo.
 - Termómetro de vidrio.
-
- Procedimiento
 - Calentar la muestra, agitando para prevenir sobrecalentamientos locales, hasta que esté lo suficientemente fluida. La temperatura no debe elevarse más allá de 60 °C.
 - Verter la muestra en la capsula a una profundidad en donde después de enfriarse, alcance los 10 mm mayor de la profundidad de la penetración.
 - Proteger la cápsula contra el polvo, cubriéndola con un vaso y dejando enfriar al aire a una temperatura entre 15 y 30 °C entre 1 y 1,5 hrs.
 - Posicionar la aguja descendiendo lentamente hasta que la punta haga contacto con la superficie de la muestra.
 - Realizar un mínimo de tres penetraciones en la superficie de la muestra en puntos distanciados al menos de 10 mm de la pared de la capsula y no menor de 10 mm entre uno y otro.

Figura 13. **Preparación de muestra para el ensayo por penetración**



Fuente: elaboración propia.

5.1.1.3. Punto de ablandamiento (AASHTO T 53-96 o ASTM D36)

Este método describe el procedimiento para la determinación del punto de ablandamiento de materiales asfálticos. El punto de ablandamiento es la menor temperatura a la que una muestra suspendida en un anillo horizontal cae 25 mm por el peso de una bola de acero normada, cuando una muestra se calienta mediante incrementos a una velocidad prescrita, en agua o glicerina.

- Equipo a utilizar
 - Anillo de bronce que cumpla con las dimensiones según norma
 - Bolas de acero con un diámetro de 9,5 mm y que pesen entre 3,50 ± 0,050 g.

- Guía para centrar la bola, construida de bronce, que tenga en general la forma y las dimensiones indicadas en norma.
 - Un vaso de vidrio de 800 ml, capaz de resistir el calor, con un diámetro no menor de 85 mm y una profundidad no menor de 120 mm.
 - Soporte de anillo.
 - Termómetros para punto de ablandamiento.
- Procedimiento
 - Calienta la muestra, continuamente para prevenir un sobrecalentamiento local, hasta que este fluida para verter, no se debe sobrecalentar arriba de 110 °C.
 - Verter la muestra caliente dentro de los dos anillos, precalentados a la temperatura de vertido y colocar sobre los dos anillos. Deben colocarse sobre una placa de bronce, previamente descubierta por un agente desmoldante. Enfriar durante 30 minutos como mínimo.
 - Después de enfriar, cortar el exceso con una espátula o cuchillo ligeramente caliente.
 - Ensamblar el aparato con los anillos, el termómetro y la guía para centrar las bolas en posición y llene el baño con agua destilada a 5 ± 1 °C a una profundidad no menor de 100 mm ni mayor de 110 mm. Utilizando unas pinzas, coloque una bola previamente ajustada a la misma temperatura del baño, en cada una de las guías de centraje de las bolas.
 - Aplicar calor de manera que el líquido aumente con una velocidad uniforme de 5 °C por min.
 - La velocidad de aumento de temperatura deberá ser uniforme y no se promediará durante el periodo de ensayo.

- Anote para cada anillo y la bola la temperatura indicada por el termómetro; en el momento que la muestra que rodea la bola, toque la placa inferior.

Figura 14. **Preparación de la muestra para ensayo de punto de ablandamiento**



Fuente: elaboración propia.

5.1.2. **Agregados**

Los agregados deben cumplir ciertas normas de calidad, establecidas en la norma ISSA A143, y se describen a continuación.

5.1.2.1. Análisis granulométrico por tamices de los agregados fino y gruesos

Este ensayo se basa en la norma AASHTO T 27 o ASTM C136, y es representada en la norma técnica guatemalteca NTG 41010 h1. El objetivo de este ensayo es determinar la gradación de materiales propuestos para su uso como agregados o que están siendo utilizados como agregados. Los resultados se utilizan para determinar la conformidad de la distribución por tamaños de las partículas con los requisitos aplicables de la especificación y para proporcionar los datos necesarios para el control de la producción de varios productos de agregados y de mezclas que contengan agregados. La determinación exacta del material más fino que la malla de 75 um (No.200), debe determinarse utilizando el método de ensayo establecido en la norma NTG 41010 h3.

Para este ensayo deben calcularse los porcentajes que pasan, los porcentajes retenidos totales, al 0,1 % más cercano según norma.

$$\% \text{Retenido en cada malla} = \frac{PNRA}{PNM} * 100$$

PNRA = peso neto retenido acumulado en cada una de las mallas.

PNM = peso neto de la muestra.

Le porcentaje que pasa en cada una de las mallas se obtiene con la siguiente ecuación.

$$\% \text{Pasa en cada malla} = 100 - \% \text{retenido en cada malla}$$

- Equipo a utilizar
 - Balanza con precisión de 0,1 g y exactitud de 0,1 g o 0,1 % de la masa de ensayo.
 - Tamices con paño de cedazo o maya, montado sobre un marco sólido construido de manera que se impida la pérdida de material durante el tamizado.
 - Agitador mecánico de tamices.
 - Horno capaz de mantener un a temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($230\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{F}$).

- Procedimiento
 - Secar la muestra de ensayo a peso constante, a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
 - Seleccionar los tamices adecuados según la información requerida y los procedimientos de la norma que se seguirá. Los tamices deben seleccionarse y ordenarse en orden decreciente.
 - Agitar los tamices mediante un agitador mecánico por un período de tiempo establecido.
 - Se debe evitar la sobrecarga en un tamiz individual.
 - Si la muestra de ensayo se fue ensayada con el método de ensayo ASTM C117 (NTG 41010 h3) agregar la masa del material más fino que el tamiz de $75\text{ }\mu\text{m}$ (No.200) por tamizado en seco de la misma muestra.
 - Colocar el material retenida en cada tamiz, en recipientes, para luego ser pesados y conocer los porcentajes retenidos.

Figura 15. **Ensayo de granulometría de agregados con agitador mecánico**



Fuente: elaboración propia.

5.1.2.2. Equivalente de arena, suelos y agregados finos

Este ensayo está basado en la norma ASHTO T176 o ASTM D2419, el objetivo de este ensayo es determinar el contenido de material arcilloso plástico en el agregado en las arenas, esta prueba se ensaya con material que pasa el tamiz No.4, porque los materiales arcillosos son dañinos e incompatibles con el micropavimento. El equivalente de arena establece la relación entre la longitud de arena y la altura de arcilla, que posteriormente se calcula como un porcentaje y debe cumplir con un mínimo de 65 %, se deben realizar tres pruebas para realizar un promedio del equivalente de arena.

El equivalente de arena, luego de seguir el procedimiento establecido por la norma ASTM S2419, se obtiene utilizando la siguiente ecuación.

$$EA = \frac{LA}{LAr} * 100$$

EA = equivalente de arena

LA = lectura de arena

LAr = lectura de arcilla

- Equipo a utilizar
 - Cilindro acrílico graduado con su tapón de goma, el cilindro debe estar graduado con un diámetro de 57 mm con capacidad de 85 ± 5 mm.
 - Embudo de boca ancha.
 - Botella con solución madre y otra con la solución de trabajo. La solución madre debe prepararse con 454 g de cloruro de calcio anhidro, 2 050 g de glicerina USP y 47 g de formaldehído. La solución de trabajo se prepara diluyendo una muestra de 85 ± 5 ml de la solución madre en 3,8 litros de agua destilada o desmineralizada.
 - Cronómetro.
 - Máquina de agitación mecánica, que se encuentra diseñada para contener la probeta de plástico en posición horizontal mientras esta es sometida a movimiento. La máquina debe operar a 175 ± 2 cpm.

- Procedimiento de realización del ensayo
 - Obtener al menos 1 500 g de material que pase por el tamiz de 4,75 mm.
 - Cuartear el material para uniformizar la muestra.
 - Añadir $4 \pm 0,1$ pulgadas de la solución de trabajo dentro de la probeta graduada cilíndrica.
 - Verter el material de muestra en la probeta graduada con solución de trabajo.
 - Dar pequeños golpes en la parte inferior de la probeta para desalojar burbujas.
 - Dejar reposar la probeta cilíndrica durante 10 minutos, luego de vertida la muestra, el tiempo debe cronometrarse.
 - Después de 10 minutos se sella la probeta con un tapón de caucho y se fija en la máquina de agitación durante un período de 30 segundos.
 - Se introduce el tubo irrigador dentro de la probeta cilíndrica graduada para lavar las paredes. El tubo irrigador debe llevarse hasta el fondo de la probeta dándole fuerza de torsión. La descarga de la solución de trabajo debe realizarse hasta los 38 cm según la graduación de la probeta.
 - Dejar reposar el cilindro por al menos 20 minutos y realizar las lecturas de arcilla y arena utilizando el pistón.

Figura 16. **Ensayo de equivalente de arena**



Fuente: elaboración propia.

5.1.2.3. Resistencia a la degradación de agregado grueso de pequeño tamaño por abrasión en impacto en la máquina Los Ángeles

Este ensayo se basa en la norma ASTM C 131-06, que es representada en la norma técnica guatemalteca NTG 41010 h2, donde se describe el procedimiento para la obtención del porcentaje de desgaste del agregado que se está evaluando. Esta norma pretende establecer los parámetros para la medición del desgaste de los agregados, basados en una combinación de procesos que incluyen abrasión, impacto y trituración en un tambor rotatorio de acero. Este método es utilizado como indicador de la calidad relativa del agregado.

- Equipo a utilizar
 - Máquina de los Ángeles. Esta máquina consiste en un tambor cilíndrico hueco, de acero con paredes de espesor no menor de 12,4 mm, con un diámetro interno de 711 ± 5 mm, este tambor debe girar en posición horizontal.
 - Serie de tamices.
 - Balanza.
 - Cargas: Estas consisten en esferas de acero aproximadamente de 46,8 mm de diámetro y con una masa de 300 y 445 g. La carga depende del grado de granulometría a evaluar.

- Procedimiento
 - Se debe obtener 5 000 g de material de acuerdo al tipo de ensayo que se realizará, y se deberá secar a una temperatura de 110 ± 5 °C hasta obtener un peso constante.
 - Introducir 5 000 g de agregado seco y la carga de esferas según la tabla que se encuentra en la norma, se debe hacer rotar a una velocidad de 30 – 33 rpm para un total de 500 revoluciones.
 - Se debe descargar el material del tambor rotatorio y debe separarse el material de las partículas, utilizando un tamiz No.12 (1,70mm). Este material debe ser lavado y secado en el horno a una temperatura de $110 \text{ °C} \pm 5 \text{ °C}$ hasta obtener un peso constante.
 - Se toma el peso final después de ensayado el material.

Figura 17. **Proceso de realización del ensayo de desgaste por abrasión e impacto**



Fuente: elaboración propia.

5.1.3. Relleno mineral (*Filler*)

Como relleno mineral, se utilizó cemento tipo portland para uso general en la construcción (UGC).

5.1.4. Agua

El agua debe estar libre de sustancias que sean perjudiciales para la vida del micropavimento. Esta debe ser analizada por laboratorio cuando se tenga dudas sobre su procedencia.

5.2. Diseño de mezcla de un micropavimento

La norma ISSA A143, en sus boletines técnicos, desarrolla algunos métodos de ensayos para el control de calidad de los diseños de mezcla de los micropavimentos.

5.2.1.1. Método de ensayo para determinar el tiempo de mezcla para sistemas tipo slurry

Esta prueba está basada en el boletín técnico 113 (ISSA TB 113). Esta norma tiene como objeto principal, medir los tiempos de mezclado de una combinación específica de materiales para un sistema de micropavimentos. Con esta prueba se pretende verificar la compatibilidad entre la materia prima y los componentes del micropavimento. (ISSA TB 113). El tiempo de mezcla es un parámetro que se determina midiendo el tiempo en segundos.

- Equipo a utilizar
 - Recipientes para mezclado, como vasos o tazones no absorbentes de tamaño adecuado.
 - Utensilio de mezclado, como una espátula de tamaño adecuado para el recipiente de la mezcla.
 - Tamiz, No. 20 (850 μm).
 - Balanza con capacidad para 500 gramos con precisión de 0,1 gramo.
 - Papel, papel de aluminio, fieltro impermeable u otro material adecuado sobre el cual se pueda verter el espécimen de la mezcla.

- Dispositivo termométrico, adecuado para registrar con precisión la temperatura de los materiales y el ambiente en el que se prepara la mezcla.
 - Temporizador adecuado que indique tanto minutos como segundos.
 - Servilletas de papel blancas.
- Procedimiento
 - Las mezclas se preparan con materiales a temperatura ambiente. Estas son en las condiciones con que se encuentran en el terreno real.
 - Se debe añadir 100 g de material seco, según el peso seco del agregado, junto con el material *filler*.
 - Mezclar a 60 – 70 RP con movimientos circulares durante 10 segundos, hasta que la distribución de material agregado y el *filler* sea uniforme.
 - Añadir la cantidad deseada de agua, según el peso seco del agregado. Inmediatamente, mezclar a 60-70 RPM durante 30 segundos.
 - Luego de 30 segundos, se debe verter alrededor de la mitad de la mezcla sobre el papel, conservando la mitad en el recipiente y la otra mitad sobre el papel a un espesor de 6,4 y 10 mm.
 - Continuar mezclando la parte que quedó en el recipiente durante 5 minutos como máximo o hasta que la mezcla fracture. Debe registrarse el tiempo y la hora a la que se vertió el espécimen.
 - Observar la consistencia de la mezcla durante el procedimiento.

Figura 18. **Determinación de tiempo de mezclado**

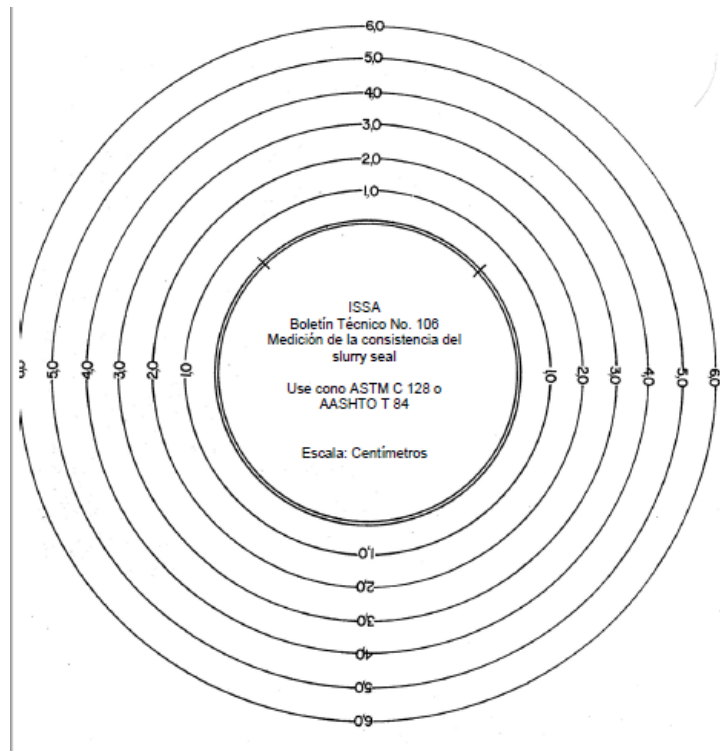


Fuente: elaboración propia.

5.2.1.2. Ensayo de consistencia de sellador tipo Slurry

Este ensayo pretende dar un valor numérico para la consistencia del *slurry seal*, mide la cantidad de agua necesaria para el componente a evaluar. Esta prueba se encuentra regulada por el boletín técnico 106 (ISSA TB 106), que establece el procedimiento, instrumentos y cálculos para evaluar la consistencia de la mezcla. La consistencia de la mezcla se mide en centímetros de acuerdo con el porcentaje de agua extra por añadir, el agua total, consiste en la humedad del agregado más el agua añadida a la mezcla.

Figura 19. **Escala para la evaluación de la consistencia de la mezcla (ISSA TB 106)**



Fuente: ISSA. *Método de ensayo para medir la consistencia de sellador tipo Slurry*. p. 2.

- Equipo a utilizar
 - Balanza con capacidad de 1 000 gramos con precisión de 0,1 gramos.
 - Cuchara o espátula y tazón de tamaño apropiado.
 - Cono de absorción de arena descrito en ASTM C128.
 - Escala de flujo como la mostrada en la figura 12, sostenido por una superficie rígida, y debe tener una abertura según el diámetro del cono.
 - Cronómetro.

- Procedimiento
 - La proporción adecuada de componentes del sistema debe determinarse en el laboratorio según ISSA TB No. 113, basada en el peso seco del agregado de 400 g.
 - La abertura más grande del cono se centra sobre la escala de papel.
 - Los componentes se mezclan durante 30 segundos y se vierte de inmediato en la abertura del cono, hasta que lleno, luego se retira el cono.
 - Cuando el flujo se detiene, debe registrarse el desplazamiento en centímetros.

Figura 20. **Evaluación de la consistencia de la mezcla mediante el cono de arena sobre la escala graduada, utilizando distintos porcentajes de agua**



Fuente: elaboración propia.

5.2.1.3. Prueba para la medición de la estabilidad y resistencia a la compactación, desplazamiento lateral y vertical de mezclas frías de agregado fino multicapa

Este ensayo mide la cantidad de compactación y de características de desplazamiento de agregados finos, utilizando el método de ensayo de rueda cargada. Este ensayo especificado en el boletín técnico 147 (ISSA TB 147).

En este ensayo se debe calcular el desplazamiento lateral de la muestra, luego de los ciclos establecidos por la norma, y no debe superar el 5 % de desplazamiento. Para esto se es necesario realizar el siguiente cálculo.

$$\%DL = \frac{ADE}{AAE} * 100$$

%DL = porcentaje de desplazamiento lateral de la muestra.

ADE = ancho de la muestra después del ensayo (cm)

AAE = ancho de la muestra antes del ensayo (cm)

Figura 21. **Evaluación de la estabilidad, resistencia a la compactación, desplazamiento lateral y vertical de mezclas**



Fuente: elaboración propia.

5.2.1.4. Prueba para la medición de exceso de asfalto para mezclas bituminosas usando el ensayo de adherencia de arena por medio del ensayo de la rueda cargada

El ensayo de la rueda cargada es utilizado con el objetivo de compactar mezclas bituminosas de agregados finos, mediante una rueda cargada con neumáticos de goma. Esta prueba es vital para la determinación del contenido de asfalto en la mezcla. Este ensayo está basado en el boletín técnico 109 (ISSA TB 109). Este ensayo se realiza en la máquina para ensayo de rueda cargada, en la cual debe añadirse un peso de 125 lb, y aplicar 1000 ciclos sobre la muestra.

El ensayo de adherencia de arena debe realizarse posterior a los 1 000 ciclos, añadiendo 300 gramos arena de Ottawa o arena graduada, y realizando 100 ciclos más sobre la muestra.

Para calcular los gramos de adherencia de arena sobre metro cuadrado, debe calcularse con la siguiente ecuación.

$$\Delta w = PAA - PDA$$

Δw = diferencia de pesos antes del ensayo de adherencia de arena (g)

PAA = peso antes del ensayo de adherencia (g)

PDA = peso después de adherencia (g)

$$ADA = \frac{\Delta w}{AD}$$

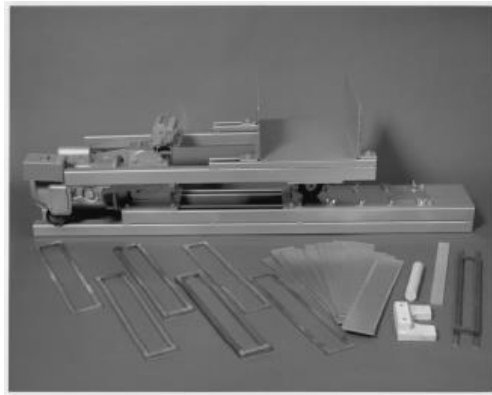
ADA = adherencia de arena (g/m²)

AD = área de desplazamiento (m²)

- Equipo a utilizar
 - Máquina de rueda cargada, con las siguientes características
 - Marco de acero de canal ajustables
 - Placa de montaje para los especímenes
 - Motor de 1/3 HP de potencia y de 1750 RPM
 - Eje horizontal de doble salida
 - Manivelas de 6 pulgadas de diámetro
 - Brazos de conexión ajustables
 - Caja de peso

- Contador de revoluciones reajutable

Figura 22. **Máquina para ensayo de la rueda cargada (LWT)**



Fuente: ISSA. *Método para la medición de la estabilidad y resistencia a la compactación, desplazamiento lateral y vertical de mezclas fías de agregado fino multicapa (ISSA TB106).*
p. 147-5.

- Placas de montaje galvanizadas
 - Moldes para muestras (3,2 ,4,8, 8,0, 9,5, 12,7 mm de espesor por 3" y 16" de medida exterior.
 - Marco de acero de 0,188" por 2,5" por 15" como medidas exteriores.
 - Bascula de plataforma con capacidad de 250 lb.
- Preparación de la muestra
 - Las muestras deben prepararse con los parámetros establecidos en ISSA TB No.113.
 - Los moldes deberán ser por lo menos 25 % más profundos que el tamaño de las partículas del agregado.

- Debe prepararse aproximadamente de 25 a 30 % más del material que es necesario para el llenado del molde.

- Procedimiento
 - A temperatura ambiente la rueda es limpiada con solvente o con agua, la muestra debe colocarse y debe cargarse la máquina con el peso de 125 lb.
 - Se debe reiniciar el contador hasta cero revoluciones y los ciclos se inician activando el switch hasta llegar a 1000 ciclos.
 - La muestra debe retirarse de la máquina y secarse a 105 °C, para ser pesada.
 - Si la rueda de la máquina presenta algunas viscosidades o material pegado, debe retirarse mediante la aplicación de agua para evitar la adhesión de partículas.
 - El peso seco de la muestra es tomado y se coloca nuevamente en la posición bajo la rueda, a esta se le agregan 300 g de arena graduada y se esparce uniformemente, para completar otros 100 ciclos más.
 - La arena es retirada y debe tomarse el peso de la muestra con la adherencia de arena.

Figura 23. **Especímenes con distintos porcentajes de emulsión después del ensayo de adherencia de arena con rueda cargada**



Fuente: elaboración propia.

5.2.1.5. Método de ensayo para la abrasión húmeda de sistemas de superficies tipo slurry (WTAT)

El método de ensayo de abrasión húmeda mide las cualidades de desgaste de los sistemas de superficies *slurry* en condiciones de abrasión húmeda. En este ensayo debe realizarse una mezcla que contenga cada uno de los componentes del micropavimento. Este método de ensayo se encuentra regulado por el boletín técnico 100 (ISSA TB 100).

Para este ensayo, la norma establece una serie de aparatos para su realización, y es hecho en una máquina HOBART. Esta máquina debe operarse según la tabla que se presenta a continuación.

Tabla VII. **Factores de corrección de pérdidas para la correlación con la máquina Hobart C -100**

Factores de corrección de pérdidas para la correlación con C-100			
Modelo Hobart	Duración equivalente de ensayo	Multiplique la pérdida de gramos por el factor adecuado para obtener la pérdida por área unitaria	
	Segundos	g/ft2	g/m2
C -100	300 ± 2	3,06 x 1	32,9 x 1,0
A – 120	405 ± 2	2,78 x 1,17	29,9 x 1,17
N – 50	315 ± 2	3,48 x 0,78	37,5 x 0,78
N-50 Modificada	315 ± 2	3,06 x 1,0	32,9 x 1,0

Fuente: ISSA. *Método de ensayo para la abrasión húmeda de sistemas de superficie tipo slurry* (ISSA TB 100). p. 3.

Para encontrar la pérdida por abrasión en el ensayo de rueda cargada, se debe utilizar la siguiente ecuación.

$$\Delta w = P_{\text{seco antes}} - P_{\text{seco después}}$$

Δw = diferencia de pesos secos (g)

$P_{\text{seco antes}}$ = peso seco antes de realizar el curado de las muestras (g)

$P_{\text{seco después}}$ = peso seco después de realizado el ensayo (g)

$$PA = \Delta w * Fc$$

PA = pérdida por abrasión

Fc = factor de correlación con Hobart C-100 (g/m²)

- Equipo a utilizar
 - Balanza con capacidad para 5000 g con precisión de 0,1 g
 - Mezcladora mecánica Hobart tipo planetario, modelos C-100, A-120, N-50 o N-50 modificada. Equipada con un cabezal de abrasión de 2,27 kg, placa de montaje y bandeja de metal de fondo plano.

Figura 24. **Maquina Hobart para ensayo de abrasión húmeda**



Fuente: elaboración propia.

- Tazón inoxidable de fondo redondeado apropiado para contener la muestra durante el proceso de mezclado.
- Cuchara mezcladora o espátula adecuada, de un tamaño suficiente.

- Disco de tamaño adecuado de fieltro impermeable saturado.
 - Elemento rasador, como una escobilla de goma para vidrios, con una hoja de 300-360 mm.
 - Horno de convección forzada controlado termostáticamente a $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$.
 - Baño de agua a temperatura controlada de $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.
 - Manguera de goma con índice de dureza de 80° shore A.
 - Bloque de sostén para fijar el ensamble de la bandeja y la placa de montaje, de ser necesario.
- Preparación del espécimen
 - La proporción adecuada de componentes del sistema deberá basarse en el peso del agregado seco, determinada por la ISSA TB No.113.
 - Centrar el molde del espécimen en el disco de fieltro impermeable.
 - Separar una cantidad suficiente de agregado pasante del tamiz No.4 (4,75 mm) para obtener al menos 800 g.
 - Añadir 800 g de material según peso seco en el tazón, mezclar uniformemente y mezclar el agua y demás componentes hasta que esté completamente húmedo. Añadir emulsión y mezclar un máximo de 3 minutos.
 - Uniformizar la textura del espécimen para lograr resultados precisos, esto se logra mediante el elemento rasador hacia atrás y adelante, en un tiempo menor de 15 segundos.
 - Se debe retirar el molde y colocar el espécimen en el horno a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ dentro de 3 horas de haberse vertido y séquelolo a peso constante.

- Procedimiento
 - Registrar el peso del espécimen luego de retirado del horno a 60 °C.
 - Colocar el espécimen en un baño de agua a 25 °C de 60 a 75 minutos. Al realizarse la evaluación de seis días, el ensayo deberá iniciarse dentro de dos horas luego de finalizado el período de seis días de remojo.
 - Retirar el espécimen del baño de agua y ubicarlo en la bandeja de fondo plano. Acoplar el espécimen a la bandeja y a la placa de montaje.
 - Cubrir el espécimen por completo con 6,35 mm (0,25 pulgadas), con agua a 25 °C.
 - Asegurar el cabezal de abrasión de la manguera de goma al eje de la maquina Hobart. Eleve el ensamble de la bandeja y la placa de montaje para que el cabezal de abrasión flote sobre la muestra.
 - Ajustar la velocidad de la máquina Hobart al mínimo y operar la máquina según la ISSA TB No.100.
 - Retirar el espécimen de la bandeja después del ciclo de abrasión y quite los residuos y colocar a 60 °C y secar a peso constante.
 - Retirar el espécimen del horno y dejar secar a temperatura ambiente. Registrar el peso.

Figura 25. **Especímenes para ensayo de abrasión húmeda para diferentes porcentajes de emulsión**



Fuente: elaboración propia.

5.3. Resultados

Se presentan los resultados obtenidos de los ensayos realizados a los micropavimentos, utilizando el agregado de origen natural y agregado triturado, a estos se les denominará como agregado No.1 y agregado No.2 respectivamente.

5.3.1. Emulsión asfáltica

Para el diseño de mezcla de micropavimento, se utilizará una emulsión asfáltica CSS-1h, la cual fue donada por PADEGUA.

- Residual por destilación o evaporación

Tabla VIII. **Residual por destilación o evaporación de la emulsión CSS 1h**

Residual por destilación o evaporación (CSS 1h)	
Parámetro	Porcentaje
Residuo de asfalto	61 %
Agua	39 %

Fuente: elaboración propia.

- Penetración al asfalto residual

Tabla IX. **Penetración al asfalto residual**

Muestra asfalto residual CSS-1h	
Muestra	Lectura dial
Punto 1	54 1/10"
Punto 2	53 1/8"
Promedio	53,786"

Fuente: elaboración propia.

5.3.2. Agregados

Se utilizó un agregado de origen natural y uno triturado, estos son descritos en el capítulo 2.

- Equivalente de arena

Tabla X. **Ensayo de equivalente de arena agregado No.1**

Ensayo equivalente de arena agregado no.1					
Lectura	Muestra no.1	Muestra no.2	Muestra no.3	Promedio	Especificación
Lectura de Arcilla (plg)	5,00	5,10	5,20		
Lectura de Arena (plg)	3,50	3,70	3,70		
Equivalente de Arena (%)	70,00	72,55	71,15	71,23 %	65 % Min

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Ensayo de equivalente de arena agregado No.2**

Ensayo equivalente de arena agregado no.2					
Lectura	Muestra no.1	Muestra no.2	Muestra no.3	Promedio	Especificación
Lectura de Arcilla (plg)	3,10	3,05	3,15		
Lectura de Arena (plg)	2,00	1,90	2,10		
Equivalente de Arena (%)	64,52	62,30	66,67	64,49	65 % Min

Fuente: elaboración propia.

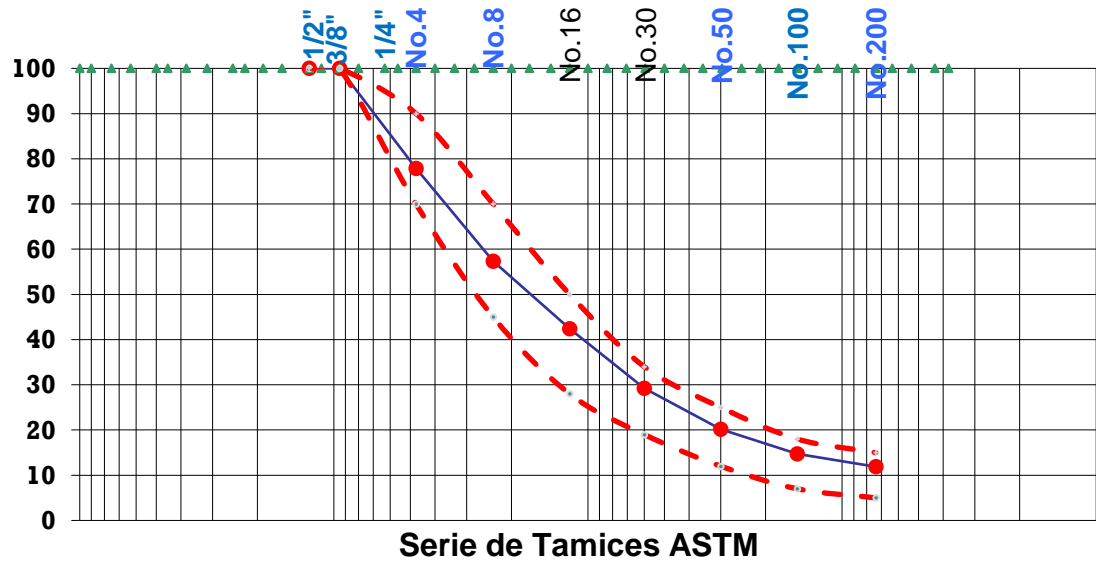
- Granulometría de los agregados

Tabla XII. **Granulometría del agregado No.1**

Tamaño de tamiz	Peso neto retenido	% Retenido	Límite superior	%Pasa	Límite inferior
1/2" (12,5 mm)	0,00	0,00	100	100,00	100
3/8" (9,50 mm)	0,00	0,00	100	100,00	100
No. 4 (4,75 mm)	218,90	22,13	90	77,87	70
No. 8 (2,36 mm)	421,60	42,63	70	57,37	45
No.16 (1,18 mm)	569,30	57,57	50	42,43	28
No.30 (0,60 mm)	699,53	70,73	34	29,27	19
No. 50 (0,30 mm)	789,47	79,83	25	20,17	12
No.100 (0,15 mm)	843,00	85,24	18	14,76	7
No. 200 (0,07366 mm)	871,46	88,12	15	11,88	5

Fuente: elaboración propia.

Figura 26. **Curva granulométrica del agregado No.1 según límites**



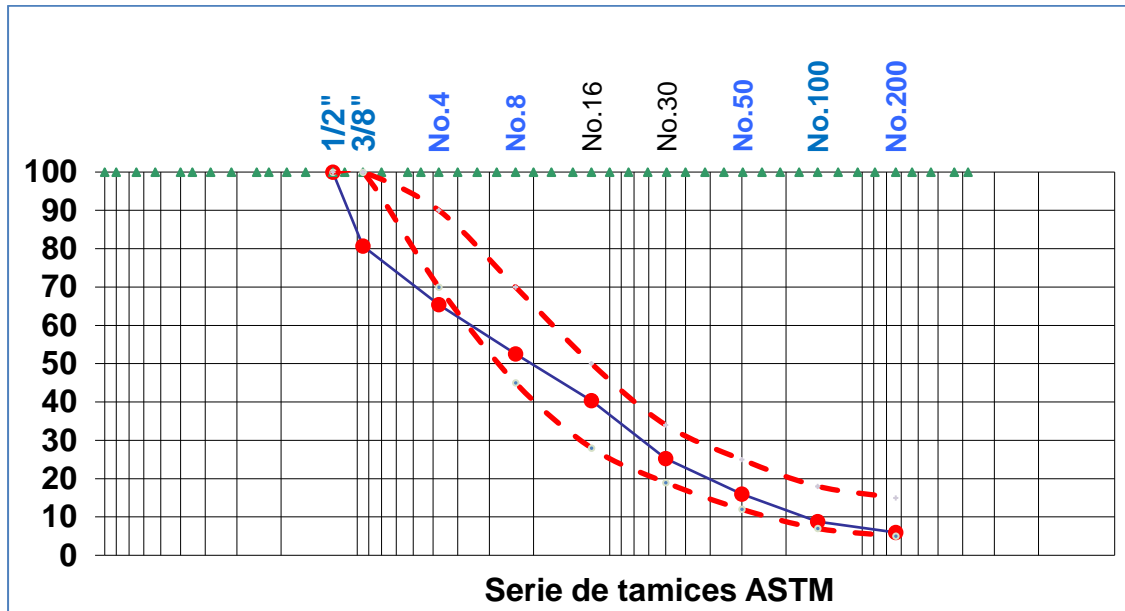
Fuente: elaboración propia, con base en el formato de PADEGUA.

Tabla XIII. **Granulometría del agregado No.2**

Micropavimento tipo III					
Tamaño de tamiz	Peso neto retenido	% Retenido	Límite superior	%Pasa	Límite inferior
1/2" (12,5 mm)	0	0,00	100	100,00	100
3/8" (9,50 mm)	242,23	19,34	100	80,66	100
No. 4 (4,75 mm)	433,63	34,63	90	65,37	70
No. 8 (2,36 mm)	594,68	47,49	70	52,51	45
No.16 (1,18 mm)	747,09	59,66	50	40,34	28
No.30 (0,60 mm)	936,15	74,76	34	25,24	19
No. 50 (0,30 mm)	1052,87	84,08	25	15,92	12
No.100 (0,15 mm)	1142,33	91,22	18	8,78	7
No. 200 (0,07366 mm)	1177,63	94,04	15	5,96	5

Fuente: elaboración propia.

Figura 27. **Curva granulométrica de agregado No.2**



Fuente: elaboración propia, con base en el formato de PADEGUA.

- Determinación de la resistencia al desgaste del agregado, por abrasión e impacto en la Máquina de Los Ángeles.

Tabla XIV. **Ensayo de desgaste tipo "C" para agregado No.1**

Muestra no.1 según norma AASHTO T-6 tipo "C"		
Cantidad de bolas según norma		8
Peso agregado retiene tamiz de 1/4" (g)	Peso agregado retiene tamiz #4 (g)	Peso total (g)
2 500	2 500	5 000
Peso después del ensayo (g)		3 725
% de desgaste		25,50 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Ensayo de desgaste tipo “D” para agregado No.1**

Muestra no.2 según norma AASHTO T-6 tipo "D"	
Cantidad de bolas según norma	6
Peso agregado retiene tamiz #8 (g)	Peso total (g)
5 000	5 000
Peso después del ensayo (g)	3 747
% de desgaste	25,06 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Ensayo de desgaste tipo “C” para agregado No.2**

Muestra no.1 según norma AASHTO T-6 tipo "C"		
Cantidad de bolas según norma		8
Peso agregado retiene tamiz de 1/4" (g)	Peso agregado retiene tamiz #4 (g)	Peso total (g)
2 500	2 500	5 000
Peso después del ensayo (g)		3 850,54
% de desgaste		22,99

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Ensayo de desgaste tipo “D” para agregado No.2**

Muestra no.2 según norma AASHTO T-6 tipo "D"	
Cantidad de bolas según norma	6
Peso agregado retiene tamiz #8 (g)	Peso total (g)
5 000	5 000
Peso después del ensayo (g)	3 945,35
% de desgaste	21,09

Fuente: elaboración propia.

5.3.3. **Diseño de mezcla de micropavimentos**

El diseño de mezcla de micropavimentos, se realizó utilizando como referencias los boletines técnicos, descritos en la norma ISSA A143.

- Tiempo de mezclado (ISSA TB 113)

Tabla XVIII. **Ensayo de tiempo de premezcla con agregado No.1**

Ensayo de tiempo de premezcla para agregado No.1						
Mezcla	Emulsión (% sobre peso seco del agregado)	Cemento (% sobre peso seco del agregado)	Agua	Hora de vertido de mezcla	Tiempo de premezcla (segundos)	Requerimiento de norma ISSA TB 113
1	10 %	1 %	10 %	11:54	210	No mayor de 300 segundos
2	10 %	1 %	10 %	11:27	215	
3	10 %	1 %	10 %	13:57	260	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Tiempo de rotura de la emulsión con agregado No.1**

Ensayo de tiempo de premezcla para agregado No.1						
Mezcla	Emulsión (% sobre peso seco del agregado)	Cemento (% sobre peso seco del agregado)	Agua	Hora de vertido de mezcla	Tiempo de rotura (minutos)	Requerimiento de norma ISSA TB 113
1	10 %	1 %	10 %	11:54	15	No menor de 5 minutos
2	10 %	1 %	10 %	11:27	20	
3	10 %	1 %	10 %	13:57	22	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Ensayo de premezcla con agregado No.2**

Ensayo de tiempo de premezcla para agregado No.2						
Mezcla	Emulsión (% sobre peso seco del agregado)	Cemento (% sobre peso seco del agregado)	Agua	Hora de vertido de mezcla	Tiempo de premezcla (segundos)	Requerimiento de norma ISSA TB 113
1	10 %	1 %	10 %	08:40	210	No mayor de 300 segundos
2	10 %	1 %	10 %	08:52	215	
3	10 %	1 %	10 %	09:00	260	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Tiempo de rotura de la emulsión con agregado No.2**

Ensayo de tiempo de premezcla para agregado No.2						
Mezcla	Emulsión (% sobre peso seco del agregado)	Cemento (% sobre peso seco del agregado)	Agua	Hora de vertido de mezcla	Tiempo de rotura (minutos)	Requerimiento de norma ISSA TB 113
1	10 %	1 %	10 %	11:54	14,5	No menor de 5 minutos
2	10 %	1 %	10 %	11:27	17,2	
3	10 %	1 %	10 %	13:57	16	

Fuente: elaboración propia.

- Ensayo de consistencia de sellador tipo slurry (ISSA TB 106)

Tabla XXII. **Resultados del ensayo de consistencia con agregado No.1**

Prueba de consistencia agregado No.1		
No. Prueba	% de agua	Flow (cm)
1	11,00	1,53
2	11,50	2,53
3	12,00	3,58
4	12,50	3,95
5	13,00	4,68

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Resultados del ensayo de consistencia con agregado No.2**

Prueba de consistencia agregado No.2		
No. Prueba	% de agua	Flow (cm)
1	10,50	1,75
2	11,00	2,60
3	11,50	3,80
4	12,00	4,20
5	12,50	5,00

Fuente: elaboración propia.

- Prueba para la medición de la estabilidad y resistencia a la compactación, desplazamiento lateral y vertical de mezclas fías de agregado fino multicapa. (ISSA TB 147).

Tabla XXIV. **Desplazamiento lateral en especímenes del ensayo de rueda cargada (LWT) agregado No.1**

Agregado No.1			
Porcentaje de desplazamiento			
Muestra	Ancho inicial (cm)	Ancho final (cm)	% de desplazamiento
8 % de emulsión	5,10	5,20	1,92
10 % de emulsión	5,09	5,22	2,49
12 % de emulsión	5,14	5,18	0,77

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Desplazamiento lateral en especímenes del ensayo de rueda cargada (LWT) agregado No.2**

Agregado No.2			
Porcentaje de desplazamiento			
Muestra	Ancho inicial (cm)	Ancho final (cm)	% de desplazamiento
8 % de emulsión	5,08	5,17	1,74
10 % de emulsión	5,10	5,19	1,73
12 % de emulsión	5,13	5,15	0,39

Fuente: elaboración propia.

- Prueba para la medición de exceso de asfalto para mezclas bituminosas usando el ensayo de adherencia de arena por medio del ensayo de la rueda cargada (ISSA TB 109).

Tabla XXVI. **Adherencia de arena por medio del ensayo de rueda cargada con agregado No.1**

Agregado No.1					
adherencia de arena					
muestra (%emulsión)	peso previo al ensayo de adherencia de arena (g)	peso posterior al ensayo de adherencia de arena (g)	diferencia de peso (g)	área de desplazamiento (m2)	adhesión de arena (g/m2)
8 %	504	508	4	0,0147	272,11
10 %	459	463	4	0,0147	272,11
12 %	431	436	5	0,0147	340,14

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Adherencia de arena por medio del ensayo de rueda cargada con agregado No.2**

Agregado No.2					
Adherencia de arena					
Muestra (%emulsión)	Peso previo al ensayo de adherencia de arena (g)	Peso posterior al ensayo de adherencia de arena (g)	Diferencia de peso (g)	Área de desplazamiento (m2)	Adhesión de arena (g/m2)
8 %	514	516	2	0,0147	136,05
10 %	513	518	3	0,0147	204,08
12 %	519	522	5	0,0147	346,94

Fuente: elaboración propia.

- Método de ensayo para la abrasión húmeda de sistemas de superficies tipo slurry (WTAT) (ISSA TB 100).

Tabla XXVIII. **Perdida por abrasión en húmedo de agregado No.1**

No. de muestra	Emulsión en la mezcla	Peso seco Inicial	Peso seco final	Factor de corrección para Hobart N-50 (g/m2)	Pérdida por Abrasión (g/m2)
1	8 %	592,65	578,65	37,5 x 0,78	409,50
2	10 %	618,24	606,77	37,5 x 0,78	335,50
3	12 %	611,17	601,13	37,5 x 0,78	293,67

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Pérdida por abrasión en húmedo de agregado No.2**

No. de muestra	Emulsión en la mezcla	Peso seco Inicial	Peso seco final	Factor de corrección para Hobart N-50 (g/m ²)	Pérdida por Abrasión (g/m ²)
1	8 %	625,35	612,11	37,5 x 0,78	387,27
2	10 %	634,25	622,25	37,5 x 0,78	351,00
3	12 %	632,14	623,45	37,5 x 0,78	254,18

Fuente: elaboración propia.

5.3.4. **Comparación de los resultados de las mezclas con ambos agregados**

Los resultados de los ensayos sobre los micropavimentos, utilizando agregado de origen natural y triturado, fueron similares, cumpliendo estos con la mayoría de las especificaciones establecidas en la norma ISSA A143, y se muestran en la tabla XXX.

Tabla XXX. **Comparación del diseño de mezcla de micropavimentos utilizando el agregado No.1 y el agregado No.2**

Ensayo	Especificación	Parámetro mínimo	Agregado No.1	Agregado No.2	Resultado
Tiempo de mezcla	ISSA TB 113	30 s mínimo 300 s máximo	228 segundos	235 segundos	Satisfactorio

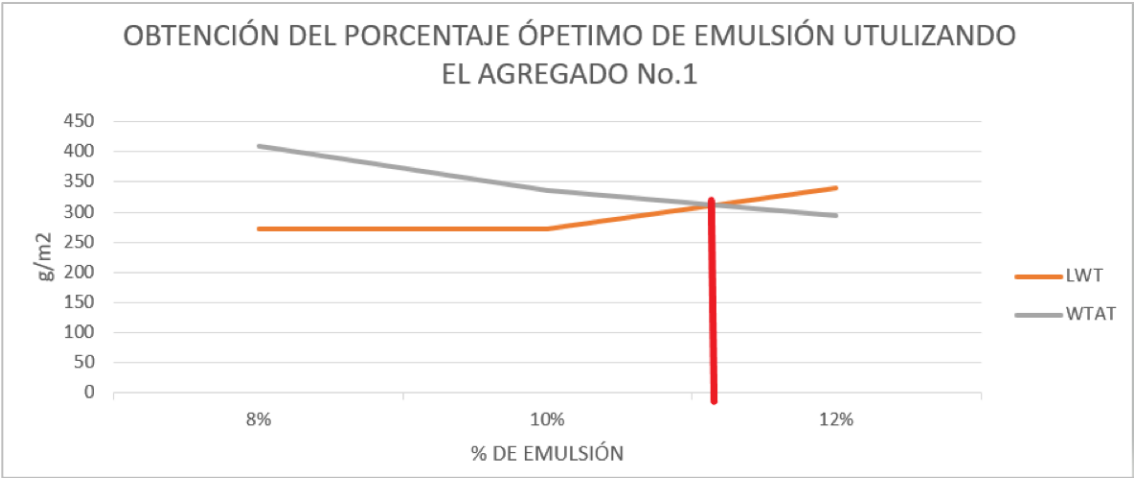
Continuación de tabla XXX.

Ensayo de consistencia	ISSA TB 106	2,5 ± 0,75 cm	3,20 cm (12 % de agua)	3,25 cm (11,5 % de agua)	Satisfactorio
Medición de la estabilidad y resistencia a la compactación, desplazamiento lateral y vertical de mezclas frías	ISSA TB 147	5 % máximo 2,10 % mínimo	Menor a 3 % con porcentajes de emulsión arriba de 10 %	Menor a 3 % con porcentajes de emulsión arriba de 10 %	Satisfactorio
Prueba para la medición de exceso de asfalto para mezclas bituminosas usando el ensayo de adherencia de arena por medio del ensayo de la rueda cargada	ISSA TB 109	538 g/m2 máximo	Menor a 538 g/m2 con cualquier porcentaje de emulsión	Menor a 538 g/m2 con cualquier porcentaje de emulsión	Satisfactorio
Método de ensayo para la abrasión húmeda de sistemas de superficies tipo slurry (WTAT)	ISSA TB 100	538 g/m2 máximo	409,50 g/m2 con un mínimo de 8 % de emulsión	387,27 g/m2, para un mínimo de 8 % de emulsión	Satisfactorio

Fuente: elaboración propia.

Luego de determinar los resultados del ensayo de adherencia de arena (ISSA TB 109), y el ensayo de abrasión en húmedo, se debe obtener el porcentaje óptimo de emulsión.

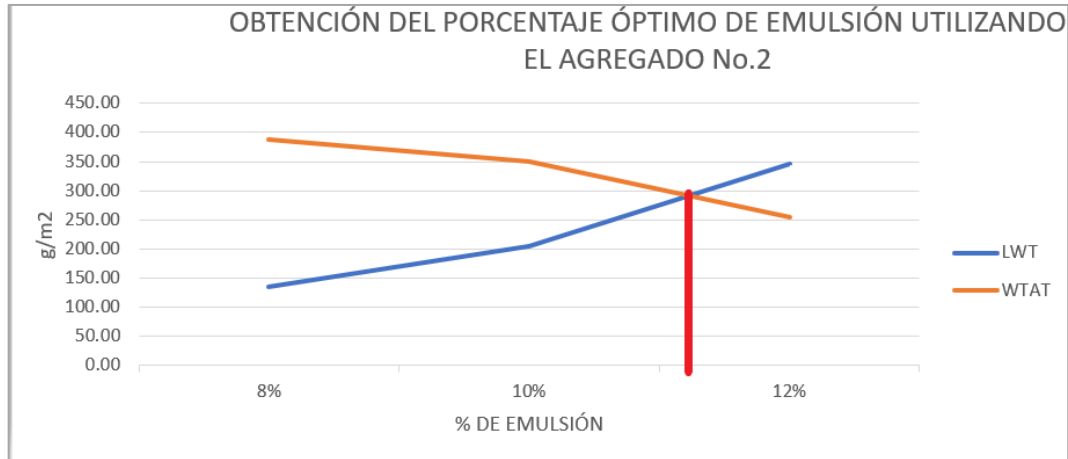
Figura 28. **Obtención del porcentaje óptimo de emulsión para diseño de mezcla con agregado No.1**



Fuente: elaboración propia.

Según la figura 16, se observa que el porcentaje óptimo de emulsión ($%E_{opt}$), se encuentra en un 11,2 % de acuerdo con el peso seco del agregado.

Figura 29. **Obtención del porcentaje óptimo de emulsión para diseño de mezcla con agregado No.2**



Fuente: elaboración propia.

Según la figura 17, se observa que el porcentaje óptimo de emulsión ($\%E_{opt}$), se encuentra en un 11,3 % del peso seco del agregado.

CONCLUSIONES

1. Luego de realizar los ensayos de calidad de los agregados, y realizando la comparación entre uno y otro, se identificó que el agregado triturado (agregado No.1), presenta mejor comportamiento en sus propiedades tanto físicas como mecánicas (tabla XXXI y tabla XXXII), comparado con el agregado de arena de río. Con una mejor graduación de acuerdo con el tipo de granulometría para el micropavimento tipo III.
2. Se determinó que el comportamiento del micropavimento, con el agregado triturado (agregado No.1), cumple satisfactoriamente con las pruebas de calidad, tanto de los agregados, como del diseño de mezcla, ya que existe buena compatibilidad entre los materiales (emulsión – *Filler* – agregado). Obteniendo resultados satisfactorios, según la norma ISSA A143.
3. Las diferencias al utilizar en el diseño de micropavimentos, los dos tipos de agregados son las siguientes:
 - Al agregar mayor cantidad de agua, el agregado de río presenta mayor fluidez que el agregado triturado, lo cual disminuye su desempeño en ciertas condiciones y no cumple con los parámetros mínimos del ensayo de consistencia.
 - La graduación de la arena de río presenta mayor dificultad para entrar en la curva granulométrica establecida de acuerdo al tipo de micropavimento, lo cual, representa más tiempos en gasto y diseño en el proceso de graduación del material.

- El agregado triturado presenta un mejor desempeño físico y mecánico, en comparación con el agregado de río.
4. Si un ensayo no cumple con los parámetros mínimos de desempeño, no se descartará el uso de alguno de los componentes del micropavimento, debido a que la norma recomienda seguir observando los resultados y su comportamiento durante los ensayos.
 5. Para carreteras de tercer orden, donde el tránsito de vehicular no es muy grande, un micropavimento es una opción viable, debido a su facilidad de diseño, construcción y mantenimiento. Esto como una forma de recuperación de carreteras cuando no tienen un deterioro mayor y el micropavimento es capaz de recuperar la textura, fallas y resistencia en la carpeta de rodadura. Para esto se debe utilizar los análisis y metodologías presentados en este trabajo.
 6. La utilización de agregados triturados y agregados de río se debe de tomar en cuenta según la localización del proyecto y la viabilidad en la obtención de estos recursos, ya que los factores como distancia y localización afectan los costos de los proyectos.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar agregados de origen artificial, debido a la facilidad que existe actualmente en el mercado de encontrar este tipo, porque la explotación del agregado de origen natural es más difícil. Las Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes del Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda (MICIVI), y la International Slurry Surfacing Association (ISSA), recomiendan el uso de material triturado.
2. Considerar utilización de agregado de origen natural, debido a la carencia de bancos de explotación de material para agregados en lugares donde la geología no se presta a la explotación de estos recursos.
3. Utilizar procesos de mezclas en frío, como los micropavimentos, porque este, genera menor daño al medio ambiente, en comparación con las mezclas en caliente.
4. Considerar el uso de cemento o cal como material *filler*, de acuerdo con las característica y condiciones del sitio donde se aplicará el micropavimento, debido a que los agregados naturales, la presencia del material fino es mucho menor.
5. Comenzar con el proceso de adaptación de normas de micropavimentación por parte de las autoridades y empresas dedicadas a la construcción de pavimentos, para su aplicación en proyectos en Guatemala, debido a las ventajas que estos presentan sobre métodos

tradicionales, tanto en su facilidad de aplicación, como en la aceptación de los diseños de mezcla por la flexibilidad de las normas.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALVARADO, Josué; CHIPAGUA, Luis; MEJÍA, Víctor. *Propuesta de aplicación de lechadas asfálticas modificadas (Microsurfacing) como técnica de mantenimiento periódico en vías de alto tráfico*. [en línea]. <<https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/4488/>>. [Consulta: 15 de septiembre de 2021].
2. ALVAREZ, Byron. *Uso de los morteros asfálticos en vías: colocación del mortero asfáltico slurry en la vía La Armenia – Pactro tramo Gualea Cruz - Pacto*. [en línea]. <<https://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/1443>>. [Consulta: 6 de octubre de 2021].
3. BRACHO, Carlos. *Emulsiones asfálticas*. [en línea]. <<https://vdocuments.mx/13-emulsiones-asfalticas.html>>. [Consulta: 6 de octubre de 2021].
4. CAL NORESTE. *¿Sabes que es la cal hidratada y sus usos?* [en línea]. <<https://www.calnoreste.com/sabes-que-es-la-cal-hidratada-y-sus-usos/>>. [Consulta: 16 de septiembre de 2021].
5. COGUANOR NTG 41010 h1. *Método de ensayo. Análisis granulométrico por tamices de los agregados fino y grueso*. Guatemala: Ministerio de Economía, 2016. 17 p.
6. COGUANOR NTG 41010 h20. *Método de ensayo. Determinación de la resistencia al desgaste, del agregado grueso de tamaño hasta de*

37.5 mm (1 1/2 pulg), por abrasión e impacto en la Máquina de los Ángeles. Guatemala: Ministerio de Economía, 2014. 12 p.

7. COVIAL. *Conoce las actividades que realiza Civial*. [en línea]. <<http://www.covial.gob.gt/conoce-las-actividades-demantenimiento-que-realiza-covial/>>. [Consulta: 15 de septiembre de 2021].
8. DÍAZ, Rodrigo. *Diseño de la mezcla de micropavimentos para el mantenimiento de la ruta Santa Rosa Tres (RD-SRO-03), tramo Casillas-Desvío a San Rafael las Flores*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad Rafael Landívar, Guatemala, 2008. 110 p.
9. ESCOBAR, Emerson. *Metodología para mantenimiento de carreteras pavimentadas y caminos rurales para la prevención de riesgos y seguridad vial en la República de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008. 158 p.
10. FONSECA, José. *Análisis técnico-económico de las actividades de bacheo para la conservación vial en Costa Rica*. [en línea]. <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/866/public_esp_tratam_superficiales_ruta_lastre.pdf?sequence=1>. [Consulta: 6 de octubre de 2021].
11. ISSA TB No.100. *Método de ensayo para la abrasión húmeda de sistemas superficies tipo slurry*. USA: International Slurry Surfacing Association, 1969. 6 p.

12. ISSA TB No.106. *Método de ensayo para medir la consistencia de sellador de tipo slurry*. USA: International Slurry Surfacing Association, 1976. 3 p.
13. ISSA TB No.113. *Método de ensayo para determinar el tiempo de mezcla para sistemas de superficies tipo slurry*. USA: International Slurry Surfacing Association, 2012. 2 p.
14. ISSA TB No.147. *Método de ensayo para medir la estabilidad y resistencia a la compactación, desplazamiento vertical y lateral de mezclas frías de agregado fino multicapa*. USA: International Slurry Surfacing Association, 1989. 5 p.
15. ISSA. *Norma de rendimiento recomendada para micro pavimentación*. USA: International Slurry Surfacing Association, 2010. 19 p.
16. LANAMME. *Sellos de lechada asfáltica “Slurry Seals” en Costa Rica, conceptos, ensayos y especificaciones*. [en línea]. <<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/vial/article/view/2014>>. [Consulta: 22 de junio de 2021].
17. _____. *Tratamientos superficiales como alternativa en rutas de lastre*. [en línea]. <<https://repositoriosiidca.csuca.org/Record/RepoTEC6103>>. [Consulta: 6 de octubre de 2021].
18. MARTÍNEZ, Rudy. *Calidad de dos bancos de agregados para concreto, en el departamento de Chiquimula*. Trabajo de graduación de Ing.

Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2009. 172 p.

19. ORELLANA, Mauricio; PEÑA, Edgar; PEREZ, Blanca. *Propuesta de diseño y proceso constructivo de lechada asfáltica en el mantenimiento de obras viales en el Salvador*. [en línea]. <<https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/3196/1/PROPUESTA%20DE%20DISE%C3%91O%20Y%20PROCESO%20CONSTRUCTIVO%20DE%20LECHADA%20ASFALTICA%20EN%20EL%20MANTENIMIENTO%20DE%20OBRAS%20VIALES%20EN%20EL%20SALVADOR.pdf>>. [Consulta: 10 de noviembre de 2020].
20. PCA. *Diseño y control de mezclas de concreto*. Illinois, USA: PCA, 2004. 459 p.
21. REVISTA VIAL. *Cape Seal, innovación en tratamientos bituminosos superficiales*. [en línea]. <<http://revistavial.com/cape-seal-innovacion-en-tratamientos-bituminosos-superficiales/>>. [Consulta: 5 de junio de 2021].
22. SIECA, *Manual Centroamericano de mantenimiento de carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial*. Guatemala: Secretaría de Integración Económica Centroamericana, 2010. 346 p.
23. TAHUITE, Ismael. *Metodología, diseño y aplicación de un mortero asfáltico modificado (microsurfacing) para el proyecto M-30-200*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2011. 148 p.

24. VARGAS-GUTIERREZ, Alejandro. *Experiencia de diseño de micropavimentos en el Salvador*. [en línea]. <https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2622/MAS_ICI_V-L_033.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Consulta: 10 de noviembre de 2020].

APÉNDICES

Apéndice 1. **Ensayo de granulometría realizado en agregados**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Ensayo de equivalente de arena**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Ensayo de abrasión e impacto en Máquina de los
Ángeles**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Ensayo de premezcla**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Ensayo de consistencia

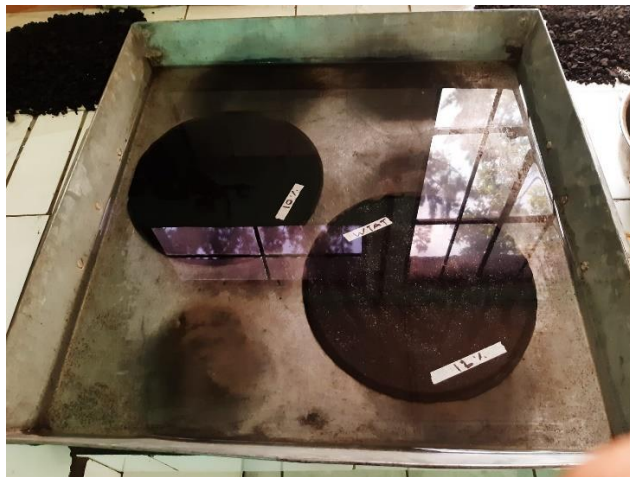


Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. Ensayo de adherencia de arena, mediante rueda cargada y desplazamiento lateral



Apéndice 6. **Ensayo de abrasión en húmedo (WTAT)**



Fuente: elaboración propia.

ANEXO

Anexo 1. Norma de rendimiento recomendada para micro pavimentación ISSA A143

ISSA A143
Revisado en febrero de 2010

Norma de rendimiento recomendada para micro pavimentación

A143
(Revisado en febrero de 2010)



AVISO

No se pretende ni recomienda que estas pautas se utilicen de modo literal. Debe utilizarse como referencia y asistir a las agencias del usuario en el establecimiento de su especificación de proyecto particular. Los usuarios deben comprender que la disponibilidad de materiales varía en casi todas las regiones geográficas. Debe realizarse un esfuerzo para determinar qué materiales pueden obtenerse, teniendo en cuenta la compatibilidad con el sistema y los requisitos específicos del trabajo. Póngase en contacto con ISSA para obtener respuestas y una lista de los contratistas y empresas asociadas a ISSA.

INTERNATIONAL SLURRY SURFACING ASSOCIATION
800 Roosevelt Rd, Building C-312
Glen Ellyn, IL 60137
630.942.6577
www.slurry.org

© 2010 por International Slurry Surfacing Association
No pueden realizarse reproducciones de ningún tipo sin el consentimiento escrito de ISSA.

NORMA DE RENDIMIENTO RECOMENDADA PARA MICRO PAVIMENTACIÓN

1. ALCANCE

La intención de esta norma es asistir en el diseño, ensayos, control de calidad, mediciones y procedimientos de pago para la aplicación de un micro pavimento.

2. DESCRIPCIÓN

La micro pavimentación consistirá en una mezcla de asfalto emulsionado modificado con polímeros, agregado mineral, agua y aditivos, proporcionados, mezclados y esparcidos de manera uniforme sobre una superficie preparada adecuadamente, dirigida por el representante autorizado del comprador [B.A.R. por su sigla en inglés]. La micro pavimentación debe funcionar en secciones de diferentes espesores, como baches, capas niveladoras y superficies fresadas. Después del curado y la consolidación inicial del tránsito, debe resistir una mayor compactación. La micro pavimentación se aplicará como una placa homogénea, se adherirá firmemente a la superficie preparada y presentará una textura resistente a los deslizamientos durante su vida útil.

El micro pavimento es un sistema de tránsito rápido que permite que el tránsito se reactive poco tiempo después de su colocación. Por lo general, estos sistemas deben aceptar tránsito recto de rodamiento sobre una superficie gruesa de 0,5 pulgadas (12,7 mm) dentro de una hora después de la colocación, en condiciones de aplicación específicas. Para que el tránsito pueda detenerse y arrancar, puede ser necesario tiempo de curado adicional.

3. ESPECIFICACIONES

Por lo general, no se requiere especificar todos los ensayos para cada proyecto. La compilación de los resultados de los ensayos mencionados debería indicar el rendimiento del sistema. El sistema no necesariamente será descalificado si no logra cumplir los requisitos de un ensayo individual. Si, por ejemplo, el sistema a utilizar en el proyecto tiene registros de buen rendimiento, pueden no aplicarse un ensayo individual. La agencia y los métodos de ensayo se mencionan en el anexo (ver anexo A) y forman parte de estas pautas.

4. MATERIALES

4.1 ASFALTO EMULSIONADO

4.1.1 GENERAL

El asfalto emulsionado debe ser modificado con polímeros. El material del polímero debe estar fresado o fusionado con el asfalto o la solución emulsionante antes del proceso de emulsificación. En general, se considera mínimo un tres por ciento (3%) de sólidos de polímero, basado en el peso del asfalto.

Continuación del anexo 1.

ISSA A143
Revisado en febrero de 2010

4.1.2 ENSAYOS DE CALIDAD

El asfalto emulsionado y el residuo del asfalto emulsionado deben cumplir los requisitos de AASHTO M 208 o ASTM D 2397 para CQS-1h, con las siguientes excepciones:

ENSAYO	MÉTODO DE ENSAYO		ESPECIFICACIÓN
	AASHTO	ASTM	
Estabilidad de asentamiento y almacenamiento del asfalto emulsionado	T 59	D 6930	1% máximo
Destilación del asfalto emulsionado	T 59	D 6997	62% mínimo
Ensayos en residuo de asfalto emulsionado			
Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola)	T 53	D 36	135°F (57°C) mínimo
Penetración de materiales bituminosos a 77°F (25°C)	T 49	D 5	40-90 ²

¹ La temperatura para este ensayo debe mantenerse a 350°F (177°C) durante 20 minutos.

² Deben considerarse las condiciones climáticas al establecer este rango.

El ensayo de solubilidad, de ser necesario, debe evaluarse en la base asfalto.

Cada carga de asfalto emulsionado será acompañada por un Certificado de Análisis/Cumplimiento que indique que la emulsión cumple la especificación.

4.2 AGREGADO

4.2.1 GENERAL

El agregado mineral utilizado será del tipo especificado para los requisitos de aplicación particulares de la micro pavimentación. El agregado será de piedra molida, como por ejemplo: granito, escoria, caliza, sílex u otro agregado de alta calidad, o una combinación de estos. Para asegurarse de que el material esté completamente molido, el agregado madre será mayor que la piedra más grande de la gradación utilizada.

4.2.2 ENSAYOS DE CALIDAD

El agregado debería cumplir los valores de pulido especificados por la agencia y estos requisitos mínimos:

ENSAYO	MÉTODO DE ENSAYO		ESPECIFICACIÓN
	AASHTO	ASTM	
Equivalente de arena, suelos y agregados finos	T 176	D 2419	65 mínimo
Solidez de agregados por medio de sulfato de sodio o sulfato de magnesio	T 104	C 88	15% máximo c/Na ₂ SO ₄ , 25% máximo c/MgSO ₄
Resistencia a la degradación de agregado grueso de pequeño tamaño por abrasión e impacto en la máquina Los Angeles	T 96	C 131	30% máximo

¹ El ensayo de abrasión se realiza en el agregado madre.

Continuación del anexo 1.

ISSA A143
Revisado en febrero de 2010

4.2.3 GRADACIÓN

Cuando se realice el ensayo según AASHTO T 27 (ASTM C 136) y AASHTO T 11 (ASTM C 117), la gradación del agregado del diseño para la mezcla se encontrará dentro de una de los siguientes grupos (o en uno reconocido por la autoridad de pavimentación local):

TAMIZ TAMAÑO	TIPO II PORCENTAJE QUE PASA	TIPO III PORCENTAJE QUE PASA	RESERVAS TOLERANCIA
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 µm)	30 - 50	19 - 34	± 5%
# 50 (330 µm)	18 - 30	12 - 25	± 4%
#100 (150 µm)	10 - 21	7 - 18	± 3%
#200 (75 µm)	5 - 15	5 - 15	± 2%

La gradación de las reservas de agregado no variará por más que la tolerancia de las reservas de la gradación del diseño de mezcla (indicado en la tabla anterior). Al mismo tiempo, debe encontrarse en el grupo de gradación de la especificación. El porcentaje de agregado que pase dos tamices sucesivos no cambiará de un extremo del rango especificado al otro extremo.

El agregado será aceptado en el sitio de trabajo o en la reserva basado en cinco ensayos de gradación acordes a AASHTO T 2 (ASTM D 75). Si el promedio de los cinco ensayos se encuentra dentro del margen de tolerancia de las reservas de la gradación del diseño de la mezcla, el material será aceptado. Si el promedio de esos resultados se encuentra fuera de la especificación o del margen de tolerancia, el contratista tendrá la opción de quitar el material o de fusionar agregado adicional con el material de reserva para alcanzar los parámetros. Los materiales utilizados en la fusión deben cumplir las especificaciones de ensayos de calidad del agregado que se exigen en la Sección 4.2.2 antes de fusionarlos, y el procedimiento debe realizarse de manera que produzca una gradación consistente. La fusión de agregados puede requerir un nuevo diseño de mezcla.

Será necesario tamizar las reservas si se presentan problemas creados por materiales de tamaño excesivo presentes en la mezcla.

Tipo II. Esta gradación de agregado se utiliza para rellenar huecos de la superficie, reparar problemas del pavimento, sellar y brindar una superficie durable.

Tipo III. Esta gradación de agregado brinda máxima resistencia ante el deslizamiento y una superficie de menor desgaste. Este tipo de superficie de micro pavimento es apropiado para pavimentos de alto tránsito, relleno de baches o para ser colocado en superficies muy texturadas que requieran un agregado de mayor

Continuación del anexo 1.

ISSA A143
Revisado en febrero de 2010

tamaño para rellenar huecos.

Continuación del anexo 1.

ISSA A143
Revisado en febrero de 2010

4.3 RELLENO MINERAL

Puede utilizarse relleno mineral para mejorar la consistencia de la mezcla y ajustar las propiedades de fractura y curado de la mezcla. Puede utilizarse cemento Portland, hidróxido de calcio, polvo de caliza, cenizas volantes u otros rellenos que cumplan los requisitos de ASTM D 242, si así lo requiere el diseño de la mezcla. Los niveles típicos de uso son de entre un 0,0 y un 3,0 por ciento y pueden considerarse parte de la gradación del agregado.

4.4 AGUA

El agua debe estar libre de sales perjudiciales y contaminantes. Si la calidad del agua está en duda, se la debe entregar al laboratorio junto con la demás materia prima para el diseño de la mezcla.

4.5 ADITIVOS

Pueden utilizarse aditivos para acelerar o retardar la fractura/fraguado del micro pavimento. Los aditivos adecuados y su campo de uso aplicable deben ser aprobados por el laboratorio como parte del diseño de la mezcla.

Continuación del anexo 1.

ISSA A143
Revisado en febrero de 2010

4.3 RELLENO MINERAL

Puede utilizarse relleno mineral para mejorar la consistencia de la mezcla y ajustar las propiedades de fractura y curado de la mezcla. Puede utilizarse cemento Portland, hidróxido de calcio, polvo de caliza, cenizas volantes u otros rellenos que cumplan los requisitos de ASTM D 242, si así lo requiere el diseño de la mezcla. Los niveles típicos de uso son de entre un 0,0 y un 3,0 por ciento y pueden considerarse parte de la gradación del agregado.

4.4 AGUA

El agua debe estar libre de sales perjudiciales y contaminantes. Si la calidad del agua está en duda, se la debe entregar al laboratorio junto con la demás materia prima para el diseño de la mezcla.

4.5 ADITIVOS

Pueden utilizarse aditivos para acelerar o retardar la fractura/fraguado del micro pavimento. Los aditivos adecuados y su campo de uso aplicable deben ser aprobados por el laboratorio como parte del diseño de la mezcla.

Continuación del anexo 1.

5. EVALUACIÓN DE LABORATORIO

5.1 GENERAL

Antes de comenzar el trabajo, el contratista debe entregar un diseño de mezcla firmado que abarque los materiales específicos que utilizará en el proyecto. El diseño será realizado por un laboratorio que tenga experiencia en el diseño de micro pavimentos. Después de que se apruebe el diseño de la mezcla, no se permitirá la sustitución de ningún material a menos que así lo apruebe el representante autorizado del comprador.

ISSA puede brindar una lista de laboratorios que cuenten con experiencia en el diseño de micro pavimentos.

5.2 DISEÑO DE MEZCLA

En el diseño de la mezcla se evaluará la compatibilidad del agregado, del asfalto emulsionado modificado con polímeros, el agua, el relleno y mineral y otros aditivos. El diseño de la mezcla se completará utilizando materiales congruentes con los suministrados por el contratista del proyecto. Los ensayos y valores recomendados son los siguientes:

ENSAYO	ISSA TB NO.	ESPECIFICACIÓN
Tiempo de mezcla a 77°F (25°C)	TB 113	Controlable hasta 120 segundos mínimo
Cohesión húmeda		
a 30 minutos mínimo (fraguado)	TB 139	12 kg-cm mínimo
a 60 minutos mínimo (tránsito)		20 kg-cm o mínimo de espín cercano
Decapado húmedo	TB 114	Paso (90% mínimo)
Pérdida por abrasión húmeda		
Remojo de una hora	TB 100	50 g/ft ² (538 g/m ²) máximo
Remojo de seis días		75 g/ft ² (807 g/m ²) máximo
Desplazamiento lateral		5% máximo
Gravedad específica después de 1,000 ciclo de 125 lb (56,71 kg)	TB 147	2,10 máximo
Asfalto excesivo por adhesión de arena LWT	TB 109	50 g/ft ² (538 g/m ²) máximo
Compatibilidad de clasificación	TB 144	Mínimo de 11 grados (AAA, BAA)

El ensayo de abrasión húmeda se realiza bajo condiciones de laboratorio como parte del proceso de diseño de la mezcla. El objetivo de este ensayo es determinar el contenido mínimo de asfalto necesario en un sistema de micro pavimento. El ensayo de abrasión húmeda no se recomienda como ensayo de control de calidad en terreno real ni como ensayo de aceptación. ISSA TB 136 describe las causas potenciales de la inconsistencia en los resultados del ensayo de abrasión húmeda.

El ensayo de mezclado se utiliza para predecir durante cuánto tiempo se puede mezclar el material antes de que comience a fracturarse. Puede ser de gran utilidad verificar fuentes consistentes de materiales. El laboratorio debe verificar que los tiempos de mezclado y fraguado sean apropiados para las condiciones climáticas esperadas durante el proyecto.

El laboratorio también informará los efectos cuantitativos del contenido de humedad por peso unitario del agregado (efecto de abultamiento) de acuerdo con AASHTO T19 (ASTM

Continuación del anexo 1.

ISSA A143
Revisado en febrero de 2010

C29).

El porcentaje de cada material individual requerido se mostrará en el informe de laboratorio. Pueden ser necesarios ajustes dentro de los rangos específicos del diseño de la mezcla, según las condiciones de la obra.

Los materiales componentes será diseñados dentro de los siguientes límites:

MATERIALES COMPONENTES	LIMITES SUGERIDOS
Asfalto residual	5,5 - 10,5% por peso en seco del agregado
Relleno mineral	0,0 - 3,0% por peso en seco del agregado
Contenido de polímero	Mínimo de 3,0% de sólidos basados en el contenido del peso del bitumen
Aditivos	Según sean necesarios
Agua	Según sea necesaria para lograr la consistencia adecuada de la mezcla

6. EQUIPOS

6.1 GENERAL

Todos los equipos, herramientas y máquinas utilizadas en la aplicación de micro pavimentos deben mantenerse en condiciones satisfactorias de trabajo en todo momento.

6.2 EQUIPOS DE MEZCLADO

La máquina estará específicamente diseñada y fabricada para aplicar micro pavimentos. El material será mezclado por una mezcladora para micro pavimentación secuenciada automáticamente y autopropulsada. Debe ser una unidad de mezclado de flujo continuo que entregue y mida los componentes de la mezcla a través de un mezclador giratorio de paletas múltiples y doble eje. Se requiere suficiente capacidad de almacenamiento para todos los componentes de la mezcla, a fin de mantener un suministro adecuado para los controles de medición.

Al especificar una máquina continua para minimizar las juntas transversales, la máquina especificada debe ser capaz de cargar materiales mientras continúa aplicando el micro pavimento. La máquina de funcionamiento continuo estará equipada para brindarle al operador control total de la velocidad, tanto hacia adelante como hacia atrás, durante la aplicación. Debe estar equipado con estaciones de accionamiento de lado opuesto para permitir la alineación. El dispositivo de carga autónoma, las estaciones de accionamiento de lado opuesto y los controles de velocidad hacia adelante y hacia atrás formarán parte del diseño del fabricante original.

6.3 DISPOSITIVOS DE MEDICIÓN

Se brindarán y etiquetarán adecuadamente controles individuales de volumen o de peso para medir los componentes de la mezcla. Estos dispositivos de medición se utilizan en la calibración de los materiales para determinar la salida del material en todo momento.

6.4 EQUIPOS DE ESPARCIMIENTO

-8-

Continuación del anexo 1.

ISSA A143
Revisado en febrero de 2010

La mezcla debe agitarse y esparcirse de manera uniforme en la caja de pavimentación utilizando paletas de ejes mellizos o barrenas espirales fijadas en la esparcidora. Se utilizará un sello frontal para asegurar que no se pierda mezcla en el punto de contacto con la ruta o calle. El sello posterior actuará como cierre final y será ajustable. La esparcidora y el rasador posterior estarán designados y operados de manera que se logre una consistencia uniforme y se entregue un flujo de material libre al rasador posterior. La esparcidora tendrá los medios adecuados como para mover la caja hacia los lados a fin de compensar las variaciones de la configuración del pavimento.

6.4.1 RASADOR SECUNDARIO

Se facilitará un rasador secundario para mejorar la textura de la superficie. El rasador secundario será ajustable, a fin de adaptarse al ancho de la esparcidora y permitir presiones variables para controlar la textura de la superficie.

6.4.2 EQUIPOS DE RELLENADO DE BACHES

Cuando los planes del proyecto así lo requieran, el material de micro pavimentación puede utilizarse para rellenar baches, cortes, depresiones en la superficie existente, etc. Los baches de 0,5 pulgadas (12,7 mm) o mayor profundidad deben rellenarse de manera independiente con una máquina para rellenar baches, de un ancho de 5 pies (1,5 m) o 6 pies (1,8 m). Los baches de más de 1,5 pulgadas (38,1 mm) de profundidad pueden requerir múltiples aplicaciones con la máquina para restaurar las secciones. Cuando los baches o las deformaciones sean de menos de 0,5 pulgadas (12,7 mm), puede aplicarse una capa niveladora en todo el ancho, por medio de la esparcidora, utilizando un rasador de metal o de goma rígida. Aplique a un ritmo suficiente para nivelar la superficie del pavimento. La capa niveladora puede, o no, cumplir el ritmo de aplicación sugerido en la tabla de la Sección 11.2. Todo el material de relleno y nivelación debe curarse bajo el tránsito durante al menos veinticuatro (24) horas antes de colocar material adicional.

6.5 EQUIPOS AUXILIARES

El contratista brindará los equipos adecuados para la preparación de la superficie, equipos para el control del tránsito, herramientas manuales y otros equipos complementarios y de seguridad necesarios para realizar el trabajo.

7. CALIBRACIÓN

Cada unidad de mezclado se utilizada para llevar a cabo el trabajo será calibrada en la presencia del representante autorizado del comprador antes de comenzar el proyecto. Se aceptará documentación de calibración previa que cubra exactamente los mismos materiales, siempre que no hayan pasado más de 60 días. La documentación incluirá una calibración individual de cada material en diferentes contextos, que puede relacionarse con los dispositivos de regulación de la máquina. Cualquier reemplazo de un componente que afecte la medición del material exige que la máquina sea calibrada nuevamente. No se permitirá que ninguna máquina se utilice en el proyecto hasta que su calibración haya sido completada y/o aceptada. El Manual del inspector de ISSA describe un método de calibración de máquinas. Los contratistas de ISSA y/o otros fabricantes de máquinas también pueden ofrecer métodos de calibración de máquinas.

Continuación del anexo 1.

ISSA A143
Revisado en febrero de 2010

8. LIMITACIONES CLIMÁTICAS

El micro pavimento no se aplicará si la temperatura atmosférica o la del pavimento se encuentra por debajo de los 50°F (10°C) o menos, pero puede aplicarse cuando tanto la temperatura atmosférica como la del pavimento se encuentren por encima de 45°F (7°C). No se aplicarán micro pavimentos cuando exista la posibilidad de afrontar temperaturas extremadamente bajas en el sitio del proyecto dentro de 24 horas después de la aplicación. El micro pavimento no será aplicado cuando las condiciones climáticas prolonguen la apertura al tránsito más allá del tiempo razonable.

9. NOTIFICACIÓN Y CONTROL DEL TRÁNSITO

9.1 NOTIFICACIÓN

Debe notificarse a los residentes y empresas de la zona afectados por el proceso de construcción al menos con un día de anticipación. Si el trabajo no se realizara el día especificado, debe distribuirse una nueva notificación. La notificación debe presentarse de forma escrita y debe aclarar la hora y fecha en la que se realizará la pavimentación. De ser necesario, deben colocarse señales de tránsito en el área de realización del proyecto.

9.2 CONTROL DEL TRÁNSITO

Deben colocarse dispositivos de control del tránsito de acuerdo con los requisitos de la agencia y, si corresponde, conforme a los requisitos del Manual de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito. Abrir la calle al tránsito no indica que se aceptará el trabajo como terminado.

10. PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE

10.1 GENERAL

Inmediatamente antes de aplicar el micro pavimento, debe eliminarse todo el material suelto, machas de lodo, vegetación y otro material inaceptable de la superficie. Se aceptará cualquier método de limpieza estándar. Si se utiliza agua, debe permitirse que las grietas se sequen bien antes de aplicar el micro pavimento. Deben protegerse alcantarillas, cajas de válvulas, rejillas y otras entradas de servicio del slurry seal mediante un método adecuado. El representante autorizado del comprador aprobará la preparación de la superficie antes de colocar el pavimento.

10.2 CAPA LIGANTE

Normalmente, no se requiere una capa ligante a menos que la superficie a cubrir esté extremadamente seca y disgregada o sea de concreto o ladrillo. De ser necesario, el asfalto emulsionado debe ser SS, CSS o la emulsión de micro pavimento. Consulte con el proveedor de la emulsión de micro pavimento para determinar la estabilidad de dilución. La capa ligante puede consistir en una parte de asfalto emulsionado/tres partes de agua y debe aplicarse con un distribuidor estándar. El distribuidor debe ser capaz de aplicar la dilución de forma pareja a un ritmo de 0,05-0,15 gal/yd² (0,23-0,68 l/m²) Debe permitirse que la capa ligante cure lo suficiente antes de aplicar el micro pavimento. Si se requiere una capa ligante, debe asentarse en los planes del proyecto.

10.3 GRIETAS

Continuación del anexo 1.

ISSA A143
Revisado en febrero de 2010

Se recomienda tratar las grietas que superen los 0,25" (0,64 cm) de ancho en la superficie del pavimento con un sellador aprobado antes de aplicar slurry seal.

Continuación del anexo 1.

ISSA A143
Revisado en febrero de 2010

11. APLICACIÓN

11.1 GENERAL

De ser necesario, debe colocarse una tira de ensayo en condiciones similares a las que se espera encontrar durante el proyecto.

Cuando las condiciones locales lo permitan, la superficie será nebulizada con agua antes de utilizar la esparcidora. El ritmo de aplicación del fog puede ajustarse a los cambios de temperatura, textura de la superficie, humedad y sequedad del pavimento.

El micro pavimento debe tener la consistencia apropiada al salir de la mezcladora. Debe colocarse suficiente cantidad del material en todas las partes de la esparcidora en todo momento, a fin de que pueda obtenerse una cobertura completa. Evite sobrecargar la esparcidora. No se permite utilizar agregado con aglomeraciones o partes sin mezclar. No se permitirá que la máquina coloque agregado seco o que este se presente de antemano en la superficie.

No se dejarán vetas, como las producidas por agregado de tamaño excesivo o mezclas fracturadas, en la superficie terminada. Si se producen vetas excesivas, el trabajo será detenido hasta que el representante autorizado del comprador compruebe que el problema se haya corregido. Las vetas excesivas se definen como más de cuatro marcas de arrastre de más de 0,5 pulgadas (12,7 mm) de ancho y 4,0 pulgadas (101 mm) de largo o 1,0 pulgadas (25,4 mm) de ancho y 3,0 pulgadas (76,2 mm) de largo, en cualquier área de 29,9 yd² (25 m²). No se permitirán ondas ni vetas longitudinales de 0,25 pulgadas (6,4 mm) de profundidad, cuando se las mida colocando un borde recto de 10 pies (3 m) sobre la superficie.

11.2 RITMO DE APLICACIÓN

La mezcla de micro pavimento tendrá una consistencia adecuada en todo momento, a fin de brindar el ritmo de aplicación requerido por la condición de la superficie. El ritmo de aplicación promedio se calculará según la siguiente tabla:

TIPO DE AGREGADO	UBICACIÓN	RITMO DE APLICACIÓN SUGERIDO
Tipo II	Calles urbanas y residenciales Pistas en aeropuertos Capa niveladora	10 - 20 lb/yd ² (5,4 - 10,8 kg/m ²) Según sea necesario
Tipo III	Rutas principales e interestatales Baches de ruedas Capa niveladora	15 - 30 lb/yd ² (8,1 - 16,3 kg/m ²) Según sea necesario (véase Anexo B) Según sea necesario

Los ritmos de aplicación sugeridos se basan en el peso del agregado seco en la mezcla. Los ritmos de aplicación se ven afectados por el peso unitario y la gradación del agregado y la demanda de la superficie en la que se esté aplicando el micro pavimento.

11.3 JUNTAS

No se permitirán acumulaciones, áreas descubiertas ni terminaciones antiestéticas en juntas longitudinales o transversales. El contratista contará con equipos esparcidores del ancho adecuado para producir la cantidad mínima de juntas longitudinales durante el proyecto. Cuando sea posible, se colocarán juntas longitudinales en caminos. Se

Continuación del anexo 1.

ISSA A143
Revisado en febrero de 2010

utilizarán pasadas de ancho parcial cuando sean necesarias y no cuando sea la última pasada de ningún área pavimentada. Se permitirá una superposición de las juntas longitudinales de un máximo de 3,0" (76,2 cm). Además, la junta no tendrá más de 0,25 pulgadas (6,4 mm) de diferencia en la elevación cuando se la mida colocando un borde recto de 10 pies (3 m) sobre la junta y medir la diferencia de elevación.

11.4 MEZCLA

El micro pavimento tendrá la estabilidad suficiente como para que no ocurra la fractura prematura del material en la esparcidora. La mezcla será homogénea durante y después del mezclado y esparcimiento. No presentará líquidos en exceso que produzcan la segregación del agregado. No se permitirá rociar agua adicional dentro de la esparcidora.

11.5 TRABAJO MANUAL

Las áreas a las que no se pueda acceder con la mezcladora serán pavimentadas utilizando escobillas de goma manuales a fin de lograr una cobertura completa y uniforme. De ser necesario, el área donde se trabajará manualmente debe ser ligeramente humedecida antes de colocar la mezcla. En la medida de lo posible, el trabajo manual presentará la misma terminación que si fuera aplicado por la esparcidora. Todo el trabajo manual debe completarse antes de la pavimentación final.

11.6 LÍNEAS

Las líneas en las intersecciones, cordones y arceos se mantendrán rectos para brindar una buena apariencia. De ser necesario, se utilizará un material adecuado para enmascarar los extremos de las calles para lograr líneas rectas. Las líneas longitudinales no variarán por más de ± 2 pulgadas (± 51 mm) variación horizontal en longitudes de 96 pies (29 m).

11.7 LAMINACIÓN

La laminación por lo general no es necesaria para el micro pavimento en rutas. Las áreas aeroportuarias y de estacionamiento deben laminarse mediante una apisonadora de neumáticos autopropulsada de 10 toneladas (como máximo), equipada con un sistema de rocío de agua. Todos los neumáticos deben inflarse según las especificaciones del fabricante. El laminado no se debe comenzar hasta que el micro pavimento se haya curado lo suficiente como para evitar que la apisonadora produzca daños. Las áreas que requieran laminado recibirán un mínimo de dos (2) pasadas de cobertura completa.

11.8 LIMPIEZA

El representante autorizado del comprador eliminará el micro pavimento de todas las áreas de acceso, cunetas e intersecciones. El contratista eliminará todos los residuos asociados con la relación del trabajo diariamente.

12. CONTROL DE CALIDAD

12.1 INSPECCIÓN

Los inspectores asignados a los proyectos debe estar familiarizado con los materiales, los equipos y la aplicación del micro pavimento. Las condiciones locales y las exigencias del proyecto específico deben tenerse en cuenta al determinar los parámetros de la inspección de la obra.

Continuación del anexo 1.

ISSA A143
Revisado en febrero de 2010

La consistencia adecuada de la mezcla será una de las áreas de mayor preocupación para el inspector. Si las mezclas están muy secas, la superficie de la placa presentará vetas, bultos o rugosidad. Las mezclas que estén demasiado húmedas en el momento de la aplicación se dispersarán en exceso y no conservarán las líneas rectas. Los líquidos excesivos también pueden dar lugar a una superficie rica en asfalto con segregación.

12.2 MATERIALES

Con respecto al abultamiento del agregado, es responsabilidad del contratista verificar el contenido de humedad de la reserva y configurar la máquina correctamente. Con discreción del representante autorizado del comprador, los ensayos de materiales se realizarán en muestras representativas del agregado y la emulsión. Se realizarán ensayos a cargo del comprador. El comprador debe notificar al contratista de inmediato si algún ensayo no cumple con las especificaciones.

12.3 MICRO PAVIMENTACIÓN

Si se lo solicita, pueden tomarse muestras representativas de micro pavimento directamente de la máquina de micro pavimentación. Los ensayos sobre el contenido del asfalto residual (ASTM D2172) pueden realizarse en las muestras a cargo del comprador. El comprador debe notificar al contratista de inmediato si algún ensayo no cumple con las especificaciones. Los datos obtenidos de los dispositivos de medición de la máquina de micro pavimentación pueden utilizarse para determinar las cantidades y la proporción de aplicación de los materiales individuales.

12.4 NO CUMPLIMIENTO

Si fallan dos ensayos sucesivos realizados al agregado de reserva, debe detenerse el trabajo. Si fallan dos ensayos sucesivos en la mezcla de la misma máquina, entonces debe suspenderse el uso de la máquina. Será responsabilidad del contratista, a su costo, demostrarle al representante autorizado del comprador que se han corregido los problemas.

13. MÉTODO DE MEDICIÓN

13.1 ÁREA

En proyectos más pequeños, el método de medición y pago por lo general se basa en el área cubierta, medida en pies cuadrados, yardas cuadradas o metros cuadrados.

13.2 TONELADAS Y GALONES

En proyectos más grandes de más de 50,000 yd² (41,806 m²), la medición y el pago por lo general se basan en las toneladas del agregado y los galones (litros) del asfalto emulsionado utilizado.

Deben utilizarse los recibos de entrega de agregado o los recibos impresos de las balanzas certificadas en el área para realizar la medición. El asfalto emulsionado utilizado en el proyecto se medirá por medio de los recibos certificados para cada carga entregada. El asfalto emulsionado no utilizado se deducirá del total del trabajo.

Continuación del anexo 1.

ISSA A143
Revisado en febrero de 2010

14. PAGO

El micro pavimento se pagará por área unitaria o por el peso del agregado y del asfalto emulsionado utilizado en el proyecto y aceptado por el representante autorizado del comprador. El pago compensará por completo todos los gastos de preparación, mezclado y aplicación de materiales y por toda la mano de obra, equipos, herramientas, ensayos, limpieza e imprevistos necesarios para completar el trabajo.

Continuación del anexo 1.

ISSA A143
Revisado en febrero de 2010

APÉNDICE A

AGENCIAS

AGENCIAS

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials [Asociación americana de oficiales de carreteras estatales y transportes]
ASTM: American Society for Testing and Materials [Asociación americana de pruebas de materiales]
ISSA: INTERNATIONAL SLURRY SURFACING ASSOCIATION

MÉTODOS DE ENSAYO

ASFALTO EMULSIONADO

ENSAYO AASHTO NO.	ENSAYO ASTM NO.	ENSAYO
M 208	D 2397	Especificación para asfalto emulsionado catiónico
T 59	D 6930	Estabilidad de asentamiento y almacenamiento de asfalto emulsionado
T 59	D 6997	Destilación de asfalto emulsionado (Este método de ensayo puede ser modificado utilizando temperaturas más bajas.)
T 40	D 140	Muestreo de materiales bituminosos
T 59	D 244	Métodos y prácticas de ensayo para asfaltos emulsionados

RESIDUO DE ASFALTO EMULSIONADO

ENSAYO AASHTO NO.	ENSAYO ASTM NO.	ENSAYO
T 53	D 36	Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola)
T 49	D 5	Penetración de materiales bituminosos

Continuación del anexo 1.

ISSA A143
Revisado en febrero de 2010

APÉNDICE A
MÉTODOS DE ENSAYO (CONTINUACIÓN)

AGREGADO Y RELLENO MINERAL

ENSAYO AASHTO NO.	ENSAYO ASTM NO.	ENSAYO
T 176	D 2419	Equivalente de arena, suelos y agregados finos
T 104	C 88	Solidez de agregados por medio de sulfato de sodio o sulfato de magnesio
T 96	C 131	Resistencia a la degradación de agregado grueso de pequeño tamaño por abrasión e impacto en la máquina Los Angeles (Este ensayo debe realizarse en la roca madre utilizada para moler la gradación más fina del material de micro pavimentación)
T 27	C 136	Análisis de tamiz de agregado fino y grueso
T 11	C 117	Método estándar de prueba para materiales que pasan el tamiz de 75µm (No. 200) en agregados minerales mediante lavado
T 2	D 75	Muestreo de agregados
	D 242	Relleno mineral para mezclas de pavimentación bituminosas
T 19	C 29	Densidad ("peso unitario") y vacíos en agregados

DISEÑO DE MEZCLA

ENSAYO ISSA NO.	ENSAYO
A143	Diseño estándar, prueba y construcción de micropavimento
TB 100	Abrasión en pista húmeda de slurry seals
TB 109	Asfalto excesivo por adhesión de arena LWT
TB 113	Tiempo de mezcla
TB 114	Ensayo para decapado húmedo de mezclas de superficies curadas de tipo slurry
TB 136	Causas de inconsistencia de resultados del ensayo de abrasión en pista húmeda (WTAT)
TB 144	Clasificación de compatibilidad mediante procedimientos Schulze-Breuer y Ruck

NOTAS:

ASTM D 6372, Standard Practice for Design, Testing, and Construction of Micro Surfacing, es una referencia combinada de los boletines técnicos de ISSA mencionados con anterioridad.

ASTM D 2172, Standard Test Methods for Quantitative Extraction of Bitumen From Bituminous Paving Mixtures se menciona en la Sección 12.3.

Continuación del anexo 1.

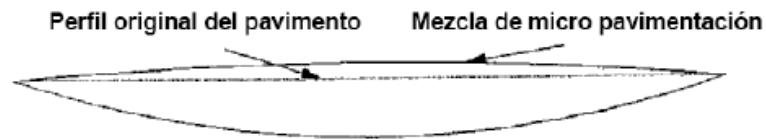
ISSA A143
Revisado en febrero de 2010

APÉNDICE B

REPERFILADO DE CAMINOS DE RODADOS CON BACHES CON MICRO PAVIMENTACIÓN

Regla general

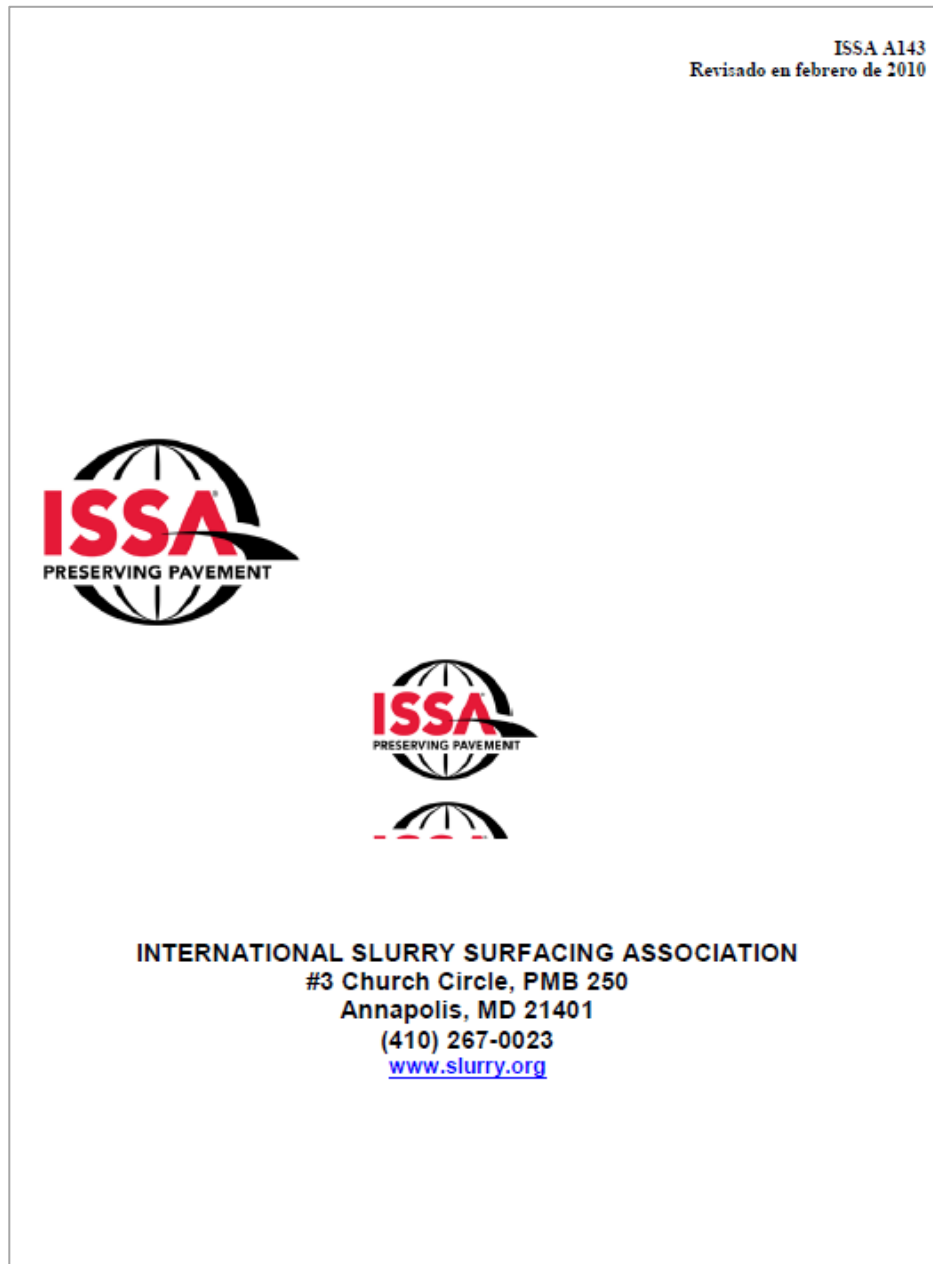
Para cada pulgada (mm) de mezcla de micro pavimentación, añada 0,125 pulgadas (3,2 mm) a 0,25 pulgadas (6,4 mm) como corona para permitir la compactación bajo el tránsito.



Bache en el camino de rodados

Profundidad de baches		Cantidad de micro pavimento necesaria	
0,5 - 0,75"	(12,7 - 19,1 mm)	20 - 30 lb/yd ²	(10,8 - 16,3 kg/m ²)
0,75 - 1,00"	(19,1 - 25,4 mm)	25 - 35 lb/yd ²	(13,6 - 19,0 kg/m ²)
1,00 - 1,25"	(25,4 - 31,75 mm)	28 - 38 lb/yd ²	(15,2 - 20,6 kg/m ²)
1,25 - 1,50"	(31,75 - 38,1 mm)	32 - 40 lb/yd ²	(17,4 - 21,7 kg/m ²)

Continuación del anexo 1.



Fuente: ISSA. *Norma de rendimiento recomendada para micro pavimentación.* p. 1-19.