

Mezclas asfálticas

Mezclas asfálticas en frío en Costa Rica, conceptos, ensayos y especificaciones

Ing. Mónica Jiménez Acuña
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
mjimenez@lanamme.ucr.ac.cr
Ing. Denia Sibaja Obando
Instituto Costarricense de Electricidad (ICE)
dsibaja@gmail.com
Doris Molina Zamora
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
asistenteui@lanamme.ucr.ac.cr

Fecha de recepción: 09 de diciembre del 2008

Fecha de aprobación: 27 de enero del 2009

Resumen

Las mezclas asfálticas en frío se vuelven atractivas, como una alternativa en contraposición con el uso de las mezclas asfálticas en caliente, debido a la creciente necesidad de encontrar soluciones que representen una economía en las inversiones, y que al mismo tiempo permitan un desarrollo sostenible. Es por esta razón que se considera importante que en Costa Rica se inicie la revisión y estudio de las ventajas de la aplicación de esta tecnología.

La producción de estas mezclas implica un ahorro en el consumo de energía, así como, una reducción en la generación de vapores tóxicos y polvo.

Como ventaja que presentan este tipo de mezclas está su versatilidad, pues permite utilizar una gran variedad de agregados y tipos de emulsiones; además, pueden ser utilizadas en condiciones ambientales diversas.

Cuando se trata de capas de rodamiento, las mezclas frías de graduación densa se utilizan típicamente para tránsitos medios y livianos, pero las de graduación abierta se han utilizado con éxito para tránsitos pesados.

Para la reparación de deterioros, como roturas de la superficie, se podrán utilizar las mezclas en frío, seleccionando la que más se adapte a las características del deterioro.

Debido a estas razones es importante profundizar en el conocimiento de esta tecnología, en sus posibles usos y especificaciones para poder aplicarla correctamente en nuestro medio.

Es necesario realizar una revisión de los ensayos de laboratorio que se utilizan para el diseño y caracterización de desempeño de estas mezclas, tanto para los componentes, como para la combinación de éstos.

Luego de la conceptualización y diseño de esta alternativa, es necesario hacer hincapié en los procesos constructivos que produzcan un desempeño adecuado de esta tecnología.

La decisión del uso de estas mezclas, dependerá de algunas consideraciones tales como: la comparación técnica-económica, la magnitud y lugar de emplazamiento de la obra, el tránsito, las condiciones climáticas reinantes, entre otras. La finalidad de esta investigación será brindar las bases para que esta alternativa de mantenimiento sea aprovechada junto con todas las ventajas que ofrece al determinar las

técnicas más idóneas para su diseño en laboratorio, construcción, así como el proceso de verificación / control de calidad.

Palabras clave: mezcla asfáltica en frío, mantenimiento.

Abstract

Asphalt cold mixes become attractive as an alternative compared to asphalt hot mixes due to the increase of the necessity to find economic solutions in the investments at the same time to have a sustainable development. For this reason, it is consider important for Costa Rica to begin with the revision and study of the advantages in the application of this technology.

The production of asphalt cold mixes implicates savings in the energy consumption and the reduction of noxious fumes and dust.

An advantage of this type of mixes is their versatility, which permits the use of a large variety of aggregates and emulsions types, also they can be used in diverse enviromental conditions.

For surface applications, dense graded cold mixes are used for light and medium traffic, but open graded are used for heavy traffic.

For the repairation of potholes, cold mixes are a good selection as long as the material adjusts the pavement characteristics.

On this research the asphalt cold mix technique, was studied in depth in the possible uses and specifications to ensure a correct application in our environment.

Also, a review of the laboratory tests that are used for mix design and to characterize the performance, were made for both, the components and the asphalt mix.

After the theoretical approach, it is necessary to emphasize in the construction process to produce a long lasting asphalt cold mix.

The decision to use these mixes depends in the following considerations: the technical-economical comparison, the importance and the location of the construction site, traffic, climate conditions among others. The objective of this study is to bring the bases for this maintenance technique to be fully well spent in conjunction with all the advantages it brings.

Keywords: Asphalt cold mix, maintenance.

Introducción

Las preocupaciones por la conservación del medio ambiente a nivel mundial, hacen que las mezclas en frío representen una alternativa viable, pues la producción de estas mezclas implica un ahorro en el consumo de energía, así como, una reducción en la generación de vapores tóxicos y polvo.

Como ventaja de este tipo de mezclas está su versatilidad, pues permite utilizar una gran variedad de agregados y tipos de emulsiones, además, pueden ser utilizadas en condiciones ambientales diversas, ya que uno de los requerimientos es cumplir con una temperatura ambiente mayor que 10 °C, condición térmica que se puede cumplir en la mayoría de las zonas del país.

A nivel internacional se han observado buenos resultados al emplear este tipo de mezclas en las distintas capas que conforman la estructura del pavimento, como la subbase, base o capa de rodadura. Cuando se trata de capas de rodadura, las mezclas en frío de graduación densa se utilizan típicamente para tránsitos medios y livianos, pero las de graduación abierta se han utilizado con éxito para tránsitos pesados.

Para la reparación de los tipos de deterioro como roturas de la superficie, que penetran hasta la base o por debajo de ella, se podrán utilizar las mezclas en frío seleccionando, la que más se adecúe a la medida de la rotura, de acuerdo con sus características granulométricas y textura superficial.

Debido a estas razones es importante profundizar en el conocimiento de esta tecnología, en sus posibles usos y especificaciones para poder aplicarla correctamente en nuestro medio. También es necesario realizar una revisión de los ensayos de laboratorio que se utilizan para el diseño y caracterización de desempeño de estas mezclas, tanto para los componentes como para la combinación de los mismos.

La decisión del uso de estas mezclas, dependerá de algunas consideraciones tales como: la comparación técnica-económica, la magnitud y lugar de emplazamiento de la obra, el tránsito, las condiciones climáticas predominantes, entre otras. La finalidad de esta investigación será brindar las bases para que esta alternativa de pavimentación influya de manera positiva en el desarrollo de nuestro país.

Objetivos

El objetivo principal de este estudio es proveer el soporte técnico relacionado con los conceptos teóricos y prácticos, de la utilización de las mezclas asfálticas en frío, para la implementación de esta alternativa de pavimentación en Costa Rica, para lo cual se consideraron los siguientes aspectos:

- La definición de mezclas en frío y las diferentes formas de clasificarlas.
- Los procedimientos de ensayo de laboratorio (diseño y desempeño).
- Las especificaciones de calidad.

Investigación bibliográfica

Definición de mezcla asfáltica en frío

La mezcla asfáltica en frío es una mezcla de agregado mineral con o sin relleno mineral, con asfalto emulsionado o rebajado, todo el proceso se lleva a cabo a temperatura ambiente.

En la Tabla 1 se muestra un resumen de la recomendación de uso de las emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados para la fabricación de los distintos tipos de mezclas en frío.

En RECOPE sólo se produce un tipo de emulsión clasificada como CRS-1h, por lo cual según esta tabla, en Costa Rica se necesitaría comenzar a producir otros tipos de emulsiones para poder producir mezclas asfálticas en frío.

En general, las mezclas en frío se clasifican dependiendo del ligante que se utilice, la manera de mezclado, por su granulometría, si se utiliza material reciclado y finalmente, por periodo de almacenamiento. Estas clasificaciones se describen brevemente a continuación.

Clasificación según el ligante utilizado

La **mezcla asfáltica en frío con emulsión** es producida con asfalto que ha sido emulsionado en agua antes de mezclarlo con el agregado. En este estado de emulsión el asfalto es menos viscoso y la mezcla es más fácil de trabajar y compactar. La emulsión romperá luego de que suficiente agua se haya evaporado y la mezcla en frío comienza a tener una buena resistencia. Se utiliza comúnmente como material para bacheo en rutas de bajo tránsito.

Tabla 1 Guía para el uso de productos derivados del asfalto en mezclas en frío¹

| Tipo de Construcción | | | Asfaltos emulsificados | | | | | | | | Asfaltos rebajados | | | | | | |
|----------------------|----------------------|---------------------------------------|------------------------|--------------------|------------|--------|------------|---------|----------|---------|--------------------|----|-----|-----|--------------|-----|-----|
| | | | Aniónicos | | | | Catiónicos | | | | Curado medio | | | | Curado lento | | |
| | | | MS-2 HFMS - 2 | MS-2H HFMS - 2h | HFMS - 2 S | SS - 1 | SS - 1h | CMS - 2 | CMS - 2h | CCS - 1 | CCS - 1h | 70 | 250 | 800 | 3000 | 250 | 800 |
| Mezclado en planta | Base y Superficies | Agregados con granulometría abiertas | X | X | | | | X | X | | | | | | | | |
| | | Agregados bien graduados | | | X | X | X | | | X | X | | X | X | X | X | X |
| | Bacheo uso inmediato | | | | | X | X | | | X | X | | | | X | | |
| | Bacheo apilamiento | | | | | | | | | | X | X | | X | X | | |
| Mezclado en sitio | Base y Superficies | Agregados con granulometrías abiertas | X | X | | | | X | X | | | X | X | | X | X | |
| | | Agregados bien graduados | | | X | X | X | | | X | X | | X | X | | X | |
| | | Arena | | | X | X | X | | | X | X | X | X | X | | | |
| | | Suelos arenosos | | | X | X | X | | | X | X | | X | X | | | |
| | Bacheo uso inmediato | | | | X | X | X | | | X | X | | X | X | | X | |

¹ Fuente: MS-14 Manual de Mezclas Asfálticas en Frío del Instituto del Asfalto

La **mezcla con asfalto rebajado** es producida con asfalto que ha sido disuelto en keroseno u otra fracción más liviana del petróleo, antes de mezclarlo con el agregado. Luego de que la mezcla es colocada la fracción volátil se evapora. Debido a que esto resulta en contaminación del aire, el uso de asfaltos rebajados es ilegal en los Estados Unidos desde los años 70. Aunque son muy utilizados en Europa y el resto del mundo, especialmente para el reciclado de pavimentos ya oxidados.

Clasificación según el método de mezclado

Las mezclas en frío se clasifican según el método de mezclado, en dos tipos: mezclado en planta y mezclado en el sitio de pavimentación.

Las mezclas en frío mezcladas **en planta** se producen en plantas estacionarias, que permiten un control más estricto desde la producción de los materiales hasta el proporcionamiento durante el mezclado. La colocación y la compactación se hacen con los equipos convencionales de pavimentación.

Las mezclas en frío mezcladas **en el sitio**, se producen en el lugar de pavimentación por medio de plantas móviles, niveladoras, o equipo especial de mezclado en sitio.

Clasificación según el tipo de curva granulométrica

También, se pueden clasificar dependiendo del tipo de curva granulométrica de los agregados, es decir, agregado de graduación abierta o de graduación densa.

Además, existen mezclas en frío con material recuperado del pavimento que ha sido removido de su sitio original y reducido a tamaño de partícula con los procedimientos adecuados, puede ser usado para la fabricación de mezclas asfálticas mezcladas y colocadas en frío. Al material de reciclado se le puede añadir más agregado, relleno mineral o asfalto.

Clasificación según el tipo de mantenimiento

El mayor uso de mezclas en frío es en el mantenimiento, y consisten en tres tipos: “de uso inmediato”, que en muchos casos han sido patentizadas como productos previamente preparados, “de apilamiento”, cuyo uso está previsto para el largo plazo (más de 6 meses) y “de apilamiento utilizando RAP” (Reclaimed Asphalt Pavement) las cuales utilizan material recuperado en frío.

Mezclas en frío “de apilamiento”: estas mezclas pueden ser usadas luego de periodos de almacenamiento de más de 6 meses, y se mantienen trabajables sin tener que ser calentadas. Un cascarón delgado se forma en la superficie del apilamiento, pero debajo de este, la mezcla mantiene sus características.

La producción de las mezclas para apilar es una operación relativamente simple, el equipo básico requerido para producir grandes cantidades incluye un tambor mezclador y un sistema para la adecuada dosificación de los agregados y la emulsión. El control de la dosificación se realiza por peso.

La mezcla debe ser almacenada en un área limpia para evitar su contaminación. No se debe almacenar en un área baja donde el agua se pueda introducir dentro de la mezcla, por esta razón es recomendado almacenarla en un área cubierta que provea una mejor protección y ayude a mantener la trabajabilidad.

Mezclas en frío “de apilamiento” utilizando RAP:

Muchos proyectos de sobrecapas de mezcla asfáltica incluyen trabajos de fresado que pueden producir grandes cantidades de RAP. Son numerosas las aplicaciones del RAP, y una de ellas es el uso de ese material para producir mezclas de mantenimiento.

El manejo de los apilamientos es muy importante, se debe seleccionar un lugar adecuado para el material de RAP, donde este pueda ser procesado y almacenado, además es importante separarlo dependiendo de la fuente para producir apilamientos más uniformes.

La emulsión asfáltica se agrega al RAP utilizando una planta de mezclado. Los contenidos de emulsión típicos para estas mezclas están en un rango de 1 a 2.5% por peso seco de RAP. Se debe realizar un diseño de mezcla para determinar el contenido de emulsión y las proporciones de RAP.

Estas mezclas son usadas con éxito tanto en espesores delgados como gruesos para bacheo y también se pueden usar para la reparación de huecos aislados. En lugares donde los agregados gruesos y quebrados no están disponibles o son difíciles de conseguir, el uso del RAP es recomendado para la fabricación de mezclas de mantenimiento.

Mezclas en frío “de uso inmediato”: las emulsiones asfálticas pueden ser utilizadas muy efectivamente para la preparación de mezclas para mantenimiento de uso inmediato (Figura 1). La mezcla emulsión-agregado puede ser producida en un tambor mezclador y transportada al sitio donde va a ser utilizada. A pesar de que se recomienda utilizar mezcladoras de planta, se pueden producir mezclas de calidad aceptable, utilizando un distribuidor de asfalto y mezclando con una moto-niveladora o con una mezcladora de aspas.

Para obtener un buen recubrimiento y buena adhesión, no es necesario calentar los agregados, si se utiliza la emulsión adecuada.

Las emulsiones asfálticas recomendadas son: CMS-2, CMS-2h y HFMS-2s. Se pueden utilizar otros tipos de emulsiones, si la experiencia demuestra que se pueden obtener resultados satisfactorios. Los agregados deben cumplir con las especificaciones de calidad establecidas para las mezclas en frío en general. La granulometría de estas mezclas es la que se muestra más adelante.

Mezcla en frío tipo apilamiento de uso inmediato

Figura 1



Fuente: http://www.hgmeigs.com/products_cutback_asphalt.asp

Las emulsiones asfálticas contienen pequeñas cantidades de solventes, que generalmente producen el mejor resultado para las mezclas en frío, utilizadas para bacheo. La mezcla se rigidiza cuando el solvente se evapora. A la hora de dosificar el agua dentro de la mezcla, se debe tomar en cuenta el tiempo con el que se dispone para abrir el tránsito nuevamente.

Finalmente, se tienen las mezclas en frío **para bacheo** (cold patching), que pueden ser fabricadas en mezcladoras pequeñas o también vienen empacadas bajo una marca registrada.

Estas mezclas se utilizan para bacheo de emergencia, cuya duración es corta solo para evitar que el daño se extienda a las capas subyacentes o el hueco se haga más grande. Luego se somete a un tratamiento más duradero. Se aplican en climas secos y húmedos, lo cual las hace muy versátiles.

Esto se puede realizar manualmente o también se puede utilizar equipo especializado de mezclado e inyección.

Tabla 2 Métodos de ensayo que se realizan en emulsiones¹

| TIPO DE ENSAYO | DESIGNACIÓN AASHTO | DESIGNACIÓN ASTM |
|---|--|--|
| En la emulsión | | |
| Selección y uso | R 5 | D 3628 |
| Muestreo | T 40 | D 140 |
| Viscosidad Saybolt Furol a 25 °C y 50 °C | T 59 (34-38) ² | D 244 (34-38) ² |
| Porcentaje de estabilidad de almacenamiento en 24 h | T 59 (82-88) ² | D 244 (82-88) ² |
| Porcentaje de demulsibilidad en 35 ml de dioctil sulfosucinato de sodio al 0.8% | T 59 (39-44) ² | D 244 (39-44) ² |
| Recubrimiento y resistencia al agua en: Agregado seco, antes y después de lavado Agregado húmedo, antes y después de lavado | M 280 T 59 (74-81) ² | D 2397 D 244 (74-81) ² |
| Porcentaje de mezclado del cementante asfáltico | M 280 T 59 (51-57) ² | D 2397 D 244 (51-57) ² |
| Porcentaje retenido en el tamiz N° 20 | T 59 (58-63) ² | D 244 (58-63) ² |
| Tipo de carga eléctrica de la emulsión | T 59 (28-33) ² | D 244 (28-33) ² |
| Destilación Porcentaje de aceite destilado Porcentaje de residuo | T 59 (11-15) ² T 59 (21-27) ² | D 244 (11-15) ² D 244 (21-27) ² |
| En el residuo de la destilación (asfalto residual) | | |
| Penetración a 25 °C | T 49 | D 5 |
| Ductilidad a 25 °C | T 51 | D 113 |
| Porcentaje de solubilidad en tricloroetileno | T 44 | D 2042 |

¹ Fuente: Las autoras, 2008

² Los números indicados en los paréntesis indican las secciones que aplican dentro del método de ensayo

Tabla 3 Métodos de ensayo que se realizan en asfaltos rebajados de **curado medio MC** ¹

| TIPO DE ENSAYO | DESIGNACIÓN AASHTO | DESIGNACIÓN ASTM |
|--|--------------------|------------------|
| En el asfalto rebajado | | |
| Muestreo | T 40 | D 140 |
| Viscosidad cinemática a 60 °C ² | T 201 | D 2170 |
| Punto de inflamación Tag copa abierta | T 79 | D 3143 |
| Destilación a 360 °C Porcentaje por volumen a 225 °C Porcentaje por volumen a 260 °C Porcentaje por volumen a 315 °C Porcentaje de residuo | T 78 | D 402 |
| Porcentaje de agua por destilación | T 55 | D 95 |
| Ensayo de la mancha ³ Nafta estándar Solvente xileno de nafta Solvente xileno de heptano | T 102 | |
| En el residuo de la destilación (asfalto residual) | | |
| Viscosidad absoluta a 60 °C ⁴ | T 202 | D 2171 |
| Ductilidad a 25 °C | T 51 | D 113 |
| Porcentaje de solubilidad en tricloroetileno | T 44 | D 2042 |

¹ Fuente: Las autoras, 2008

² Se puede hacer como método alternativo la viscosidad Saybolt-Furol a distintas temperaturas dependiendo del grado del asfalto rebajado.

³ El uso del ensayo de la mancha es opcional.

⁴ También se puede realizar el ensayo de penetración a 25 °C.

| TIPO DE ENSAYO | DESIGNACIÓN AASHTO | DESIGNACIÓN ASTM |
|---|--------------------|------------------|
| En el asfalto rebajado | | |
| Muestreo | T 40 | D 140 |
| Viscosidad cinemática a 60 °C ² | T 201 | D 2170 |
| Punto de inflamación Cleveland copa abierta | T 48 | D 92 |
| Destilación a 360 °C | T 78 | D 402 |
| Porcentaje de agua por destilación | T 55 | D 95 |
| En el residuo de la destilación (asfalto residual) | | |
| Viscosidad cinemática a 60 °C | T 202 | D 2171 |
| Ductilidad a 25 °C | T 51 | D 113 |
| Porcentaje de solubilidad en tricloroetileno | T 44 | D 2042 |

¹ Fuente: Las autoras, 2008

² Se puede hacer como método alternativo la viscosidad Saybolt-Furol a distintas temperaturas dependiendo del grado del asfalto rebajado

| TIPO DE ENSAYO | DESIGNACIÓN AASHTO | DESIGNACIÓN ASTM |
|-----------------------------|--------------------|------------------|
| Muestreo | T 2 | D 75 |
| Cuartero a tamaño de ensayo | T 248 | C 702 |
| Granulometría | T 27 | C 136 |
| | T 11 | C 117 |
| Índice de plasticidad | T 90 | D 4318 |
| Partículas friables | T 112 | C 142 |
| Peso unitario | T 19 | C 29 |
| Caras fracturadas | - | D 5821 |
| Equivalente de arena | T 176 | C 2419 |
| Abrasión de los Ángeles | T 96 | C 131 |
| Carbonatos solubles | - | D 3042 |
| Durabilidad en sulfatos | T 104 | C 88 |
| Índice de durabilidad | T 210 | D 3744 |

¹ Fuente: Las autoras, 2008

Ensayos para los componentes y para las mezclas en frío

En la Tabla 2, se presentan los ensayos con su respectiva designación para las emulsiones, en las Tablas 3 y 4 para los asfaltos rebajados y en la Tabla 5 para los agregados.

Los ensayos que se muestran en la Tabla 6 son los que se realizan directamente a las mezclas asfálticas en frío y tienen el propósito de establecer el diseño de mezcla antes de la aplicación del material, para poder seleccionar los materiales apropiados y obtener una mezcla donde los agregados y la emulsión sean compatibles, así como, el asfalto rebajado.

Especificaciones para los componentes y para las mezclas asfálticas en frío

Las normativas internacionales consultadas, nos brindan una primera aproximación de lo que podrían ser en Costa Rica las especificaciones de calidad para las emulsiones (Tablas 7 y 8), para el asfalto rebajado (Tablas 9 y 10), agregado (Tabla 11), las granulometrías (Tablas 12, 13 y 14), para el relleno mineral (Tabla 15) y para las mezclas (Tablas 16, 17, 18 y 19).

Tabla 6 Métodos de ensayo para las mezclas en frío ¹

| TIPO DE ENSAYO | DESIGNACIÓN Instituto del Asfalto | DESIGNACIÓN AASHTO | DESIGNACIÓN ASTM |
|---|--------------------------------------|--------------------|------------------|
| Muestreo | MS-14 Apéndice D | T 168 | D 979 |
| Especificación en mezclas asfálticas en frío para su colocación | MS-14 Apéndice A, B y C | - | D 4215 |
| Procedimiento para el diseño de mezcla Marshall | MS-14 Apéndice G y H | - | - |
| Porcentaje de vacíos de aire | - | T 269 | D 3203 |
| Estabilidad y flujo Marshall a 22.2 °C | MS-14 Apéndice F.10 | T 245 | D 6926 D 6927 |
| Procedimiento para el diseño de mezcla Hveem ² | MS-14 Apéndice E y F | T 246 | D 1560 |
| Estabilidad Hveem Rt a 23 °C | MS-14 Apéndice E.08 | - | - |
| Estabilidad Hveem S a 60 °C | MS-14 Apéndice E.08 | - | - |
| Valor de cohesión C a 23 °C | MS-14 Apéndice E.08 | - | - |
| Valor de cohesión C a 60 °C | MS-14 Apéndice E.08 | - | - |
| Centrifugado equivalente de Keroseno (C.K.E.) | MS-14 Apéndice E.05 | - | - |
| Recubrimiento de las partículas | MS-14 Apéndice E.07 | - | - |
| Módulo resiliente a 23 °C | MS-14 Apéndice E.07 | - | - |

¹ Fuente: Las autoras, 2008

² Este procedimiento es distinto para mezclas preparadas con emulsión o preparadas con asfaltos rebajados

Tabla 7 Especificaciones para emulsiones aniónicas ¹

| TIPO DE ENSAYO | MS - 2 | | MS - 2h | | HFMS - 2 | | HFMS - 2h | | HFMS - 2s | | SS - 1 | | SS - 1h | |
|---|--------|-----|---------|-----|----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|--------|------|---------|------|
| | mín | máx | mín | máx | mín | máx | mín | máx | mín | máx | mín | máx | mín | máx |
| En la emulsión | | | | | | | | | | | | | | |
| Viscosidad Saybolt Furol a 25 °C (seg) | 100 | - | 100 | - | 100 | - | 100 | - | 50 | - | 20 | 100 | 20 | 100 |
| Porcentaje de estabilidad de almacenamiento en 24 h (%) | - | 1 | - | 1 | - | 1 | - | 1 | - | 1 | - | 1 | - | 1 |
| Porcentaje de mezclado del cementante asfáltico (%) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 2.0 | - | 2.0 |
| Porcentaje retenido en el tamiz (%) | - | 0.1 | - | 0.1 | - | 0.1 | - | 0.1 | - | 0.1 | - | 0.10 | - | 0.10 |
| Destilación Porcentaje de residuo (%) | 65 | - | 65 | - | 65 | - | 65 | - | 65 | - | 57 | - | 57 | - |
| En el residuo | | | | | | | | | | | | | | |
| Penetración a 25 °C | 100 | 200 | 40 | 90 | 100 | 200 | 40 | 90 | 200 | - | 100 | 200 | 40 | 90 |
| Ductilidad a 25 °C (cm) | 40 | - | 40 | - | 40 | - | 40 | - | 40 | - | 40 | - | 40 | - |
| Porcentaje de solubilidad en tricloroetileno (%) | 97.5 | - | 97.5 | - | 97.5 | - | 97.5 | - | 97.5 | - | 97.5 | - | 97.5 | - |
| Flotamiento (s) | - | - | 1200 | - | - | - | 1200 | - | 1200 | - | - | - | - | - |

¹ Fuente: Tabla adaptada de AASHTO M 140 "Table 1: Requirements for emulsified asphalt"

| TIPO DE ENSAYO | CMS - 2 | | CMS -2h | | CSS - 1 | | CSS - 1h | |
|---|----------|------|----------|------|----------|------|----------|------|
| | mín | máx | mín | máx | mín | máx | mín | máx |
| En la emulsión | | | | | | | | |
| Viscosidad Saybolt Furol a 25 °C (seg) | - | - | - | - | 20 | 100 | 20 | 100 |
| Porcentaje de estabilidad de almacenamiento en 24 h (%) | - | 1 | - | 1 | - | 1 | - | 1 |
| Ensayo de la carga de la partícula | Positiva | | Positiva | | Positiva | | Positiva | |
| Porcentaje de mezclado del cementante asfáltico (%) | - | - | - | - | - | 2.0 | - | 2.0 |
| Porcentaje retenido en el tamiz (%) | - | 0.10 | - | 0.10 | - | 0.10 | - | 0.10 |
| Destilación | | | | | | | | |
| Porcentaje de residuo (%) | 65 | - | 65 | - | 57 | - | 57 | - |
| En el residuo de la destilación | | | | | | | | |
| Penetración a 25 °C | 100 | 250 | 40 | 90 | 100 | 250 | 40 | 90 |
| Ductilidad a 25 °C (cm) | 40 | - | 40 | - | 40 | - | 40 | - |
| Porcentaje de solubilidad en tricloroetileno (%) | 97.5 | - | 97.5 | - | 97.5 | - | 97.5 | - |

² Fuente: Tabla adaptada de AASHTO M 208 "Table 1: Requirements and typical applications for cationic emulsified asphalt"

Especificaciones mínimas y máximas para el asfalto rebajado de curado medio ¹ Tabla 9

| TIPO DE ENSAYO | MS - 70 | | MC - 250 | | MC - 800 | | MC - 3000 | |
|---|----------|-----|----------|-----|----------|------|-----------|------|
| | mín | máx | mín | máx | mín | máx | mín | máx |
| En el asfalto rebajado | | | | | | | | |
| Viscosidad cinemática a 60 °C ² | 70 | 140 | 250 | 500 | 800 | 1600 | 3000 | 6000 |
| Punto de inflamación Tag copa abierta | 38 | - | 66 | - | 66 | - | 66 | - |
| Destilación a 60 °C | | | | | | | | |
| Porcentaje por volumen a 225 °C | 0 | 20 | 0 | 10 | - | - | - | - |
| Porcentaje por volumen a 260 °C | 20 | 60 | 15 | 55 | 0 | 35 | 0 | 15 |
| Porcentaje por volumen a 315 °C | 65 | 90 | 60 | 87 | 45 | 80 | 15 | 75 |
| Porcentaje de residuo | 55 | - | 67 | - | 75 | - | 80 | - |
| Porcentaje de agua por destilación | | 0.2 | | 0.2 | | 0.2 | | 0.2 |
| Ensayo de la mancha ³ | | | | | | | | |
| Nafta estándar | negativo | | | | | | | |
| Solvente xileno de nafta | negativo | | | | | | | |
| Solvente xileno de heptano | negativo | | | | | | | |
| En el residuo de la destilación (asfalto residual) | | | | | | | | |
| Viscosidad absoluta a 60 °C ⁴ | 30 | 120 | 30 | 120 | 30 | 120 | 30 | 120 |
| Ductilidad a 25 °C | 100 | - | 100 | - | 100 | - | 100 | - |
| Porcentaje de solubilidad en tricloroetileno | 99.0 | - | 99.0 | - | 99.0 | - | 99.0 | - |

¹ Fuente: Tabla adaptada del Reglamento Técnico Centroamericano. 2005

² Se puede hacer como método alternativo la viscosidad Saybolt-Furol a distintas temperaturas dependiendo del grado del asfalto rebajado

³ El uso del ensayo de la mancha es opcional

⁴ También se puede realizar el ensayo de penetración a 25 °C

Tabla 10 Especificaciones mínimas y máximas para el asfalto rebajado de curado lento ¹

| TIPO DE ENSAYO | SC - 250 | | MC - 250 | | SC - 800 | | SC - 3000 | |
|---|----------|-----|----------|-----|----------|----------|-----------|------|
| | mín | máx | mín | máx | mín | máx | mín | máx |
| En el asfalto rebajado | | | | | | | | |
| Viscosidad cinemática a 60 °C ² | 70 | 140 | 250 | 500 | 800 | 1600 | 3000 | 6000 |
| Punto de inflamación Tag copa abierta | 38 | - | 66 | - | 66 | - | 66 | - |
| Destilación a 60 °C | | | | | | | | |
| Porcentaje por volumen a 225 °C | 0 | 20 | 0 | 10 | - | - | - | - |
| Porcentaje por volumen a 260 °C | 20 | 60 | 15 | 55 | 0 | 35 | 0 | 15 |
| Porcentaje por volumen a 315 °C | 65 | 90 | 60 | 87 | 45 | 80 | 15 | 75 |
| Porcentaje de residuo | 55 | - | 67 | - | 75 | - | 80 | - |
| Porcentaje de agua por destilación | | 0.2 | | 0.2 | | 0.2 | | 0.2 |
| Ensayo de la mancha ³ | | | | | | | | |
| Nafta estándar | | | | | | negativo | | |
| Solvente xileno de nafta | | | | | | negativo | | |
| Solvente xileno de heptano | | | | | | negativo | | |
| En el residuo de la destilación (asfalto residual) | | | | | | | | |
| Viscosidad absoluta a 60 °C ⁴ | 30 | 120 | 30 | 120 | 30 | 120 | 30 | 120 |
| Ductilidad a 25 °C | 100 | - | 100 | - | 100 | - | 100 | - |
| Porcentaje de solubilidad en tricloroetileno | 99.0 | - | 99.0 | - | 99.0 | - | 99.0 | - |

¹ Fuente: Tabla adaptada del Reglamento Técnico Centroamericano. 2005. ² Se puede hacer como método alternativo la viscosidad Saybolt-Furol a distintas temperaturas dependiendo del grado del asfalto rebajado. ³ El uso del ensayo de la mancha es opcional. ⁴ También se puede realizar el ensayo de penetración a 25 °C

Tabla 11 Especificaciones para los agregados finos y gruesos ¹

| TIPO DE ENSAYO | Especificación Sieca | Especificación Instituto Asfalto MS - 19 |
|--|-----------------------------------|---|
| Granulometría | Ver Tabla 12, Tabla 13 y Tabla 14 | - |
| Índice de plasticidad | - | mínimo 65% |
| Equivalente de arena | mínimo 35% | mínimo 35% mínimo 30% (F) ² |
| Partículas friables | máximo 1% | - |
| Caras fracturadas | mínimo 75% | mínimo 65% |
| Carbonatos solubles, residuo insoluble | máximo 25% | - |
| Índice de durabilidad (grueso y fino) | mínimo 35% | - |
| Abrasión de los Ángeles | máximo 40% | máximo 40% |
| Durabilidad en asfaltos | máximo 12% | - |

¹ Fuente: Las autoras, 2008. ² Granulometría F de la Tabla 12

Tabla 12 Granulometrías para graduación densa ¹

| Malla | Porcentaje por peso pasando la malla estándar | | | | | |
|---------|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------|
| | A ¹ | B ¹ | C ¹ | D ¹ | E ¹ | F ² |
| 50 mm | 100 | | | | | - |
| 37.5 mm | 90 ³ - 100 | 100 | | | | 100 |
| 25 mm | - | 90 ³ - 100 | 100 | | | 80 - 90 |
| 19 mm | 60 - 80 | - | 90 ³ - 100 | 100 | | - |
| 12.5 mm | - | 60 - 80 | - | 90 ³ - 100 | 100 | - |
| 9.5 mm | - | - | 60 - 80 | - | 90 ³ - 100 | - |
| 4.75 mm | 20 - 55 | 35 ⁴ - 60 | 35 - 65 | 45 - 70 | 60 - 80 | 25 - 85 |
| 2.36 mm | 10 - 40 | 15 - 45 | 20 - 50 | 25 - 55 | 35 - 65 | - |
| 300 µm | 2 - 16 | 3 - 18 | 3 - 20 | 5 - 20 | 6 - 25 | - |
| 75 µm | 0 - 5 | 1 - 7 | 2 - 8 | 2 - 9 | 2 - 10 | 3 - 15 |

¹ Agregado con proceso de quebrado. ² Agregado con proceso de semiquebrado, de tajo o de depósitos, esta granulometría no está especificada en el manual de la Sieca CA-2001. ³ En el manual de la Sieca CA-2001 este dato es 95. ⁴ En el manual de la Sieca CA-2001 este dato es 25. Las granulometrías C, D y E se especifican para las mezclas de mantenimiento tipo apilamiento. Fuente: Manual del Instituto del Asfalto MS-19 Tabla 7.2

| Malla | Porcentaje por peso pasando la malla estándar | | | |
|---------|---|----------------|----------------|----------------|
| | A ¹ | B ¹ | C ¹ | D ² |
| 37.5 mm | 100 | - | - | - |
| 25 mm | 95 - 100 | 100 | - | - |
| 19 mm | - | 90 - 100 | - | - |
| 12.5 mm | 25 - 65 | - | 100 | - |
| 9.5 mm | - | 20 - 55 | 85 - 100 | 100 |
| 4.75 mm | 0 - 10 | 0 - 10 | - | 30 - 50 |
| 2.36 mm | 0 - 5 | 0 - 5 | 0 - 10 | 5 - 15 |
| 1.18 mm | - | - | 0 - 5 | - |
| 75 mm | 0 - 2 | 0 - 2 | 0 - 2 | 0 - 2 |

¹ Para base² Para superficie de ruedo.

Fuente: Manual del Instituto del Asfalto MS-19 Tabla 7.3

| Malla | Porcentaje por peso pasando la malla estándar | | |
|---------|---|---------------|----------------|
| | Pobrememente graduada | Bien graduada | Arenas limosas |
| 12.5 mm | 100 | 100 | 100 |
| 4.75 mm | 75 - 100 | 75 - 100 | 75 - 100 |
| 2.36 mm | - | 15 - 30 | - |
| 1.18 mm | - | - | 15 - 65 |
| 75 mm | 0 - 12 | 5 - 12 | 12 - 20 |

Fuente: Manual del Instituto del Asfalto MS-19 Tabla 7.4

Las especificaciones para mezclas en frío están más relacionadas con las especificaciones de los componentes que con el desempeño a largo plazo, no obstante en las Tablas 17, 18 y 19 se muestran los requerimientos para las mezclas asfálticas con granulometría densa con emulsión asfáltica y asfalto rebajado, para los dos métodos de diseño.

En la Figura 2, se observan los valores de vacíos en el agregado mineral (VMA) correspondientes a los tamaños máximos nominales de las partículas. Para utilizar la figura se ingresa con el dato del tamaño máximo nominal de las partículas y se sigue verticalmente hasta llegar a la línea azul, de ahí se parte horizontalmente hacia la izquierda para determinar el porcentaje recomendado de vacíos en el agregado mineral.

| Tamiz | Porcentaje pasando |
|---------|--------------------|
| 1.18 μm | 100 |
| 600 μm | 97 - 100 |
| 300 μm | 95 - 100 |
| 75 μm | 70 - 100 |

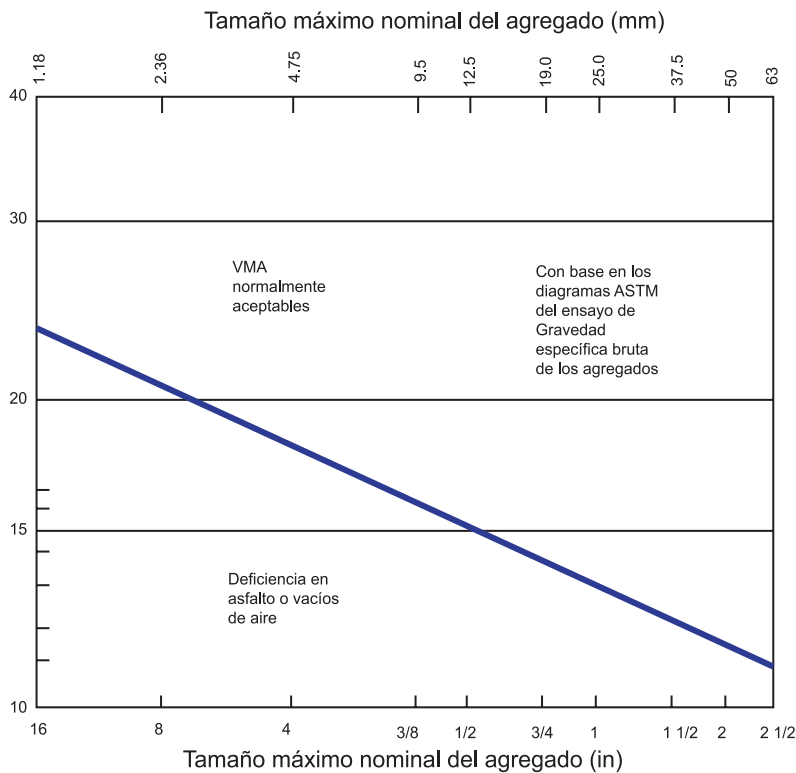
Fuente: Manual de la Sieca

| Propiedad a evaluar | Especificación |
|------------------------------------|----------------|
| Valor S de Estabilidad a 60 ± 3 °C | 30 mínimo |
| Valor C de Cohesión a 60 ± 3 °C | 100 mínimo |
| Recubrimiento de agregado (%) | 75 mínimo |

Además de cumplir los requerimientos anteriores, la mezcla debe tener una buena trabajabilidad, no que quede muy rígida o fluida.

Fuente: Instituto del Asfalto, Manual Series Nº 14 (MS-14)

Figura 2 Porcentaje mínimo de vacíos en el agregado mineral



Fuente: Figura adaptada del MS-14 del Instituto del Asfalto

Tabla 17 Requerimientos para mezcla asfáltica con **granulometría densa y asfalto rebajado**, diseñadas con el **método Hveem**

| Propiedad a evaluar | Especificación |
|----------------------------------|----------------|
| Valor S de Estabilidad | 30 mínimo |
| Susceptibilidad al vapor de agua | 20 mínimo |
| Hinchamiento | 0.76 mm máximo |

Fuente: Instituto del Asfalto, Manual Series No. 14 (MS-14)

Tabla 18 Requerimientos para mezcla asfáltica con **granulometría densa y emulsión asfáltica**, diseñadas con el **método Marshall**

| Propiedad a evaluar | Especificación |
|---|----------------|
| Estabilidad (kN) a 22 ± 1 °C | 2.22 mínimo |
| Porcentaje de pérdida de Estabilidad ¹ | 50 máximo |
| Recubrimiento del agregado (%) | 50 mínimo |

¹ Luego de saturar los vacíos y sumergir en agua el espécimen
Fuente: Instituto del Asfalto, Manual Series N° 14 (MS-14)

Conclusiones

Las mezclas asfálticas en frío producidas con emulsión tienen mucha aceptación a nivel internacional pues son amigables con el ambiente, ya que para su producción se realizan menores gastos energéticos y no ocasionan contaminación luego de ser colocadas. Las contribuciones a nivel ambiental son mayores cuando se producen mezclas asfálticas recicladas en frío, pues se está reutilizando un material que normalmente en nuestro país se considera un desecho.

En este proyecto también se resumen los procedimientos de ensayo tanto para el diseño como para la medición del desempeño. Además, se incluyen los ensayos de laboratorio que permiten verificar el cumplimiento de las especificaciones de los componentes de las mezclas en frío: agregados, emulsión asfáltica y asfaltos rebajados.

En la revisión bibliográfica se logró encontrar las especificaciones de calidad, tanto para la mezcla como sus componentes, de otros países donde el uso de estos materiales es común.

De acuerdo con lo que se ha consultado en la bibliografía de referencia, la técnica de mezcla asfáltica en frío se proyecta como una excelente opción para realizar trabajos de bacheo a nivel nacional. Dicha técnica es de aplicación de corto plazo y para áreas con problemas puntuales y de bajo grado de deterioro, aunado esto al hecho de que las mezclas en frío poseen un menor costo, comparado con la mezcla asfáltica en caliente que es más costosa y que presenta mayores dificultades para su correcto manejo y aplicación.

| Propiedad a evaluar | Especificación | |
|---|----------------|--------|
| | Máximo | Mínimo |
| Grado de curado, porcentaje de solvente evaporado | | |
| Mezclas de mantenimiento | 25 % | |
| Mezclas de pavimentación | 50 % | |
| Porcentaje de vacíos en la mezcla compactada | 5 | 3 |
| Porcentaje VMA | Ver Figura 2 | |
| Estabilidad a 25 °C (kN) | | |
| Mezclas de mantenimiento | | 2.22 |
| Mezclas de pavimentación | | 3.34 |
| Flujo (0.25 mm) | 16 | 8 |
| % Estabilidad Retenida ¹ | | 75% |

¹ Luego de cuatro días sumergido en agua a 25 °C

Fuente: Instituto del Asfalto, Manual Series No. 14 (MS-14).

Bibliografía

1. Asphalt Institute. A basic asphalt emulsion manual, MS-19. Kentucky, Estados Unidos. Tercera Edición. 2005.
2. Asphalt Institute. Asphalt cold mix manual, MS-14. Kentucky, Estados Unidos. Tercera Edición. 2005
3. American Association of State Highway and Transportation Officials. Emulsified Asphalt, M 140. Washington D.C., Estados Unidos, 27^{ava} Edición, 2007.
4. American Association of State Highway and Transportation Officials. Cationic Emulsified Asphalt, M 208. Washington D.C., Estados Unidos, 27^{ava} Edición, 2007.
5. American Association of State Highway and Transportation Officials. Selection and Use of Emulsified Asphalts, R 5. Washington D.C., Estados Unidos, 27^{ava} Edición, 2007.
6. Secretaría de Integración Económica Centroamericana SIECA, Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales. 2001
7. Ministerio de Obras Públicas y Transporte, Secretaría Técnica, Dirección de Carreteras. Manual de Shell Colombia. Bogotá, Colombia. 1992
8. Fishman, Stefanie R. Cost Effective Pothole Repairs. Local Technical Assistance Program (LTAP), Universidad de New Hampshire, Estados Unidos. <http://www.t2.unh.edu/winter98/pg6.html>