



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

**MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO, UNA GUÍA PARA LA
EVALUACIÓN DE PERTINENCIA**

T E S I N A

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

ESPECIALISTA EN VÍAS TERRESTRES

PRESENTA:

ING. ESTRELLA AGUILAR TORRES

DIRECTOR DE TESINA: **DRA. SILVIA RAQUEL GARCÍA BENÍTEZ**

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX.

MAYO 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ÍNDICE

1. OBJETIVOS.....	3
2. ANTECEDENTES.....	3
2.1 PAVIMENTO.....	7
2.2 PAVIMENTO ASFÁLTICO	8
2.3 MEZCLAS ASFÁLTICAS	11
2.4 MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO	13
2.5 CARPETA ASFÁLTICA CON MEZCLA EN FRÍO.....	14
2.6 EMULSIÓN ASFÁLTICA	14
3. NORMATIVA APLICABLE A MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO	16
4. PRUEBAS QUE SE EFECTUAN A LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	19
5. PRUEBAS QUE SE EFECTUAN EN LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS.....	23
5.1 ESPECIFICACIONES PARA EMULSIONES ASFÁLTICAS	25
6. CASO-EJEMPLO: APLICACIÓN EN GRANDES METRÓPOLIS.....	27
7. CONCLUSIONES	33
8. REFERENCIAS	34

1. OBJETIVOS

- Se resumirán los parámetros comúnmente evaluados para determinar el comportamiento y la calidad de una mezcla asfáltica en frío, así como los ensayos realizados para su determinación.
- Se realizarán pruebas de laboratorio a una mezcla asfáltica en caliente, proveniente de la planta de asfalto Prinfra, empleada para la sustitución de la carpeta asfáltica en una obra de instalación de tubería de gas, para comprobar los aspectos de calidad.
- Se realizarán pruebas al producto Bach-Tec Solution, para emitir una recomendación de si es conveniente su uso como una alternativa al uso de la mezcla asfáltica en caliente tradicional.

2. ANTECEDENTES

La actual situación mundial con respecto al agotamiento de recursos naturales, la alta emisión de gases de efecto invernadero y el elevado consumo energético en la construcción y mantenimiento de pavimentos, requieren considerar tecnologías eco-ambientales y sustentables (Cincire, V., 2013). Esto ha impulsado el desarrollo y uso de técnicas innovadoras de emulsiones y aditivos que permitan aplicaciones de mayor calidad y optimizar el consumo energético diferenciado por rangos de temperatura de aplicación (Figura 1).

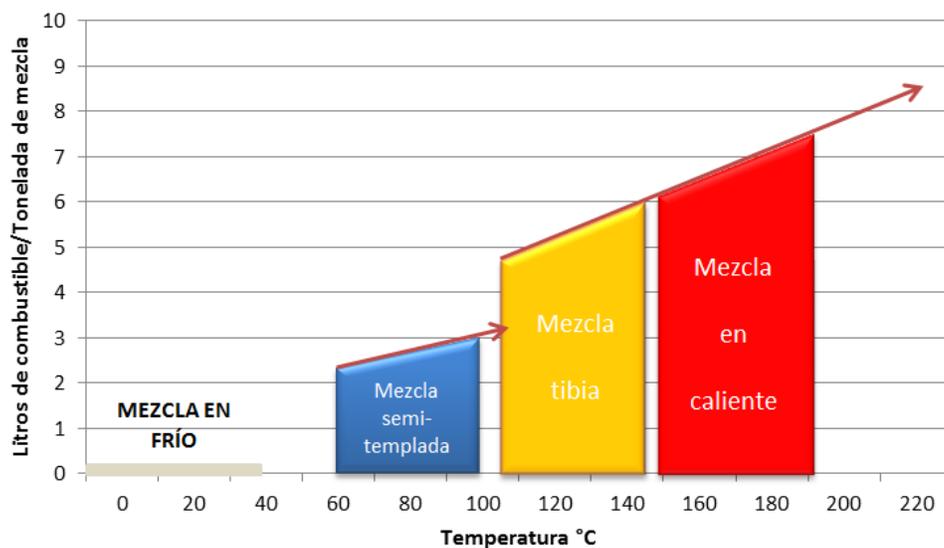


Figura 1. Clasificación de las mezclas asfálticas en base a su temperatura de aplicación.

La industria de la construcción de carreteras desempeña un papel importante en la economía y el desarrollo de las comunidades pero también es una fuente primaria de emisión de carbono. A consecuencia del cambio climático, la conservación de la energía y la reducción de emisiones de carbono se han convertido en problemas críticos en esta rama de la construcción sin embargo, hasta la fecha, no se ha establecido un modelo adecuado para la disminución de los efectos negativos de la construcción de una carretera.

Anualmente se requiere de aproximadamente 7×10^6 MJ de energía para construir una carretera asfaltada estándar de 1 km. A pesar de estos números, los estudios sobre la contaminación ambiental causada por la construcción de pavimentos de asfalto aún no son exhaustivos además de que las investigaciones sobre la evaluación de las emisiones de carbono y las medidas de ahorro de energía son recientes y su aplicabilidad es débil. El efecto invernadero tiene un serio impacto en los sistemas y economías sociales. Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociado con carreteras y vehículos ha atraído el interés de los investigadores los últimos 20 años.

The International Journal of Environmental Research and Public Health publicó un estudio realizado para un proyecto chino de construcción de pavimento asfáltico, consistente en un típico pavimento de cuatro carriles de 20 km de longitud. La estructura del pavimento consistía en una base de agregado estabilizado de cemento y una superficie de mezcla de asfalto, la profundidad de dicha estructura del pavimento fue de 72 cm y el ancho de 28 cm. La planta mezcladora se instalaría temporalmente durante el proyecto y la distancia media entre ésta y el sitio de construcción serían 10 km. Basándose en la geometría de la estructura del pavimento y la densidad del material, se calcularon las cantidades totales de materiales de pavimento. El uso del equipo fue calculado sobre la base de las especificaciones chinas y los datos recolectados en los sitios de construcción

El estudio se centró en el estudio de tres de los seis principales gases de efecto invernadero: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) desde la producción de la materia prima y la construcción del pavimento, como se muestra en la Figura 2. El primer proceso incluye la producción de los agregados, el asfalto y el cemento Portland. El segundo proceso incluye el mezclado, transportación, tendido, compactación y el periodo de curado del agregado que fue estabilizado.

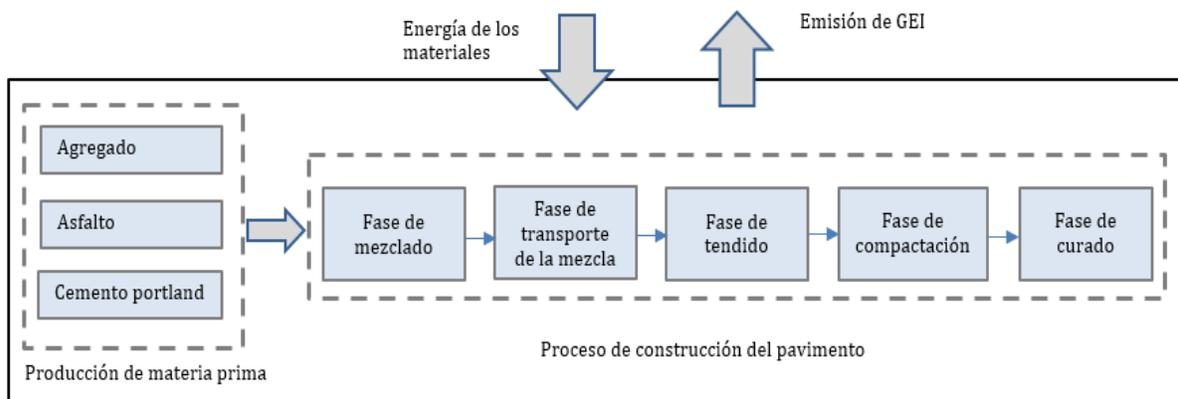


Figura 2. Sistema de evaluación de las emisiones de GEI para la construcción del pavimento asfáltico.

La emisión total de CO₂ de la construcción de pavimento asfáltico de 20 km resultó de más de 52 ton; la emisión de CO₂ correspondiente al asfalto de 9, 123, 898.74 kg (17.46%), del cemento estabilizado es de 43, 141, 017.32 kg (82.54%). El 97.19% de las emisiones totales de GEI se deben a la fase de mezclado y a la fase de producción de materias primas, aproximadamente el 1.35% de las emisiones totales se debe a la fase de transporte de materias primas y de la mezcla. Sólo el 0.86% y el 0.61% de las emisiones totales de GEI se deben a la fase de tendido y compactación.

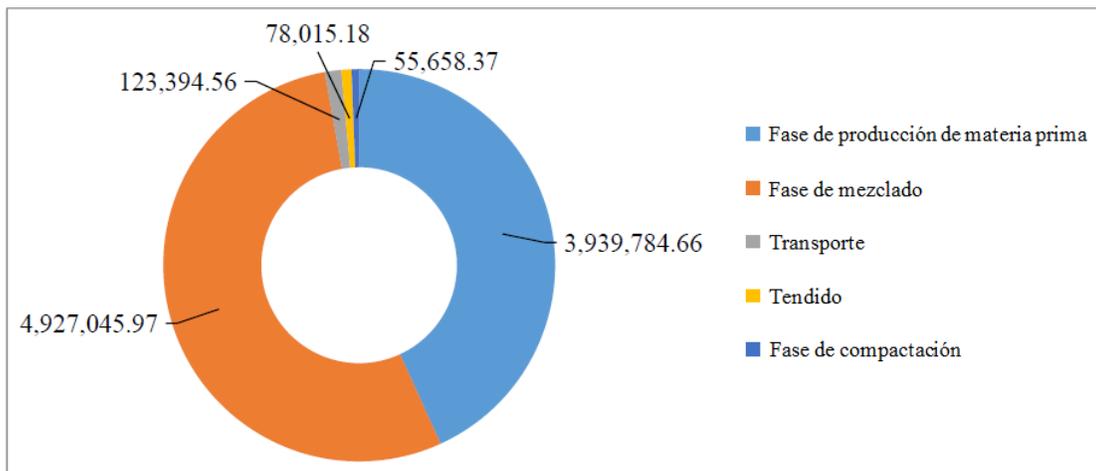


Figura 3. Emisión de CO₂ de la construcción del camino de asfalto (unidad: kg)

En la primera fase, las cargas ambientales provienen de la adquisición y procesamiento del agregado, el cual es transportado y apilado por un cargador a una ubicación específica en la estación de mezclado. Aquí también se incluye la gasolina del cargador que transporta el material.

El agregado procedente de campo tiene un específico contenido de agua, por lo que requiere un proceso de secado. La mezcla asfáltica se realiza a altas temperaturas, por lo que el agregado necesita ser calentado a cierta temperatura, lo cual se consigue usando un tambor de secado. Antes de ser transferido al centro de mezclado, el asfalto debe de ser calentado para alcanzar la temperatura correcta mientras se mantiene una viscosidad suficientemente baja por lo que la mezcla del asfalto, el aglutinante, con el agregado seco es buena. El combustible fósil se consume en el sistema de calentamiento del agregado y el asfalto, así como en la fase del mezclado. En la fase de transporte del material los impactos ambientales se deben a las emisiones liberadas por los motores de los vehículos pesados que realizan la transportación.

En el proceso de mezclado, las emisiones de GEI provienen de la energía consumida por el equipo de mezclado, la quema del combustible para calentar el agregado y el asfalto y las emisiones de gas de la mezcla asfáltica en caliente. Los sistemas de control, el cilindro mezclador, el componente de transferencia de material, el tamizado y pesado son operados por electricidad. Toda la etapa de producción y construcción de la mezcla asfáltica es un proceso interrelacionado, la condición de

producción de cada etapa debe coincidir con la capacidad de la planta mezcladora de asfalto.

En la fase de colocación de la mezcla en caliente, los GEI provienen del consumo de energía de la extendedora y de la emisión de gases de la mezcla en caliente. El uso de una extendedora depende del ancho, espesor, pendiente transversal y longitudinal, además de que este tipo de maquinaria consume grandes cantidades de combustible. En la fase de compactación, los GEI provienen del consumo de combustible de los rodillos o del equipo empleado para dicha tarea, así como de la emisión de gases de la mezcla en caliente. La construcción de pavimentos asfálticos tiene un importante impacto ambiental, la fase de mezclado genera la mayor cantidad de emisiones de GEI, con un 54% del total.

En el diseño de la capa asfáltica el punto central debe ser el control del consumo de energía, el uso de esta con el empleo de equipo eficiente y la optimización de los procesos constructivos.

Las mezclas asfálticas en frío ofrecen a los usuarios fácil manejo, tanto en la fabricación como en la extensión en cualquier parte del país, presentando un buen comportamiento tanto en vías terciarias como en principales. Su preparación en sitio es fácil ya que no es necesario el uso de plantas en caliente, lo que resulta beneficioso al ahorrarse el costo de dicho equipo y de las implicaciones de su adquisición y uso. La mezcla asfáltica en frío puede ser de ayuda para disminuir las emisiones de GEI gracias a la baja temperatura de mezclado.

Las mezclas asfálticas en frío de alto desempeño de granulometría densa, son aquellas que se elaboran en planta mezcladora de dosificación controlada y automatizada, con materiales como emulsión asfáltica, agregado pétreo o material recuperado RAP, agua y aditivos cuando se requiera, en las proporciones adecuadas. Las mezclas en frío de alto desempeño presentan los siguientes beneficios comparados con las mezclas en caliente:

1. En el proceso de mezclado se evita la oxidación del asfalto debido a que la mezcla con emulsión se produce a temperaturas cercanas a la ambiente.
2. No existen inconvenientes relacionados con la temperatura de aplicación, por lo que se pueden incrementar las distancias de acarreo.
3. Debido al uso de tensoactivos que se utilizan para emulsionar el asfalto, presentan mejor afinidad ligante-agregado.
4. Estas mezclas son aplicables incluso en temporada de lluvias, ampliando los periodos de ejecución.
5. Se pueden almacenar a temperatura ambiente.
6. Típicamente la producción de mezcla en caliente consume 275 MJ/ton con respecto a las mezclas en frío que consumen 14 MJ/ton, lo cual genera un ahorro de energía en el proceso de construcción de pavimentos.

7. Reducción en la emisión de gases de efecto invernadero, ya que las mezclas en caliente típicamente emiten 22 Kg CO₂/ton, mientras que las mezclas en frío emiten 1 Kg CO₂/ton.
8. Desarrollan Módulos elásticos similares a los de mezclas en caliente.
9. Presentan mayor flexibilidad (son susceptibles a la auto-reparación).

La serie de operaciones que involucra el proceso constructivo tratándose de una mezcla en caliente son más exigentes, lo que tiene una implicación tanto económica como ambiental. Por ejemplo, la velocidad a la cual se enfría la mezcla afecta la duración de tiempo durante el cual se puede y se debe, lograr la densidad deseada. Las temperaturas ambientales frías, la humedad alta, los vientos fuertes, y las superficies frías acortan el tiempo durante el cual se debe efectuar la compactación; estos factores pueden hacer más difícil la compactación lo que genera aumento en los costos y resultados desfavorables si es que no se obtiene el grado de compactación indicado.

Ambientalmente, una mezcla en frío presenta grandes ventajas respecto a las mezclas en caliente, como el ahorro de energía en la fabricación de la mezcla, poca emisión de gases, además de que se evita la oxidación del asfalto al ser calentado a altas temperaturas como sucede con las mezclas en caliente. En cuanto a los agregados estos se pueden mezclar húmedos, ahorrando energía en el secado; para la colocación se puede mezclar y extender con una moto niveladora pudiéndose utilizar para pendientes fuertes, mientras que la pavimentadora no es eficiente en ese tipo de pendientes.

2.1 PAVIMENTO

Se denomina pavimento al conjunto de capas de materiales seleccionados que se construye sobre las terracerías. Cada capa tiene la finalidad de soportar y transmitir a la capa inferior las cargas del tránsito vehicular para evitar que dichas capas o la estructura general del pavimento se deforme excesivamente y afecte con ello al drenaje superficial, esto con el fin de garantizar una superficie sin agrietamientos, cómoda y segura para el usuario (SCT, Catálogo de secciones estructurales de pavimentos para las carreteras de la República Mexicana; s.f.).

De manera general, como una estructura de gran importancia, el pavimento tiene la finalidad de cumplir con soportar y transmitir las cargas que se presentan con el paso de los vehículos, ser lo suficientemente impermeable, soportar el desgaste producido por el tránsito, el clima y mantener una superficie cómoda y segura para el rodamiento. Básicamente existen dos tipos de pavimentos: los rígidos y los flexibles, y su principal diferencia es la resistencia que presentan a la flexión.

Los pavimentos flexibles o también conocidos como pavimentos asfálticos, son aquellos que tienen superficies compuestas por materiales bituminosos. Este tipo de pavimento es llamado flexible porque su estructura se deflecta debido a las cargas

impuestas por el tráfico recurrente. Este tipo de pavimento tiene un periodo de vida de aproximadamente 10 a 15 años, resulta más económico en su construcción inicial pero tiene la desventaja de requerir mantenimiento constante para cumplir con su vida útil (Hernández, 2005).

En cuanto a los pavimentos rígidos éstos son los que se encuentran compuestos por losas de concreto hidráulico de cemento Portland; este tipo de pavimento es denominado rígido porque, en comparación con el flexible, es más tieso, debido a las propiedades mismas del concreto. Su periodo de vida oscila entre los 20 y 40 años y tiene un costo inicial más elevado que el flexible pero el mantenimiento que requiere es mínimo. El comportamiento del concreto ante el ataque del agua es mejor que el que presentan las mezclas asfálticas, por lo cual es una buena opción utilizarlo en zonas donde hay presencia continua de agua, su uso también es conveniente en cruces vehiculares, en donde se tiene un Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) elevado y el tiempo de concentración de las cargas de los vehículos pesados es prolongado.

Tanto el pavimento rígido como el pavimento flexible ofrecen opciones posibles para una buena construcción de carreteras (Instituto Mexicano del Transporte, 1998). La sección estructural del pavimento, entendida en el sentido amplio que involucra todo el conjunto de capas hasta el cuerpo de terraplén, juega un papel supremo en el comportamiento de una carretera en cualquier horizonte temporal. Una sección estructural resistente y apropiada conduce a costos de conservación menores en la vida del pavimento y sobre todo a menores costos de operación.

Los pavimentos flexibles son ampliamente utilizados en la mayoría de los países a nivel mundial y México no es la excepción. Las mezclas asfálticas asumen un papel fundamental en los pavimentos flexibles no sólo por los volúmenes requeridos en su construcción, sino porque constituyen la parte más costosa de los mismos: la “fachada” que los usuarios observan cotidianamente y la superficie por la que transitan diariamente los millones de vehículos, que resuelven gran parte de las necesidades de movilidad en las sociedades humanas contemporáneas.

2.2 PAVIMENTO ASFÁLTICO

El desempeño del pavimento flexible incluye tanto el comportamiento estructural como el funcional. El estructural se refiere a la capacidad del pavimento para soportar las cargas del tránsito sin deformaciones permanentes excesivas y sin agrietamiento. El funcional se refiere a la capacidad del pavimento para que la superficie sea cómoda y segura para los usuarios de la carretera. La típica estructura de un pavimento flexible consta de las siguientes capas:

Cuerpo de terraplén: Su finalidad es dar la altura necesaria para cumplir con las especificaciones geométricas. Resistir las cargas del tránsito que se transfieren por las capas superiores y distribuir los esfuerzos a través de su espesor para transmitirlos al terreno natural.

Subrasante: Su finalidad es resistir las cargas que el tránsito transmite a pavimento, transmitir y distribuir las cargas al cuerpo de terraplén, evitar que los materiales finos plásticos del cuerpo de terraplén contaminen el pavimento y economizar los espesores del pavimento.

Sub-base: Capa de materiales pétreos seleccionados que se construye sobre la subrasante, cuyas funciones principales son proporcionar un apoyo uniforme a la base de una carpeta asfáltica, soportar las cargas que se le transmiten aminorando los esfuerzos inducidos y distribuyéndolos adecuadamente a la capa inmediata inferior y prevenir la migración de finos hacia las capas superiores por lo que aún con la presencia de humedad, la base no debe presentar cambios volumétricos perjudiciales.

Base: Capa de materiales pétreos seleccionados que se construye sobre la sub-base, cuyas funciones principales son proporcionar un apoyo uniforme a la carpeta asfáltica, soportar las cargas que ésta le transmite aminorando los esfuerzos inducidos y distribuyéndolos adecuadamente a la capa inmediata inferior, proporcionar a la estructura de pavimento la rigidez necesaria para evitar deformaciones excesivas, drenar el agua que se pueda infiltrar o impedir el ascenso capilar del agua subterránea.

Carpeta: Esta es la capa superior y la capa que entra en contacto con el tráfico. Es una capa de material pétreo cementado con asfalto que se coloca sobre la base. El contenido óptimo de asfalto para una carpeta es la cantidad de asfalto que se necesita para formar alrededor de la partícula una membrana con un espesor suficiente para resistir los elementos del intemperismo, para que el asfalto no se oxide; el espesor no debe ser muy grande porque se pierde resistencia y estabilidad.

Esta capa está formada por agregados pétreos y asfalto, algunas se fabrican en frío y otras en caliente; se colocan en la parte superior del pavimento con la finalidad de proteger la superficie de los agentes del intemperismo y proporcionar mejores características funcionales. Contribuyen a mejorar la textura, la fricción, la visibilidad, disminuir el ruido, desalojar rápidamente el agua de lluvia; además son durables, resisten las deformaciones, son menos susceptibles al agrietamiento y distribuyen en forma uniforme las cargas del tránsito.

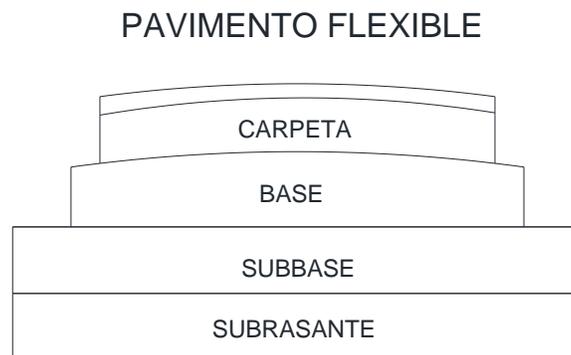


Figura 4. Estructuración típica de pavimento flexible

Los principales deterioros que se presentan en el pavimento flexible son:

- **Agrietamientos:** Resultado de una superficie de rodadura fatigada, que en muchas ocasiones puede deberse a deformaciones permanentes en las capas inferiores de la estructura del pavimento, que reducen su capacidad, llevando a la superficie de rodadura a fatigarse.



Figura 5. Agrietamiento en capa de rodadura.

- **Deformaciones permanentes:** Se presentan las llamadas “roderas” que dificultan la transitabilidad y permiten la acumulación de agua, que puede deberse a las capas inferiores (mala compactación de la base) o únicamente a la carpeta asfáltica (asfalto en exceso).



Figura 6. Roderas.

- Desprendimiento de agregados: Provocado por varios factores como la mala adherencia entre pétreo y el asfalto, un ligante asfáltico inadecuado, agregado con polvo adherido o presencia de lluvia durante el tendido de la mezcla asfáltica; que posteriormente se reflejan como baches.



Figura 7. Desprendimiento de agregados.

2.3 MEZCLAS ASFÁLTICAS

La mezcla asfáltica se puede definir como una combinación de agregados minerales, aglomerados mediante un ligante asfáltico y mezclados de tal manera que los agregados pétreos queden cubiertos por una película uniforme de asfalto. Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el comportamiento funcional de la misma como pavimento (Cepeda, 2002).

El Instituto del Asfalto de los Estados Unidos de Norteamérica, describe al asfalto como un cemento fuerte, fácilmente adhesivo, altamente impermeable, y durable. Es una sustancia plástica que proporciona una flexibilidad controlable a las mezclas de material mineral con las que usualmente se combina. No obstante que es un sólido o semisólido, en condiciones normales de temperatura ambiental el asfalto puede ser fácilmente licuado mediante aplicación de calor. El asfalto se considera como un cemento bituminoso, debido al hecho de que está constituido por hidrocarburos (Papacostas, 1993).

El asfalto ha sido utilizado para la construcción de carreteras desde la antigüedad ya que tiene ciertas características físicas que le permiten su uso como aglutinante en la mezcla asfáltica. El asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes, que tiene las propiedades ideales para la construcción de pavimentos cumpliendo las siguientes funciones:

- Impermeabilizar la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de la precipitación.
- Proporciona una fuerte unión y cohesión entre agregados, capaz de resistir la acción mecánica de disgregación producida por las cargas de los vehículos. Igualmente mejora la capacidad portante de la estructura, permitiendo disminuir el espesor de la carpeta asfáltica.

Existen varias clasificaciones de mezclas asfálticas, de acuerdo con el parámetro considerado para establecer las diferencias. Así, conforme las fracciones de agregado pétreo empleado en la elaboración de la mezcla, éstas se dividen en mástico asfáltico, mortero asfáltico, macadam asfáltico y concreto asfáltico.

Si la temperatura es considerada, se dividen en mezclas en frío y mezclas en caliente. Si el parámetro considerado es el porcentaje de vacíos de aire, las mezclas pueden ser densas o cerradas; semidensas o semicerradas; abiertas y porosas.

La mezcla asfáltica en caliente se tipifica así, porque tanto el agregado pétreo como el asfalto, se calientan antes del mezclado; es un tipo de mezcla compuesta por un 93 a 97% de agregado pétreo y por un 3 a 7% de asfalto, con respecto a la masa total de la mezcla. Los procesos de mezclado y compactación empleados en las Mezclas Asfálticas en Caliente requieren altas temperaturas, por lo que la emisión de gases contaminantes es elevada para el proceso productivo, haciéndolo costoso y causante de un grave daño ambiental.

Las mezclas asfálticas que se fabrican en caliente con granulometría discontinua son el Stone Mastic Asphalt (SMA), la Carpeta Asfáltica Superficial Altamente Adherida (CASAA) y la de mezcla abierta (Open Graded), las elaboradas en frío son las de un riego y el mortero asfáltico (SCT, Catálogo de secciones estructurales de pavimentos para las carreteras de la República Mexicana; s.f.).

Como se mencionó, la mezcla asfáltica está compuesta por agregados pétreos y asfalto; por tanto, el comportamiento de la mezcla asfáltica se ve afectado tanto por las propiedades individuales del agregado mineral y del asfalto, como por la interrelación de ambos componentes dentro del sistema.

Los factores más importantes que influyen en el comportamiento y que son concernientes a la composición de la mezcla, es decir, las variables de la mezcla son los siguientes:

- Naturaleza del cemento asfáltico
- Contenido de asfalto
- Porcentaje de vacíos

- Granulometría
- Forma y textura del agregado pétreo
- Contenido de finos

2.4 MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO

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, empleando nuevas tecnologías que permitan obtener el desempeño solicitado principalmente en regiones de media a alta precipitación pluvial, zonas alejadas y en donde el uso de mezclas en caliente haya presentado pobres desempeños (dificultades para su producción y colocación en condiciones adversas de clima, complicaciones para el traslado de equipos o grandes distancias de acarreo de las mezclas).

Las preocupaciones por la conservación del medio ambiente a nivel mundial, hacen que las mezclas en frío representen una alternativa muy oportuna 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.

Los beneficios de las mezclas en frío de alto desempeño pueden ser comparados con las mezclas en caliente debido a que la mezcla con emulsión se produce a temperaturas cercanas a la ambiente, evitando la oxidación del asfalto en el proceso de mezclado, además de que no existen inconvenientes relacionados con la temperatura de aplicación y pueden ser aplicadas incluso en temporada de lluvias, ampliando con ello los periodos de ejecución.

Las prácticas recomendadas de mezclas asfálticas en frío son una herramienta que contribuye al buen uso de estas tecnologías y permite tener mayor certidumbre en obtener mezclas asfálticas en frío de alta calidad. La recomendación de uso de mezclas asfálticas en frío se puede ajustar a las necesidades específicas del proyecto y experiencia local utilizando especificaciones particulares. En la mayor parte del territorio nacional se dispone de agregados y plantas de emulsión que cumplen con una gran variedad de requisitos de diseño.

En México se cuenta con laboratorios equipados para realizar el diseño, control y verificación de calidad. Se dispone de los equipos de producción y construcción para obtener la calidad deseada de la mezcla en obra. Sin embargo habrá que señalar que lograr aplicaciones de buena calidad requiere, como en cualquier otra obra civil, de que las dependencias involucradas con la supervisión y control hagan cumplir los parámetros establecidos en las especificaciones particulares.

2.5 CARPETA ASFÁLTICA CON MEZCLA EN FRÍO

Las carpetas asfálticas con mezcla en frío son aquellas que se construyen mediante el tendido y la compactación de una mezcla de materiales pétreos y un material asfáltico, modificado o no, que puede ser rebajado con solventes o en emulsión. Según su función y su composición granulométrica las carpetas asfálticas con mezcla en frío pueden ser:

Carpeta de Mezcla Asfáltica.- Se construyen para proporcionar al usuario una superficie de rodamiento uniforme, bien drenada, resistente al derrapamiento, cómoda y segura. Cuando son de un espesor mayor o igual a cuatro centímetros tienen además la función estructural de soportar y distribuir la carga de los vehículos hacia las capas inferiores del pavimento. Están constituidas por una mezcla en frío de materiales pétreos, generalmente de granulometría densa y un producto asfáltico, que puede ser una emulsión o un rebajado.

Carpeta de Mortero Asfáltico.- No tiene función estructural y se construye para proporcionar al usuario una superficie de rodamiento uniforme, bien drenada, resistente al derrapamiento, cómoda y segura. Están constituidas por una mezcla en frío de materiales pétreos, generalmente de granulometría densa y un producto asfáltico, que puede ser una emulsión o un rebajado.

Dentro de las funciones de la carpeta asfáltica se encuentran el proporcionar una superficie de rodamiento que permita un tránsito fácil y cómodo para los vehículos, impedir la infiltración de agua de lluvia hacia las capas inferiores y resistir la acción de los vehículos.

2.6 EMULSIÓN ASFÁLTICA

Es una dispersión estable de pequeños glóbulos de asfalto de agua. Como el asfalto y el agua son inmiscibles, por medio de un agente emulsificante se logra la disolución y la mezcla de los dos. Las emulsiones asfálticas son los materiales asfálticos líquidos estables constituidos por dos fases no miscibles, en los que la fase continua de la emulsión está formada por una cabeza iónica polar químicamente compatible con el agua y una cadena hidrocarbonada químicamente compatible con el asfalto. De acuerdo con los emulsificantes usados se obtienen dos clasificaciones de emulsiones asfálticas:

Emulsiones aniónicas: La emulsión aniónica (sales sódicas o potásicas de ácidos orgánicos de cadena compleja), es aquella en que la polaridad del emulsionante es de carga negativa y descargan en el ánodo ideal.

Emulsiones catiónicas: La emulsión catiónica (producto de reacción de ácidos inorgánicos fuertes como ácidos clorhídricos, con aminas grasas), es aquella en que la polaridad del emulsionante es de carga positiva y descargan en el ánodo.

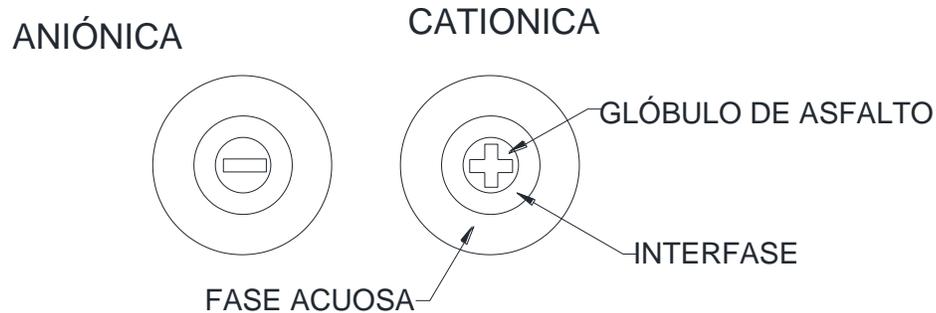


Figura 8. Emulsión y cargas que contienen los glóbulos.

Dependiendo de la rapidez de quiebre éstas emulsiones se clasifican, es decir, de acuerdo a la velocidad con que las partículas de asfalto recubren el agregado pétreo separándose del agua. Las emulsiones asfálticas pueden ser de los siguientes tipos:

- Emulsiones de rompimiento rápido.- Éstas tienen poca o ninguna capacidad para mezclarse con agregados, se emplean normalmente para riegos de sello, sellos de arena y tratamientos superficiales en general, para reaccionar rápidamente con el agregado y revertir al estado del asfalto.
- Emulsiones de rompimiento medio.- Designadas para ser mezcladas con agregados porque no rompen al instante de entrar en contacto con el agregado, esta cualidad permite que la mezcla sea manejable por un periodo de tiempo determinado.
- Emulsiones de rompimiento lento.- Se diseñan para mezclarse con agregados finos, se utilizan comúnmente para carpetas asfálticas en frío elaboradas en planta y para estabilizaciones asfálticas. Estas emulsiones tienen tiempos más largos de manejabilidad para garantizar un buen mezclado con materiales densamente graduados.
- Para impregnación.- Estas emulsiones particularmente se utilizan para impregnaciones de subbases y/o bases hidráulicas.
- Superestables.- Estas principalmente se emplean en estabilizaciones de materiales y en trabajos de recuperación.

Dentro de las emulsiones aniónicas se puede encontrar las emulsiones:

- Emulsiones de quiebre lento (RS – 1, RS – 2)
- Emulsiones de quiebre medio (MS – 1, MS – 2, MS – 2h)

- Emulsiones de quiebre rápido (SS – 1, SS – 1h)

Dentro de las emulsiones catiónicas se puede encontrar las emulsiones:

- Catiónicas de quiebre rápido (Cationic rapid setting): CRS – 1, CRS – 2
- Catiónicas de quiebre medio (Cationic médium setting): CMS – 1, CMS – 2, CMS – 2h
- Catiónicas de quiebre lento (Cationic slow setting): CSS – 1, CSS – 1h

También hay que tener en cuenta las aplicaciones de cada una de estas emulsiones, por ejemplo las emulsiones aniónicas de quiebre rápido como RS – 1 se emplean para tratamientos superficiales, sello de arena, riego de liga o antierosionante.

Las emulsiones aniónicas de quiebre medio como la MS-1 sirven para mezcla en planta en frío, mezcla en sitio, sello de arena, juntas y riego de liga; la MS-2 para mezcla en planta en frío, sello de gravilla, mezcla en sitio, juntas y riego de liga; la MS-2h mezcla en planta en frío, juntas, mezcla en sitio y riego de liga.

Finalmente, la emulsión aniónica de quiebre lento, los dos grados sirven para lo mismo, mezcla en planta en frío, mezcla en sitio, lechada asfáltica, riego de liga, riego negro, matapolvo y antierosionante.

3. NORMATIVA APLICABLE A MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

NORMA N-CMT-4-04/01

“MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS”

El material pétreo que se utilice en la elaboración de carpetas asfálticas de granulometría densa, con mezcla en frío, en función de su tamaño nominal y de la intensidad del tránsito esperado en términos del número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas acumulados durante la vida útil del pavimento cumplirá con lo que se indica a continuación:

Requisitos de granulometría del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa (Para $\Sigma L > 10^6$)

Malla		Tamaño nominal del material pétreo mm (in)				
Abertura mm	Designación	9.5 (3/8)	12.5 (1/2)	19 (3/4)	25 (1)	37.5 (1 1/2)
		Porcentaje que pasa				
50	2"	-	-	-	-	100
37.5	1 1/2"	-	-	-	100	90-100
25	1"	-	-	100	90-100	74-90
19	3/4"	-	100	90-100	79-90	62-79
12.5	1/2"	100	90-100	72-90	58-71	46-60
9.5	3/8"	90-100	76-90	60-76	47-60	39-50
6.3	1/4"	70-81	56-69	44-57	36-46	30-39
4.75	N°4	56-69	45-59	37-48	30-39	25-34
2	N°10	28-42	25-35	20-29	17-24	13-21
0.85	N°20	18-27	15-22	12-19	9-16	6-13
0.425	N°40	13-20	11-16	8-14	5-11	3-9
0.25	N°60	10-15	8-13	6-11	4-9	2-7
0.15	N°100	6-12	5-10	4-8	2-7	1-5
0.075	N°200	2-7	2-6	2-5	1-4	0-3

Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa (Para $\Sigma L > 10^6$)

Característica	Valor
Densidad relativa, mínimo	2.4
Desgaste Los Ángeles; %, máximo	30
Partículas alargadas; %, máximo	35
Partículas lajeadas; %, máximo	35
Equivalente de arena; %, mínimo	50
Pérdida de estabilidad por inmersión en agua; %, máximo	25

NORMA N-CMT-4-05-003/08

“CALIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA CARRETERAS”

Las mezclas para carpetas asfálticas de granulometría densa en frío cumplirán con los requisitos de calidad señalados a continuación:

Requisitos de calidad para mezclas asfálticas de granulometría densa, diseñadas mediante el método Marshall

Características	Número de ejes equivalentes de diseño ΣL	
	$\Sigma L \leq 10^6$	$10^6 < \Sigma L \leq 10^7$
Compactación; número de golpes en cada cara de la probeta	50	75
Estabilidad; N (lb _f), mínimo	5 340 (1 200)	8 000 (1 800)
Flujo; mm (10 ⁻² in)	2 - 4 (8 - 16)	2 - 3.5 (8 - 14)
Vacíos en la mezcla asfáltica (VMC); %	3 - 5	3 - 5
Vacíos ocupados por el asfalto (VFA); %	65 - 78	65 - 75

Vacíos en el agregado mineral (VAM) para mezclas asfálticas de granulometría densa, diseñadas mediante el método Marshall

Tamaño nominal del material pétreo utilizado en la mezcla		Vacíos en la mezcla asfáltica (VMC) de diseño %		
		3	4	5
mm	Designación	Vacíos en el agregado mineral (VAM) %, mínimo		
9.5	3/8"	14	15	16
12.5	1/2"	13	14	15
19	3/4"	12	13	14
25	1"	11	12	13
37.5	1 1/2"	10	11	12

Características de calidad que se deben revisar en los materiales asfálticos durante la ejecución de la obra

Cementos asfálticos	Emulsiones asfálticas	Asfaltos rebajados
El cemento asfáltico original:	En la emulsión:	En el asfalto rebajado:
<ul style="list-style-type: none"> • Viscosidad dinámica a 60 °C • Punto de inflamación Cleveland 	<ul style="list-style-type: none"> • Contenido de cemento asfáltico en masa • Viscosidad Saybolt-Furol a 25 y 50° C • Cubrimiento del agregado seco y húmedo • Carga eléctrica de las partículas 	<ul style="list-style-type: none"> • Punto de inflamación • Viscosidad Saybolt-Furol a 25 y 50°C • Contenido de solvente por destilación a 360°C • Contenido de cemento asfáltico por destilación a 360 °C
En el residuo de la partícula delgada:	En el residuo de la destilación:	En el residuo de la destilación:
<ul style="list-style-type: none"> • Viscosidad dinámica a 60 °C • Pérdida por calentamiento • Pérdida por calentamiento • Ductilidad a 25 °C y 5 cm/min • Penetración a 25°C, 100 g, 5s 	<ul style="list-style-type: none"> • Viscosidad dinámica a 60 °C • Ductilidad a 25 °C y 5 cm/min • Penetración a 25 °C, 100 g, 5s 	<ul style="list-style-type: none"> • Viscosidad dinámica a 60°C • Ductilidad a 25°C y 5 cm/min • Penetración a 25°C, 100 g, 5s

4. PRUEBAS QUE SE EFECTUAN A LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

Contenido de asfalto

El contenido de asfalto es el parámetro que más influye en el comportamiento de las mezclas asfálticas. Para un tipo de mezcla asfáltica determinado, se tiene que:

- Para valores de porcentajes de asfalto por debajo del óptimo, la resistencia mecánica y la resistencia a la fatiga aumentan con el incremento del contenido de asfalto.
- Para valores de porcentajes de asfalto por encima del óptimo, se presenta una disminución de las características mecánicas de la mezcla, incluso con aumento del riesgo a sufrir deformación permanente.

Granulometría

Esta prueba permite determinar la composición por tamaños (granulometría) de las partículas del material pétreo empleado en las mezclas asfálticas, mediante su paso por una serie de mallas con aberturas determinadas. El paso del material se hace primero a través de las mallas con la abertura más grande, hasta llegar a las más cerradas, de tal forma que los tamaños mayores se van reteniendo, para así poder obtener la masa que se retiene en cada malla, calcular su porcentaje respecto al total y definir la masa que pasa.

Aunque la influencia del tamaño máximo del agregado no sea tan notable como el contenido de asfalto, la curva granulométrica puede influir a través de dos factores: el tamaño máximo del agregado y el tipo de curva, que puede ser continua o discontinua.

Estos dos factores tienen influencia en el porcentaje de vacíos y, por ende, sobre la resistencia a la fatiga y la deformación permanente. El porcentaje de vacíos del agregado mineral varía en función de la curva granulométrica.

Estabilidad y flujo

La estabilidad de un asfalto es su capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas, un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos, ondulaciones y otras señas que indican cambios en la mezcla. Los requisitos de estabilidad solo pueden establecerse después de un análisis completo del tránsito, debido a que las especificaciones de estabilidad para un pavimento dependen del tránsito esperado.

La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna en las partículas de agregado (fricción entre partículas) está relacionada con características del agregado tales como forma y textura superficial.

Un grado propio de fricción y cohesión interna, en la mezcla, previene que las partículas de agregado se desplacen unas respecto a otras debido a las fuerzas ejercidas por el tráfico. El flujo propiamente es medido en centésimas de pulgada, lo cual representa la deformación de la briqueta. La deformación está indicada por la disminución en el diámetro vertical de la briqueta

Vacíos en el agregado mineral (VMA)

Los valores de VMA se basan en el hecho de que cuanto más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durable será la mezcla; sin embargo, si el VMA es muy alto la mezcla puede presentar problemas de estabilidad (deformación permanente), y resultará antieconómica.

Vacíos llenos con asfalto (VFA)

Los vacíos llenos con asfalto se usan para asegurar que parte del asfalto efectivo de los vacíos en el agregado mineral (VMA) en la mezcla, no sea insuficiente (poca durabilidad) o excesivo (mezcla propensa a las deformaciones permanentes y a exudación de cemento asfáltico).

Los vacíos llenos de asfalto son el porcentaje de VAM que contiene cemento asfáltico. Consecuentemente, VFA es el volumen de cemento asfáltico efectivo expresado como el porcentaje de VAM.

Penetración

Permite determinar la dureza o consistencia de los cementos asfálticos mediante la penetración vertical de una aguja en una muestra de prueba de dichos materiales bajo condiciones establecidas de masa, tiempo y temperatura. Este ensayo mide la dureza o consistencia del asfalto, sirve para clasificar el cemento asfáltico en distintos grados de penetración.

Se reporta como resultado de la prueba, el promedio de las profundidades a las que haya entrado la aguja en por lo menos tres penetraciones, expresadas en décimos de milímetro y con aproximación a la unidad. En el reporte quedarán asentados la temperatura, la masa y el tiempo de penetración con los que se realice la prueba.

Viscosidad Saybolt-Furol

Esta prueba permite conocer la consistencia de los materiales asfálticos mediante sus características de flujo a una temperatura de 135°C para los cementos, pudiéndose hacer a otras temperaturas, con el propósito de estudiar la susceptibilidad al calor de los materiales asfálticos y determinar las viscosidades apropiadas para su utilización.

La prueba consiste en determinar el tiempo que tardan en pasar 60cm³ del material a probar a través de un orificio de dimensiones especificadas (Furol), instalado en un tubo de viscosidad (Saybolt), bajo condiciones de carga y temperatura preestablecidas. Se reporta como Viscosidad Saybolt-Furol de la muestra el tiempo en segundos que tarda en llenarse el matraz con el material hasta la marca de aforo, indicando también la temperatura de prueba.

Punto de reblandecimiento

Esta prueba permite estimar la consistencia de los cementos asfálticos y se basa en la determinación de la temperatura a la cual una esfera de acero, colocada sobre una muestra moldeada en un anillo horizontal se deforma 25mm, que se calienta gradualmente dentro de un baño de agua o glicerina. Se reporta como punto de

reblandecimiento del cemento asfáltico el promedio de las temperaturas registradas, con aproximación de 0.5 °C, indicando el líquido utilizado para la prueba.

Punto de inflamación Cleveland

Permite determinar la temperatura mínima a la que el asfalto produce flamas instantáneas al estar en contacto con el fuego directo, así como aquella en que inicia su combustión.

La prueba consiste en colocar una muestra de asfalto en una copa abierta de Cleveland, en donde se incrementa paulatinamente su temperatura hasta lograr que al pasar una flama por la superficie de la muestra se produzcan en ella flamas instantáneas, la temperatura correspondiente se denomina punto de inflamación. Si se continúa elevando la temperatura de la muestra se llega al punto en que se inicia la combustión del material, la temperatura correspondiente se denomina punto de combustión.

Pruebas en el residuo de la película delgada

Permite estimar el endurecimiento que sufren los cementos asfálticos que en películas de pequeño espesor se someten a los efectos del calor y el aire. La prueba consiste en someter una muestra de cemento o un residuo asfáltico a un proceso de calentamiento para producir un residuo al cual, dependiendo del tipo de producto que se esté probando, se le realizan diversas pruebas.

En el caso de cementos asfálticos normales, al residuo se le efectúan pruebas para determinar la pérdida de masa que experimentó, su viscosidad dinámica, la penetración que conserva respecto a la del cemento asfáltico original así como su ductilidad.

Ductilidad

Permite determinar la capacidad para deformarse sin romperse de los cementos asfálticos y del residuo de la prueba de película delgada. La prueba consiste en medir la máxima distancia a la cual una briqueta de dichos materiales, de geometría y bajo condiciones de temperatura y velocidad de deformación específicas, puede ser estirada sin romperse, es decir, permite conocer la capacidad de un pavimento asfáltico para adaptarse a los movimientos y asentamientos sin agrietarse.

Se resulta como resultado de la prueba la longitud que se desplazó la mordaza para lograr la ruptura de la briqueta, en centímetros con aproximación a la unidad.

Viscosidad Rotacional Brookfield

Esta prueba permite determinar la consistencia de los cementos asfálticos, en un rango de 38 a 260°C, mediante la determinación de la resistencia que ofrece una

muestra de prueba a la deformación. La prueba consiste en determinar el par de torsión que es necesario aplicar en un eje rotacional, en el seno de una muestra de prueba colocada dentro de un contenedor, bajo condiciones controladas de temperatura, para que gire a cierta velocidad.

Se reporta como resultado de esta prueba, en Pa·s, el promedio de las lecturas observadas en el viscosímetro para cada temperatura de prueba, indicando el número de rotor utilizado.

Agrietamiento por fatiga

Aunque generalmente una carga simple no genera grietas en el pavimento, las repeticiones de cargas pueden inducir agrietamientos en las capas confinadas. Los esfuerzos cortante y de tensión, así como las deformaciones en las capas confinadas, causan la deformación de microgrietas. Estas microgrietas acumuladas con la repetición de cargas pueden generar macrogrietas visibles. Este proceso es llamado fatiga.

El rompimiento por fatiga es causado por numerosos factores que ocurren en forma simultánea. Entre ellos, las cargas pesadas repetidas; deflexiones delgadas bajo ruedas pesadas de carga; deflexiones altas aunadas a la tensión horizontal en la superficie de la capa de asfalto y mal drenaje, generado por una construcción pobre y un mal diseño del pavimento

5. PRUEBAS QUE SE EFECTUAN EN LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS

Viscosidad Saybolt-Furol

Esta prueba permite conocer la consistencia de los materiales asfálticos mediante sus características de flujo a una temperatura de 25 y 50°C para las emulsiones, pudiéndose hacer a otras temperaturas, con el propósito de estudiar la susceptibilidad al calor de los materiales asfálticos y determinar las viscosidades apropiadas para su utilización.

La prueba consiste en determinar el tiempo que tardan en pasar 60 cm³ del material a probar a través de un orificio de dimensiones especificadas (Furol), instalado en un tubo de viscosidad (Saybolt), bajo condiciones de carga y temperatura preestablecidas. Es obvio que cuanto más viscoso es el material, mayor es el tiempo que necesita un determinado volumen para fluir por el orificio. Por lo tanto un incremento en el número de viscosidad indica un aumento en la viscosidad de la emulsión.

Se reporta como Viscosidad Saybolt-Furol de la muestra el tiempo en segundos que tarda en llenarse el matraz con el material hasta la marca de aforo, indicando también la temperatura de prueba.

Asentamiento en 5 días

Nos ayuda a conocer la homogeneidad que presentan los productos al ser almacenados y el ensaye consiste en dejar reposar durante 5 días el producto, y determinar las diferentes concentraciones que presente el asfalto. La prueba de asentamiento sirve para saber si las emulsiones son estables.

Esta prueba permite determinar el grado de homogeneidad que conservan las emulsiones asfálticas catiónicas o aniónicas, después de haber sido almacenadas durante periodos prolongados. La prueba consiste en dejar reposar muestras de emulsión asfáltica durante un tiempo especificado y posteriormente, determinar la diferencia de concentración de asfalto a diferentes niveles de la muestra.

Retenido en la malla No. 20 y No. 60

Esta prueba determina cuantitativamente el contenido de asfalto presente en forma de glóbulos relativamente grandes y que pueden obstruir el espesor y la uniformidad de la película de asfalto sobre las partículas del agregado pétreo, además de que el tamaño de los glóbulos indica una buena o mala estabilidad de la emulsión para permanecer en ese estado. Los glóbulos grandes indican que la emulsión va a tener una tendencia a sedimentarse y por lo tanto, esto puede causar su rompimiento.

Esta prueba permite cuantificar el asfalto de una emulsión que se retiene en las mallas No. 20 y No. 60, cuando contiene glóbulos de asfalto relativamente grandes, para estimar la uniformidad de la emulsión. La prueba consiste en hacer pasar a través de dichas mallas una cantidad de emulsión y calcular los porcentajes de asfalto que se retienen en ellas.

Prueba de carga eléctrica de partículas

Esta prueba permite determinar la polaridad eléctrica de los glóbulos de asfalto en las emulsiones, con el propósito de identificarlas como aniónicas cuando los glóbulos tienen una carga eléctrica negativa y como catiónicas cuando su carga es positiva. El procedimiento consiste en inducir una corriente eléctrica a través de la emulsión, mediante dos electrodos y observar a cuál de ellos son atraídos los glóbulos de asfalto.

Se reporta el resultado de la prueba en términos de la polaridad determinada a los glóbulos de asfalto de la emulsión; como Catiónica (+) si el asfalto se ha depositado en el cátodo o como Aniónica (-) si las partículas quedan adheridas en el ánodo.

Destilación de Emulsiones Asfálticas

La prueba consiste esencialmente en efectuar la destilación de una muestra de emulsión asfáltica, hasta una temperatura máxima de 260 °C, para separarla en residuo asfáltico, agua y disolventes. En el residuo asfáltico se realizan otras pruebas que ayudan a identificar la emulsión.

Viscosidad dinámica

Esta prueba permite determinar la consistencia de los materiales asfálticos mediante sus características de flujo a una temperatura de 60 °C. La prueba consiste en determinar el tiempo que tardan en pasar 20 mL del material por probar a través de un tubo capilar al vacío, bajo condiciones de presión y temperatura preestablecidas, corregido por el factor de calibración del viscosímetro.

Solubilidad

Esta prueba permite conocer la pureza del material asfáltico en cuanto a su contenido de sustancias sólidas y consiste en disolver en tricloroetileno o tricloroetano una muestra del residuo por destilación de una emulsión, filtrándola a través de una capa de fibra de asbesto, donde se retiene la fracción insoluble, es decir, la materia inerte, sales, carbón libre u otros contaminantes inorgánicos; la parte que sea soluble representa los constituyentes cementantes activos. Se determina la cantidad de material retenido en el filtro y se expresa como un porcentaje, en peso, de la muestra original.

Ductilidad a 25 °C

La presencia o ausencia de ductilidad es importante porque mide la capacidad del asfalto a la elongación antes de romperse, bajo condiciones controladas. Los asfaltos dúctiles tienen normalmente mejores propiedades aglomerantes. Por otra parte, asfaltos con una ductilidad muy elevada son usualmente susceptibles a los cambios de temperatura y por lo tanto a la deformación.

Normalmente, el ensayo se realiza a una temperatura de 25° C, a una velocidad de alargamiento de 5 cm/min y empleando un equipo llamado ductilímetro. La longitud (en cm) a la que el hilo del material se rompe define la ductilidad.

Penetración

Permite determinar la dureza o consistencia de los residuos por destilación de las emulsiones mediante la penetración vertical de una aguja en una muestra de prueba de dichos materiales bajo condiciones establecidas de masa, tiempo y temperatura.

Se reporta como resultado de la prueba, el promedio de las profundidades a las que haya entrado la aguja en por lo menos tres penetraciones, expresadas en décimos de milímetro y con aproximación a la unidad. En el reporte quedarán asentados la temperatura, la masa y el tiempo de penetración con los que se realice la prueba.

5.1 ESPECIFICACIONES PARA EMULSIONES ASFÁLTICAS

Las emulsiones asfálticas deben estar de acuerdo con los requisitos indicados en las tablas siguientes:

Especificaciones para emulsiones catiónicas

TIPO DE ENSAYO	CMS-2		CMS-2h		CSS-1		CSS-1h	
	min	max	min	max	min	max	min	max
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	-	2
Porcentaje retenido en el tamiz (%)	-	0.1	-	0.1	-	0.1	-	0.1
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
Ductibilidad a 25 °C (cm)	40	-	40	-	40	-	40	-
Porcentaje de solubilidad en tricloroetileno (%)	97.5	-	97.5	-	97.5	-	97.5	-

Especificaciones para emulsiones aniónicas

TIPO DE ENSAYO	MS-2		MS-2h		HFMS-2		HFMS-2h		HFMS-2s		SS-1		SS-1h	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
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	-	2
Porcentaje retenido en el tamiz (%)	-	0.1	-	0.1	-	0.1	-	0.1	-	0.1	-	0.1	-	0.1
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
Ductibilidad 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	-	-	-	-	-

6. CASO-EJEMPLO: APLICACIÓN EN GRANDES METRÓPOLIS

Debido a la necesidad de buscar métodos de pavimentación más sustentables que optimicen el uso de recursos y caminen hacia la construcción de ciudades más resilientes es que una compañía de distribución de sustancias por tubería enterrada se encuentra ante la disyuntiva de usar un producto de mezcla asfáltica en frío para sustituir la que actualmente usan (mezcla asfáltica en caliente). La gerencia de ingeniería intenta basar su decisión en aspectos técnicos sólidos por lo que ha pedido a un laboratorio certificado (a nivel nacional e internacional) realice pruebas sobre los materiales en discusión.

La empresa, por su rubro productivo, debe zanjar, colocar tubería, rellenar y colocar mezcla asfáltica en un gran número de kilómetros a través de las ciudades más importantes del país. Particularmente, en la Ciudad de México mantiene una tasa de crecimiento muy alta por lo que se pretende realizar el cambio de mezcla en esta ciudad. Sobre un prototipo de actuación en campo se realizará el muestreo de la mezcla y la calificación de procesos. El ejercicio se realizó en la calle Dr. Barragán, en el tramo ubicado entre las calles de Dr. Norma y Dr. Neva, en la colonia Doctores, delegación Cuauhtémoc.

Proceso en sitio: Al llegar a la zona, personal en campo estaba mimetizando el procedimiento con el que se instala la tubería. No se identificó un encargado o supervisor de obra específica. El corte de la carpeta asfáltica se realizó con máquina pequeña; era notable la falta de precaución, no se realizó control de tránsito y los vehículos circulaban con la maquina en operación (Figura 9). No se protegieron los vehículos estacionados que se localizaban en la zona de corte (Figura 10).

A un costado de la zanja se colocó el montículo de mezcla asfáltica en caliente que se emplearía. No se colocó ningún tipo de recubrimiento térmico que evitara la pérdida de temperatura de la mezcla (Figura 12). No se realizó limpieza del área del riego de liga ni se observó alguna acción para evitar que se contaminara con impurezas ambientales. Evidente fue que el material de riego era muy escaso (Figura 11).

Se registró la temperatura en sitio de la mezcla asfáltica en caliente y se colectó la suficiente cantidad de material para su análisis en laboratorio (Figura 15).

En sitio cercano se colocó el material de la bolsa de bacheo en frío (Figura 16). Se comprobó que fuera el mismo que el personal del laboratorio se llevaría para su análisis.



Figura 9. Tránsito vehicular sobre la calle Dr. Norma, en la delegación Cuauhtémoc.



Figura 10. Máquina zanjadora realizando el corte de la carpeta asfáltica.

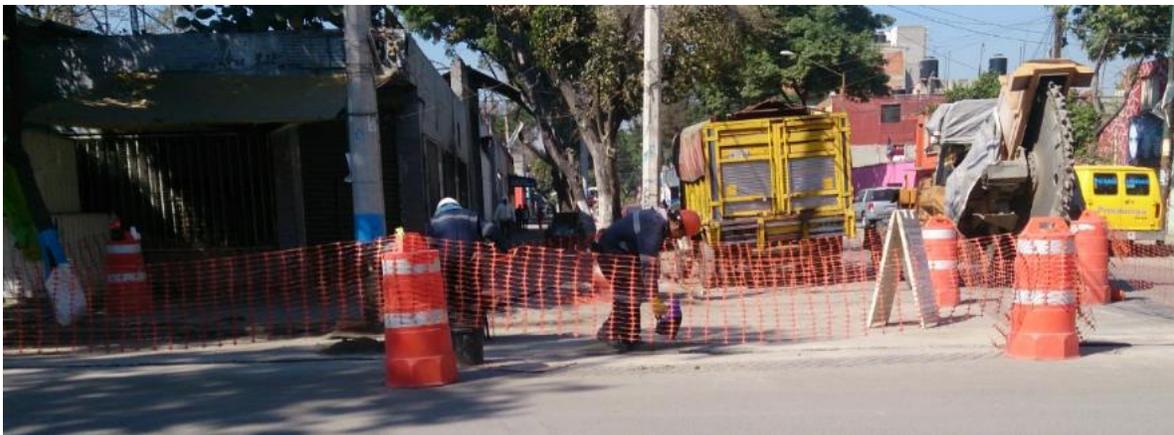


Figura 11. Colocación del producto ligante en la zanja sobre Dr. Barragán.



Figura 12. Almacenamiento de la mezcla asfáltica en caliente.



Figura 13. Colocación de la mezcla asfáltica.



Figura 14. Compactación por medio de rodillo mecánico.



Figura 15. Medición de la temperatura de la mezcla asfáltica y muestreo de la misma.



Figura 16. Colocación de la bolsa de BACHEO EN FRÍO.

Hallazgos – derivaciones de pruebas y observaciones: Sobre la documentación de la mezcla asfáltica en caliente se obtuvo únicamente las características de diseño (método Marshall, curva que data de los años 80's). Sobre la bolsa de bacheo en frío, la empresa que lo promueve no contaba con papelería ni hojas técnicas.

Mezcla en caliente. Se ejecutaron las pruebas (Figura 17) que recomendó el laboratorio para hacer comparaciones básicas entre los materiales. Entre los resultados destaca que de acuerdo con los límites establecidos por la normas de la SCT, referentes a la composición granulométrica del material pétreo (curvas en la Figura 17), la curva obtenida de la mezcla en caliente está fuera de los límites establecidos. Por otro lado, la mezcla presentó un comportamiento aceptable en cuanto a valores obtenidos de Estabilidad y de Flujo, ya que la mezcla en análisis soportó una carga considerable antes de su falla y rangos adecuados de deformación (entre límites aceptables).

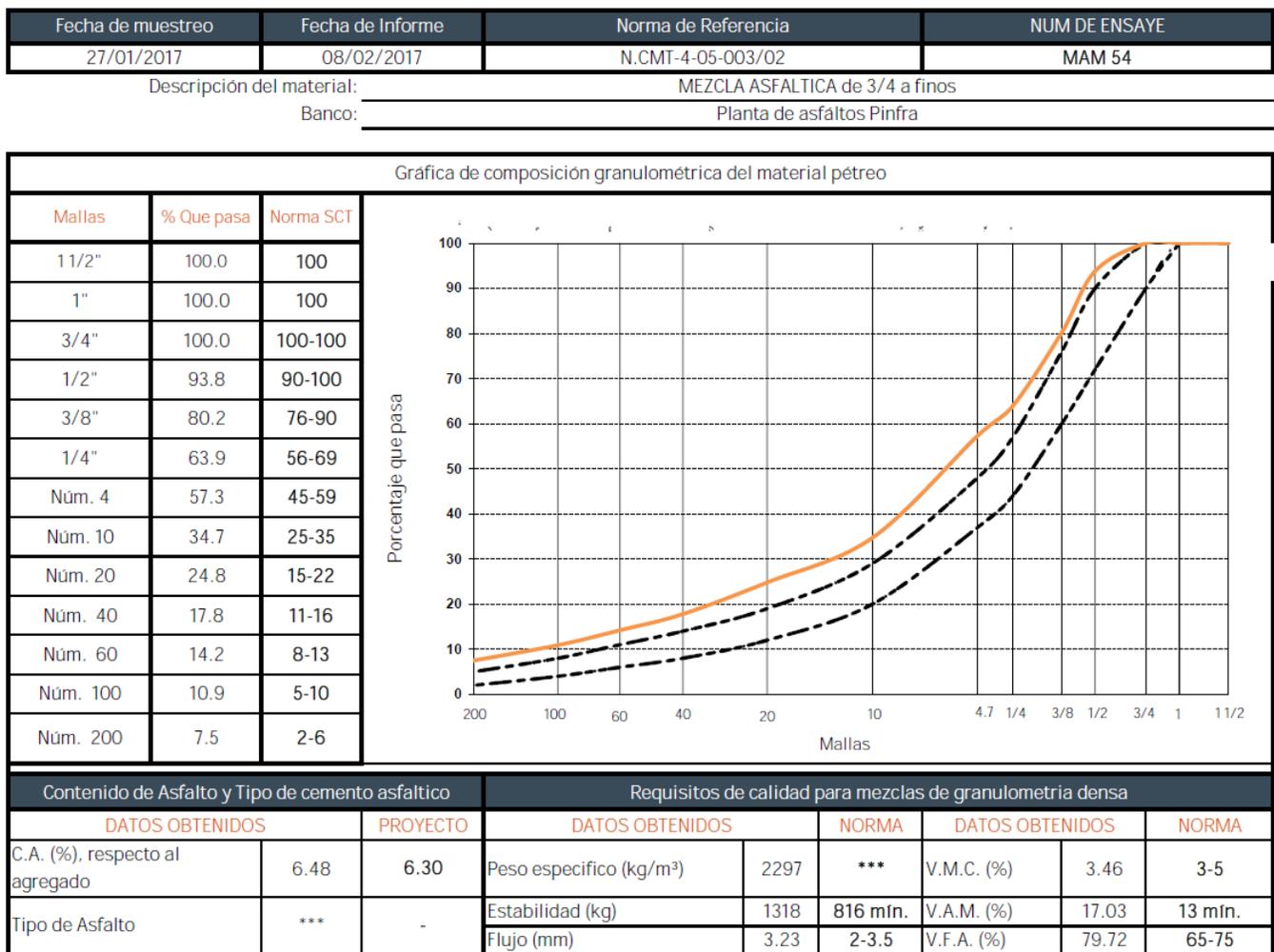


Figura 17. Resultados de la mezcla asfáltica en caliente.

Mezcla en frío. En la Figura 18 se pueden apreciar los resultados obtenidos del análisis de la mezcla en frío.

Fecha de muestreo	Fecha de Informe	Norma de referencia	No. de ensaye
27/01/2017	21/02/2017	Libro 6 SCT / Ficha técnica BACH - TEC N.CMT-4-05-003/08	MAM-1000

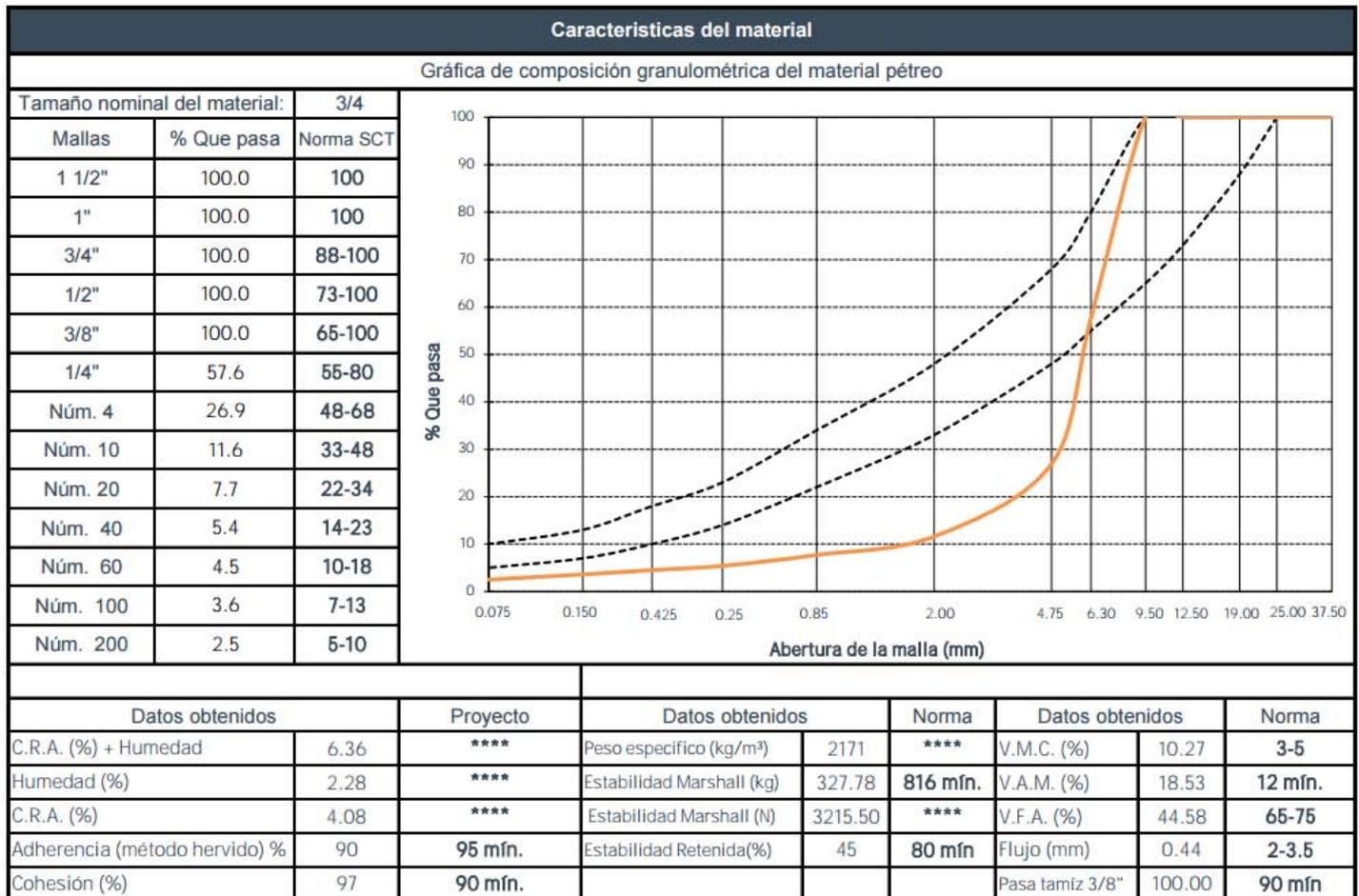


Figura 18. Resultados de la mezcla asfáltica en frío.

La curva granulométrica muestra la escasez de material fino en esta mezcla. Esto genera una mayor cantidad de vacíos y la necesidad de mayores películas de asfalto para asegurar la adherencia entre las partículas.

La Estabilidad Marshall resultó muy por debajo del mínimo, lo que se traduce en baja capacidad para resistir deformaciones bajo las cargas del tránsito; esto sumado al valor del flujo (bajo el límite aceptable) obliga a calificar a la mezcla con comportamiento frágil o poco flexible. En la estabilidad retenida (cociente de la estabilidad saturada y la estabilidad Marshall) se obtuvo un porcentaje muy bajo lo señala que la mezcla no presenta un buen comportamiento ante la presencia de agua. Ya que el VFA está por debajo del límite permitido se puede asegurar que este material con carencia del material aglutinante tendrá una baja estabilidad.

7. CONCLUSIONES

- El desempeño de una mezcla asfáltica, ya sea en caliente o en frío, depende no sólo de sus características intrínsecas sino del control de las actividades realizadas para su almacenamiento y colocación. Una mezcla que cumple con los parámetros de diseño puede no tener una adecuada vida útil si los procedimientos son deficientes.
- La mezcla en frío (el producto que se le ofertó a la empresa que distribuye sustancias por tubería enterrada) no es conveniente debido a su evidente incumplimiento de la normativa. A pesar de que el producto ofertado no resultó ser beneficioso, es necesario apuntar que en el mercado existen una serie de productos similares que cuentan con especificaciones técnicas y pruebas de laboratorio certificados que los colocan muy por encima del material probado.
- Sobre la mezcla en caliente es evidente que el equipo humano en campo tiene grandes deficiencias en el control de los procedimientos. Se reconoce la importancia de la verificación de los materiales y las acciones *in situ* para poder calificar a esta mezcla como aceptable.

8. REFERENCIAS

- ✚ Agencia de Gestión Urbana (2014). GDF destinará 100 mdp para tapar baches y pavimentar. [Figura]. Recuperado de <http://www.agu.cdmx.gob.mx/sintesis/index.php/gdf-destinara-100-mdp-para-tapar-baches-y-pavimentar/>
- ✚ Centro de Investigación Vial UTN-FRLP (s.f.). Valoración del desempeño de una mezcla asfáltica densa modificando el tipo filler y asfalto (Archivo PDF). Recuperado de <http://lemac.frlp.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2015/08/Cap%C3%ADtulo-2.pdf>
- ✚ Cepeda, J. (2002). Análisis del comportamiento de mezclas asfálticas a fisuración por fatiga mediante la aplicación de un nuevo ensayo dinámico a tracción directa (tesis doctoral). Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- ✚ Cincire, V. (2013). Mezclas asfálticas en frío bajo el protocolo AMAAC. Octavo Congreso Mexicano del Asfalto. Congreso llevado a cabo en Cancún, México.
- ✚ Garnica, P., Flores M., Gómez J., Delgado, H. (2005). Caracterización Geomecánica de Mezclas Asfálticas, Publicación Técnica No. 267. Instituto Mexicano del Transporte, México.
- ✚ Hernández, E. (2005). Pavimentación de la carretera México-Tuxpan; tramo: Tejocotal – Nuevo Necaxa (tesis de licenciatura). Instituto Politécnico Nacional, México.
- ✚ Ibañez, H. (2003). Uso de emulsiones en pavimentos asfálticos; asfaltos calientes y fríos (tesis de licenciatura). Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Chile.
- ✚ Morales J. (2008). Análisis del sistema CASAA (Carpeta Asfáltica Superficial Altamente Adherida) para el mejoramiento de la calidad de los pavimentos asfálticos en México (tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- ✚ Sánchez, F. (s.f.). Revestimientos Bituminosos (Archivo PDF). Escuela Colombiana de Ingeniería. Recuperado de http://copernico.escuelaing.edu.co/vias/pagina_via/modulos/MODULO%209.pdf
- ✚ Sarmiento, M. (2012). Estudio del Comportamiento de una mezcla asfáltica fabricada con emulsión (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- ✚ Secretaría de Comunicaciones y Transportes (s.f.). Catálogo de secciones estructurales de pavimentos para las carreteras de la República Mexicana, México.

- ✚ Serrano, C. (2015). Refuerzo de asfalto mediante geomallas para alargar la vida útil de las carreteras. [Figura]. Recuperado de <https://www.interempresas.net/Jardineria/Articulos/138111-Refuerzo-de-asfalto-mediante-geomallas-para-alargar-la-vida-util-de-las-carreteras.html>

- ✚ Zúñiga, R. (2015). Mezclas en frío para bacheo (Archivo PDF). Laboratorio Nacional de Vialidad. Recuperado de <http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/MaterialCursos/Mezcla%20en%20Fr%C3%ADo%20para%20Bacheo%20Lab%20C%20Junio%202015.pdf>

- ✚ (2000). 04 Viscosidad Saybolt-Furol en Materiales Asfálticos. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México.

- ✚ (2000). 11 Ductilidad de Cementos y Residuos Asfálticos. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México.

- ✚ (2001). 04 Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México.

- ✚ (2002). 14 Retenido en la mallas No. 20 y No. 60 en emulsiones asfálticas. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México.

- ✚ (2002). 03 Calidad de Mezclas Asfálticas para carreteras. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México.

- ✚ (2005). 01 Calidad de Materiales Asfálticos. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México.