



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN
INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA

**ANÁLISIS DEL SISTEMA CASAA (CARPETA
ASFÁLTICA SUPERFICIAL ALTAMENTE
ADHERIDA) PARA EL MEJORAMIENTO DE LA
CALIDAD DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EN
MÉXICO.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA
(CONSTRUCCIÓN)**

PRESENTA:

ING. JUAN CARLOS MORALES VÁZQUEZ

TUTOR:

M EN I. MARCO TULIO MENDOZA ROSAS

CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO D.F., 2008



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por haberme proporcionado las herramientas necesarias para crecer profesionalmente. Además porque me dio una visión diferente de la vida.

Al Dr. Jesús Hugo Meza Puesto, al Ing. Saturnino Suárez (QEPD), al M. en I. Salvador Díaz Díaz y al M. en I. Marco Tulio Mendoza Rosas, por haberme guiado en el desarrollo de esta tesis.

A todos mis profesores de maestría, porque no se limitaron a la enseñanza de la teoría, sino además, a la enseñanza de la práctica y a la transmisión de su experiencia.

A la Universidad Veracruzana, mi *alma máter*, por haberme formado profesionalmente.

A la Escuela Hispano Mexicana, donde se encuentran los cimientos de mi formación profesional.

A Sem Materials, sin su apoyo, esta investigación no hubiera sido posible.

A todas y cada una de las personas que me apoyaron contestando la encuesta. Muchas gracias.

Y muy especialmente al Ing. Roberto Sosa Garrido, de quien sólo he recibido apoyo desde que tuve el gusto de conocerlo. Sin usted, este proyecto no se hubiera realizado. Muchas gracias por todo.

DEDICATORIAS

A mis padres, porque cada meta que he alcanzado ha sido gracias a que siempre han estado conmigo, apoyándome y creyendo en mí. A ustedes debo todo lo que soy y siempre les estaré agradecido. Los quiero infinitamente. Así como a mi hermana Karla, a quien quiero mucho y ha sido mi cómplice.

A aquellos que ya no están conmigo, abuelitos Marina, Esperanza y Antonio. Para ustedes esta tesis y mi corazón, que siempre los recuerda con mucho cariño.

A mi tía Tere, porque desde que decidí emprender este viaje sólo he recibido apoyo de su parte. Siempre te estaré agradecido. Además a mi abuelito Eduardo por todo su apoyo.

A mi tía Dolores y a mis primos Marco y Mariana, así como a mis sobrinos. Los quiero.

A Alejandro, Antonio, Mario y Pablo. No pude tener mejores compañeros y amigos en la maestría. Formamos un gran equipo. Parte de este logro es gracias a ustedes.

A mis amigos de toda la vida Grisel y Jorge Larrínaga; así como a Jorge Layún, Hiram, Claudia, Ricardo, Efraín, Juan Carlos, Eric, Daniel, Miguel, Diego y Flavio.

A mis amigos de la UV, que compartieron conmigo la licenciatura y su amistad: Gustavo, Jesús, Francisco, Hiram, Alejandra, “Cumbias”, Darío, Mariana, Joel, Jair y Miguel.

Y a todos mis críticos, porque el éxito se disfruta más gracias a ellos.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	IX
I. GENERALIDADES	13
1.1 Antecedentes históricos	14
1.2 Pavimentos.....	17
1.2.1 Finalidad de los pavimentos.....	17
1.2.2 Pavimentos flexibles.....	18
1.3 Asfaltos.....	20
1.3.1 Antecedentes.....	20
1.3.2 Obtención de los asfaltos.....	21
1.3.3 Tipos de asfaltos.....	22
1.3.4 Asfaltos modificados.....	24
1.3.5 Emulsiones asfálticas.....	27
1.4 Características de los materiales pétreos para mezclas asfálticas.....	31
1.5 Carpetas asfálticas con mezcla en caliente.....	33
1.6 Normativa técnica necesaria para asfaltos modificados.....	38
1.7 Aspectos generales de la calidad.....	40
1.7.1 Antecedentes.....	40
1.7.2 Calidad en la construcción.....	40
1.7.3 Consideraciones para introducir un sist. de aseguramiento de calidad....	42
1.8 Pruebas realizadas a las mezclas asfálticas.....	45
Conclusiones capitulares.....	48
II. ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA	50
2.1 Situación actual e importancia de la construcción de carreteras.....	51
2.2 Incremento del tráfico y la demanda de carreteras nuevas.....	55
2.3 Problemas en el control de calidad en la construcción de pavimentos asfálticos....	63
2.3.1. Criterios de falla.....	67
2.3.2. Nomenclatura y definición de fallas.....	68
2.4 Problemas en el control de calidad de los materiales.....	71
2.5 Diagnóstico de las empresas constructoras de carreteras (Muestra no probabilística).....	73

2.5.1. Marco de selección.....	73
2.5.2. Resultados del proceso de observación y de la información recopilada...	73
2.5.2.1. Resultados de la encuesta aplicada.....	73
2.5.2.2. Obtención de la información relevante de las entrevistas.....	79
Conclusiones capitulares.....	81
III. PROPUESTA DE SOLUCIÓN: EL SISTEMA CASAA	82
3.1 El Sistema CASAA.....	83
3.2 ¿Por qué el Sistema CASAA?	84
3.3 Principales diferencias entre los Sistemas Open Graded y SMA con el Sistema CASAA.....	86
3.4. Criterios para seleccionar el sistema de tratamiento superficial más conveniente..	89
3.5 Especificaciones de la norma SCT para el Sistema CASAA.....	91
3.5.1. Requisitos de calidad.....	91
3.5.2. Diseño de la mezcla.....	94
3.5.3. Construcción.....	97
3.5.4. Control de calidad.....	99
Conclusiones capitulares.....	102
IV. EJEMPLOS DE DIFERENTES APLICACIONES EN MÉXICO DEL SISTEMA CASAA	103
4.1 Carretera Federal Toluca – Cd. Altamirano.....	104
4.2 Autopista México – Querétaro.....	106
4.3 Puente Chiapas.....	108
4.4 Conclusiones capitulares.....	111
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES	112
BIBLIOGRAFÍA	116
ANEXOS	119

INTRODUCCIÓN.

Para iniciar el presente trabajo, resulta necesario hacer un pequeño análisis de la importancia que tienen las carreteras en el desarrollo de cualquier nación.

Una red de carreteras suficientes y en buen estado hablan por sí mismas de la situación económica y social que vive un país. Cuando se observa que las carreteras cumplen con su función principal que es la de comunicar localidades, proporcionando comodidad, seguridad y confort al usuario, los medios de transporte terrestre se mueven con más facilidad y por ende, la economía se mueve mejor.

En México, los altos costos de operación causados por el mal estado de las carreteras influyen directamente a la economía nacional. Miles de millones de pesos se pagan al año en costos de operación.

Además debe contemplarse el factor seguridad. Un pavimento en mal estado provoca un mayor número de accidentes, desde los baches, falta de señalización, deformaciones, escasa rugosidad, etc., todos los factores juntos aumentan considerablemente la probabilidad de que ocurran desgracias. Por supuesto, también se encuentra la responsabilidad compartida del usuario, que debe ser prudente al conducir un automóvil.

Es de vital importancia para el inicio del presente trabajo remontarse a los inicios del transporte en México y en el mundo. Es por eso que en el primer capítulo de nuestra investigación nos preocuparemos por analizar históricamente la evolución de la ingeniería del transporte y de los caminos, de acuerdo a los tiempos y a las situaciones que se vivían en otras épocas.

Asimismo, es importante conocer los tipos de pavimentos y de asfaltos existentes en México actualmente, así como conocer conceptos básicos del control de la calidad. Se hace hincapié en los asfaltos modificados, resaltando sus cualidades y defectos, así como las

pruebas de laboratorio que se llevan a cabo para su control de calidad. Se mencionan además las principales características que se observan en las emulsiones asfálticas. Todo lo anterior se expresa en el presente trabajo, el cual nace a partir de una idea concebida para la realización de una tesis.

Es importante resaltar que es de suma importancia el conocimiento pleno de las pruebas que deben desarrollarse para construir una carretera de calidad. Todo aquel ingeniero que tenga como propósito dedicarse a la construcción de carreteras debe tener en cuenta todas y cada una de las pruebas, y saber ejecutarlas correctamente para que la vida útil de la obra construida sea la adecuada.

Por ello se debe examinar la situación actual relacionada a los pavimentos. Se analizan los aspectos que tienen que ver con el crecimiento desmesurado del tránsito vehicular a través de las carreteras del país, así como en la Ciudad de México. Puede observarse que de acuerdo a las estadísticas de crecimiento obtenidas de diversas páginas de internet, el aforo vehicular aumenta con el paso del tiempo en forma exponencial.

El Gobierno Federal se ha propuesto darle una pronta solución a este problema a través de su Plan de Infraestructura 2007-2012, en el cual se observa el proyecto de mantenimiento a las carreteras existentes y construir otras nuevas. La inversión que se necesita para llevarse a cabo es muy importante, dándole prioridad a las carreteras transversales, es decir, aquellas que cruzan el país de oriente a poniente, esto debido a que son las más costosas de construir debido a las condiciones orográficas de la República Mexicana. Se ha impuesto una meta para, de esta manera, hacer que México sea competitivo en Infraestructura con otros países que se encuentran muy por encima de las condiciones actuales de Infraestructura de nuestro país.

Pero para lograr que verdaderamente las carreteras sean competitivas, deben construirse con calidad. Es por esto que se analizan también las condiciones necesarias que deben cubrir los materiales de construcción, así como los procedimientos constructivos, que

son necesarios satisfacer para que exista calidad en la Infraestructura carretera. Se observarán los errores más recurrentes que se cometen en la construcción y cómo afectan al pavimento, describiendo los diferentes tipos de fallas que son provocadas por lo anterior, cuando no se cumplen los estándares de calidad o no se realiza el debido mantenimiento preventivo, logrando con esto que el pavimento no cumpla con la vida útil para la cual fue diseñado. Por eso se requiere buscar técnicas constructivas que proporcionen al pavimento de mejores características que aumenten su calidad.

Los resultados del sistema CASAA (Carpeta Asfáltica Superficial Altamente Adherida) pueden observarse desde hace años en otros países como Estados Unidos, donde su aplicación es más común. En México su aplicación es todavía limitada porque no existe una cultura de actualización de los métodos. Pocas son las empresas y las personas preocupadas por innovar y aplicar lo nuevo, cosa que debe cambiar, ya que todo profesionalista debe estar actualizado en información relacionada a su actividad.

En esta tesis se describe el sistema CASAA y se dan los requisitos y las especificaciones para su diseño y construcción. En las normas de la SCT ya existe una regulación de este sistema, así que puede ser aplicado en México sin problema alguno.

Para poder justificar el empleo del Sistema CASAA para mejorar la calidad de los pavimentos asfálticos, se muestran varios ejemplos en los que se ha aplicado en México. Estas obras fueron realizadas por Sem Materials y han mostrado muy buenos resultados con el paso del tiempo.

Se describen resultados del equipo de laboratorio a fin de demostrar el buen comportamiento del pavimento con este Sistema. Generalmente para comprobar el buen desempeño de un pavimento se realiza la prueba de Macrotextura a fin de determinar su rugosidad. Tres ejemplos se describen: la carretera Toluca – Cd. Altamirano, la carretera México – Querétaro y el puente Chiapas.

Después de todo lo anterior, conviene mencionar que el objetivo principal de esta tesis es *“Analizar el sistema CASAA como una alternativa de solución para mejorar la calidad de los pavimentos asfálticos, investigando los principales problemas que se presentan en su construcción y analizando las empresas que se encargan de la construcción y mantenimiento de dichos pavimentos asfálticos”*.

Se elaboraron las siguientes hipótesis de trabajo para esta investigación:

- La falla temprana de algunas carreteras se debe a:
 - a) la mala calidad de los materiales.
 - b) La mala aplicación del procedimiento constructivo.
 - c) Cálculos de espesores y proporcionamientos mal efectuados.
- ¿Acaso la negligencia afecta la calidad de las carreteras en nuestro país?
- Cuanto mayor sea la experiencia de una empresa constructora, mejor será la calidad de sus carreteras construidas.
- El Sistema CASAA mejora la calidad del pavimento reduciendo su mantenimiento preventivo y alargando su vida útil.

Para comprobar o desmentir dichas hipótesis, el procedimiento metodológico de esta investigación se divide en dos apartados:

1. Investigación documental, el cual incluye la descripción de las características generales de los pavimentos, los asfaltos y los asfaltos modificados. Además por medio de Internet logró conseguirse información relevante de la situación actual de la red carretera nacional así como de las acciones que se están tomando para mejorarla.
2. Investigación de campo, que inicia con la aplicación de una encuesta a empresas constructoras que se especializan en pavimentos, a fin de conocer de primera mano información proveniente de ingenieros especialistas en el ramo. Esta investigación continúa con la búsqueda de información del Sistema CASAA, y la visita a tramos que se han construido con este sistema.

Por esto es que se considera importante esta investigación, ya que analiza las condiciones de los pavimentos de información obtenida de primera mano, y propone y recomienda un sistema que mejore la calidad de los pavimentos.

CAPÍTULO I.
GENERALIDADES.

1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS.

Los medios de comunicación por tierra, agua y aire son conocidos como motores de la vida social y económica, Así como poderosos instrumentos de la civilización. Han aparecido en cada uno de ellos variedades que dependen de la clase de elemento y de su manera de utilizarlo. Así, en los transportes por tierra, se tienen las carreteras con sus diferentes categorías y los ferrocarriles con su diversidad de vías; en los transportes por agua, están las comunicaciones marítimas y las fluviales, y en la transportación aérea el tráfico comercial y de pasajeros se incrementa día a día de manera asombrosa.

En épocas pasadas las comunicaciones marítimas y fluviales llegaron a ser las más importantes, ya que la construcción de caminos para vehículos de tracción animal resultaba extremadamente difícil para los antiguos, dadas las precarias condiciones predominantes de la época, mientras que las embarcaciones les facilitaba la tarea. A continuación se describe la evolución histórica del transporte:

1800 – 1900. Como ejemplo del tipo de caminos que se construyeron en estas fechas podemos citar el siguiente:

La construcción de la Red Nacional que inicia en Cumberland y termina en Vandalia, en Estados Unidos (1806 – 1830) tiene las siguientes características: es un camino de 6.10m, construido sobre un derecho de vía de 20.11m. El camino contaba con una base de 0.3m cubierta, por 0.15m de piedra triturada colocada en forma compacta, puentes con forma de arcos de piedra y casetas de cobro cada 24 km. con rejas de acero sólido.¹

A finales del siglo XIX se logró un diseño práctico para los vehículos de motor de gasolina que recorrían las carreteras. Esta innovación radical en lo referente a la tecnología de los transportes por carretera evolucionó lentamente, sin dar muchos indicios del papel tan importante que habría de desempeñar en el siglo XX.

En cuanto a caminos en México, a principios del siglo XIX el sistema de comunicaciones fue descuidado en su mantenimiento. Por un abandono sensible y perjudicial se halla casi extinguido en la Nueva España el uso de carros y carretas. Esta situación empeoró con el inicio de la guerra de Independencia. La lucha prolongada dañó las comunicaciones de modo considerable y disminuyó las actividades

¹ HAY WILLIAM. “**Ingeniería del transporte**”. Primera edición. Edit. Limusa. México. 1983. p. 39, 41.

comerciales. La urgencia de dedicar los arbitrios² reales a gastos de guerra impidió toda labor de mantenimiento, y los caminos quedaron en completa ruina. Durante los primeros años de la época independiente (1821 – 1852) se expidieron leyes y decretos relativos a caminos, que nunca se cumplieron debido a la pobreza del erario y a la inestabilidad política. En un documento oficial leído ante el Soberano Congreso Constituyente de 1824, se dijo:

“Algunos puentes se rompieron para impedir el paso de las tropas, el empedrado se desmejoró y las corrientes de las aguas llovedizas descarnaron por todas partes los terraplenes. El camino a Acapulco está en el más decadente estado y por falta de reparaciones hay parajes intransitables hasta la arriería”.³

A la caída del imperio de Maximiliano, se iniciaron las reparaciones de los caminos más importantes. El gobierno de Porfirio Díaz, en un principio, no concedió mayor importancia a los caminos carreteros, pues parecía que los ferrocarriles solucionaban el problema de las comunicaciones. Las carreteras que unían poblaciones, pero que no conducían al ferrocarril, fueron descuidadas al grado que se volvieron intransitables. Sin embargo en 1893 el Presidente declaraba:

“Como para el mantenimiento del tráfico de las vías férreas son necesarios los productos agrícolas y mineros de comarcas que aun no disfrutaban de ese medio de transporte, el Ejecutivo atiende a la reparación de las carreteras ya existentes y a la apertura de algunas nuevas, cuya necesidad se justifica, en cuanto se lo permitían las preferentes atenciones del erario y ayudando para tal efecto a los Estados, que son los directamente interesados en esas mejoras”.⁴

En 1891 se creó el Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas, con lo cual se concretó la construcción de nuevos caminos.

1900 – 2008. Para cuando se creía que los caminos habían quedado relegados al papel secundario de auxiliares del ferrocarril, para recoger la carga local y llevarla al vagón de los mismos, la mecanización de los vehículos volvió a hacer que los caminos se consideraran como esenciales en la economía de los transportes terrestres. El perfeccionamiento de los motores de combustión ejerció de inmediato una influencia extraordinaria en la estructura y función de los caminos, implantándose una nueva técnica en la construcción y conservación de los mismos con el uso de los asfaltos.

² **Arbitrio** es la facultad que tiene la voluntad de elegir o de determinarse.

³ “**Enciclopedia de México Tomo II**”. Edición especial. Compañía editora de Enciclopedias de México. 1987. p. 1191.

⁴ *Ibid.* p. 1191, 1192

Los combustibles se encarecieron, los automóviles y camiones aumentaron su costo de forma tremenda, así como sus respectivas refacciones y reparaciones, y los camiones no pueden competir con el ferrocarril en capacidad. Se puede decir entonces que el ferrocarril tiene una gran capacidad de transporte, pero el elevado costo del tendido de vías, instalaciones y conservación le impiden llegar a todas partes, ya que en determinadas áreas y para algunos recorridos no es económico. Las carreteras en cambio pueden llegar a todas partes y comunicar los centros más importantes con los más pequeños y lejanos lugares.

En México, el 22 de septiembre de 1905 se estableció una junta directiva encargada de construir y reparar carreteras troncales o generales. El gobierno federal cubría el costo de las nuevas carreteras, que luego eran entregadas a los gobiernos de los estados para que atendieran a su conservación.

Al terminar el régimen porfirista, en 1915, las comunicaciones habrían sufrido las consecuencias de la rebelión armada: puentes volados, carreteras destruidas, estaciones de ferrocarril incendiadas, etc. En 1918 se formó la Carta General de Caminos y en ella se apoyaron los proyectos de apertura, modificación, localización y reparación.

El presidente Plutarco Elías Calles (1924 – 1928) creó la Comisión Nacional de Caminos el 6 de abril de 1925 y se determinaron cuatro categorías de caminos nacionales. Se reglamentó el uso de materiales, según el volumen del tráfico, y se empezaron a estudiar la naturaleza del terreno, los costos locales y los recursos disponibles en las regiones. Debido al creciente número de vehículos y a la inexistencia de empresas especializadas, el gobierno de Calles contrató con la empresa Byrne Brothers Corp. la construcción de los caminos México – Puebla, México – Cuernavaca y México – Pachuca, bajo el sistema de administración. Inicialmente los ingenieros mexicanos no participaron activamente en las obras, pero dos años más tarde el gobierno consideró que la Comisión Nacional de Caminos podía asumir la responsabilidad técnica y ejecutar los proyectos. A partir de 1928 sin excepción, los caminos de México han sido proyectados, construidos y conservados por ingenieros y compañías nacionales

Actualmente México cuenta con una red de carreteras de gran capacidad que cruzan de norte a sur y de este a oeste el territorio nacional. Cabe resaltar que a pesar de que cada vez la infraestructura carretera en México es mejor, la demanda de tránsito crece día con día de manera asombrosa y se van haciendo insuficientes las carreteras existentes actualmente. Es por esto necesario cuidar la calidad de las carreteras que se construyen y darles el mantenimiento preventivo necesario para que el transporte en nuestro país evolucione satisfactoriamente.

1.2 PAVIMENTOS.

1.2.1. FINALIDAD DE LOS PAVIMENTOS.

En el caso de los pavimentos, la finalidad principal de la obra es la indeformabilidad, íntimamente ligada a la capacidad estructural de las capas constitutivas, para lo cual se requieren los estudios previos del terreno de cimentación y de las propiedades de resistencia y deformabilidad de los materiales constitutivos.

Físicamente el pavimento es un sistema multicapa, constituido por materiales de características mecánicas conocidas, dispuestos en capas de espesor conocido. De esta manera, el pavimento está caracterizado por las propiedades, disposición y cantidad de los materiales utilizados, así como de la calidad de la construcción. Debe hacerse hincapié que muchas veces se cree que el pavimento corresponde solamente a la carpeta asfáltica y es un error, ya que como se mencionó anteriormente, el pavimento es un sistema multicapa.

Cuando actúan sobre el pavimento funciones tales como las cargas producidas por el tránsito, se generan respuestas inmediatas del pavimento que obedecen leyes físicas identificadas como estados de esfuerzos, deformaciones unitarias y deflexiones.

La aplicación constante de estas solicitaciones, conjuntamente con factores de tipo ambiental, entre otros, producen la presencia continua y repetida de los estados de esfuerzos, deformación permanente y deflexiones, lo que genera efectos de naturaleza permanente progresiva, acumulada interactuante y dependiente del tiempo,

denominados **deterioros**. Dichos deterioros se clasifican principalmente en agrietamientos, distorsiones, desintegraciones y disminución de la resistencia al derrapamiento, cuya magnitud y extensión progresan con el tiempo, hasta alcanzar valores críticos, límite o terminales, que definen las condiciones de falla de los pavimentos.

Un pavimento bien construido, debe proporcionar seguridad, economía y comodidad. Las propiedades de los pavimentos deben resistir tanto el intemperismo como también soportar las cargas y los efectos destructivos del tránsito. El proyecto de un pavimento debe involucrar los aspectos de diseño estructural, materiales y su disposición, tránsito, clima, aspectos constructivos y estrategias de conservación, cuya eficiencia debe juzgarse a través de su evaluación beneficio-costos. Un pavimento debe reunir los siguientes atributos:

- Capacidad para soportar las cargas.
- Resistencia adecuada al derrapamiento.
- Regularidad superficial longitudinal y transversal.
- Rápida eliminación del agua superficial.
- Bajo nivel de ruido.
- Bajo nivel de desgaste de las llantas.
- Adecuadas propiedades de reflexión luminosa.
- Apariencia agradable.

1.2.2. PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Son aquellos que están constituidos por una carpeta asfáltica en su superficie de rodamiento. Se definen como sigue:

Pavimento que consiste de capa(s) de mezcla asfáltica sobre las capas de base de asfalto tratado, base tratada cementada, base granular, y/o sub-base granular, todo ello apoyado en la capa subrasante⁵

Las capas del pavimento flexible se describen como sigue:

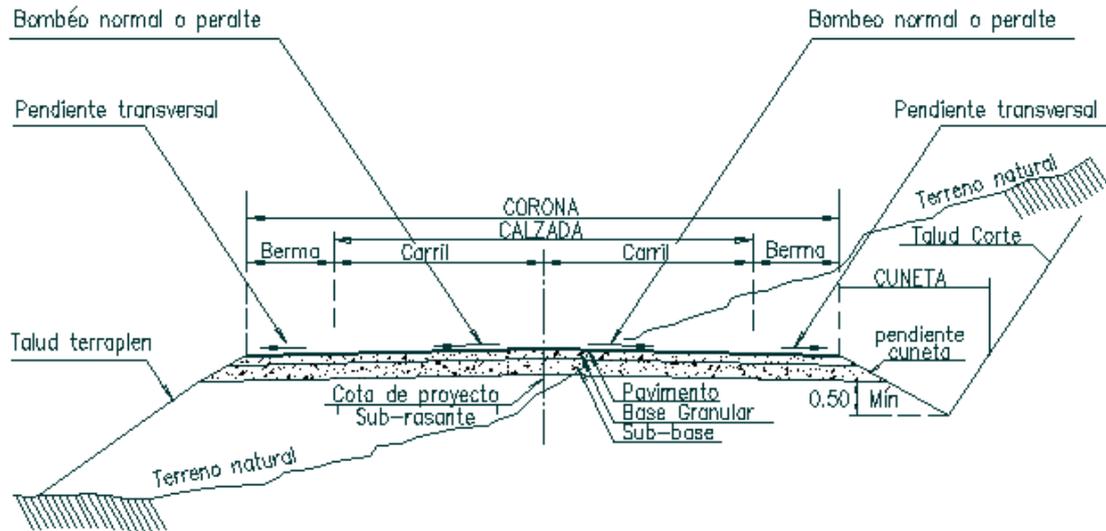
Sub-base. La capa de sub-base es la porción de la estructura de pavimento flexible entre la subrasante y la capa de base. La sub-base comúnmente consta de una capa compactada de material granular, ya sea tratada o no tratada, o una capa de suelo tratada

⁵ “Glosario especializado de terminología asfáltica”. Asociación Mexicana del Asfalto A.C. 2008. P. 80.

con una mezcla conveniente. Además de su posición en el pavimento comúnmente se distingue del material de la capa de base por requerimientos menos estrictos de la especificación, La capa de sub-base se usa en general para aumentar económicamente la resistencia del pavimento arriba de la provista por los suelos de la subrasante, sin embargo, la sub-base puede omitirse, si la estructura requerida de pavimento es relativamente delgada o si los suelos de la subrasante son de alta calidad.

Base.- La capa de base es la porción de la estructura de pavimento flexible inmediatamente debajo de la capa superficial. Se construye sobre la capa de sub-base o si esta no se usa, directamente sobre la subrasante. Su principal función es como una porción estructural del pavimento. La base comúnmente consta de agregados como piedra triturada, escoria triturada o grava triturada o sin triturar y arena, o la combinación de estos materiales. Los agregados pueden usarse tratados o no tratados con aglomerantes estabilizadores como cemento Pórtland, asfalto o cal. En general, las especificaciones para materiales de la capa base son considerablemente más estrictas que las de los materiales de sub-base

Carpeta Asfáltica.- Además de su función principal como una parte estructural del pavimento, la capa superficial se debe proyectar para resistir las fuerzas abrasivas de tráfico, limitar la cantidad de agua superficial que penetra en el pavimento, proveer una superficie resistente a deslizamiento, y proporcionar una superficie lisa y uniforme para la transportación. La capa superficial también debe ser durable, capaz de resistir fracturas y desmoronamientos sin llegar a ser inestable en las condiciones del tráfico y del clima. Comúnmente construido sobre una capa de base, la capa superficial de una estructura de pavimento flexible consta de una mezcla de agregados minerales y de materiales bituminosos. El concreto asfáltico para capa superficial se prepara generalmente por mezclado en la planta de agregados calientes, relleno mineral y cemento asfáltico. Las especificaciones de construcción en general exigen que antes de colocar una capa superficial, se aplique material líquido bituminoso sobre las capas de base de agregado, sin tratar como una capa primaria, y en las capas de base tratados y entre las capas superficiales como una capa de liga.



Sección transversal típica de un pavimento flexible.

Fuente: www.iingen.unam.mx

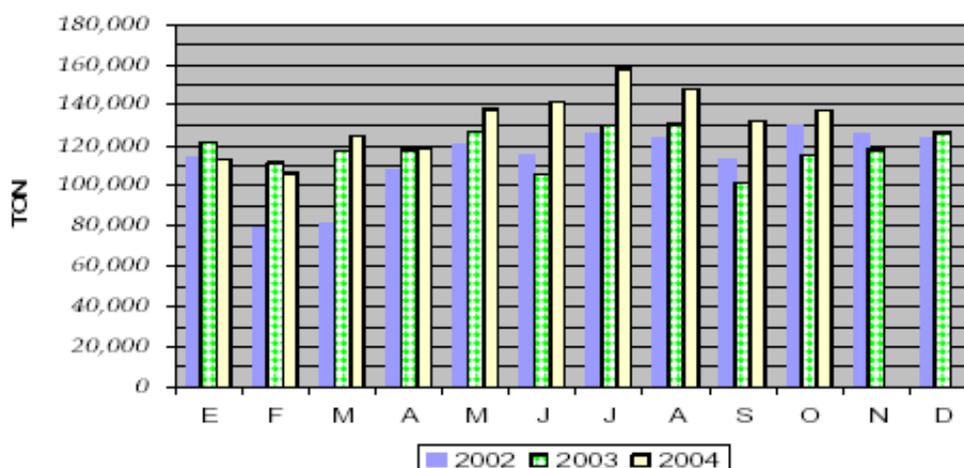
1.3. ASFALTOS.

1.3.1. ANTECEDENTES.

Son productos que se obtienen en el proceso de la destilación del petróleo y que permiten, mediante su incorporación, a un material pétreo con una composición granulométrica determinada, elaborar mezclas, ya sea en frío o en caliente, que pueden constituir superficies de rodamiento estables, durables y seguras de los vehículos, denominadas carpetas asfálticas. Estos elementos deben reunir las propiedades de estabilidad, resistencia al intemperismo, resistencia al desgranamiento, flexibilidad y textura. Las mezclas asfálticas son materiales cuyo comportamiento mecánico depende de la magnitud de las cargas aplicadas, en particular de la velocidad de aplicación y de la temperatura.

Actualmente el 96% de las carreteras pavimentadas están hechas con asfalto. En la siguiente gráfica se puede observar el consumo del asfalto tan sólo en México:

VENTAS ASFALTO AC-20 NACIONAL



Fuente: Curso Antecedentes y uso actual de los asfaltos. Asociación Mexicana del Asfalto A.C.

1.3.2. OBTENCIÓN DE LOS ASFALTOS.

El asfalto se produce en las refinerías a partir del petróleo crudo y representa entre el 3 y 4% del total del crudo procesado. En México existen 5 refinerías que producen asfalto con las siguientes capacidades instaladas:

REFINERÍA	NÚMERO DE BARRILES POR DÍA
Cadereyta	20,000
Madero	30,000
Salamanca	20,000
Tula	4,500
Salina Cruz	4,000

Fuente: Curso "Los Asfaltos". Ignacio Cremades. Asociación Mexicana del Asfalto A.C.

Los crudos que se manejan para el asfalto son el parafínico-ligero, el parafínico-nafténico, el nafténico (maya) y el aromático. Los dos últimos son los preferidos para producir asfalto debido a su bajo contenido de parafinas.

Para su almacenamiento deben considerarse los siguientes aspectos:⁶

- Se mantiene en la refinería entre 3 y 20 días.
- En algunas zonas no se puede pavimentar en invierno debido a las bajas temperaturas, por lo que se requieren grandes almacenes.

⁶ CREMADES IGNACIO. Curso "Los Asfaltos". Asociación Mexicana del Asfalto.

- Deben estar aislados térmicamente y con sistema de calentamiento, el asfalto se mantiene líquido a 120-130°C, temperatura a la que se transporta.
- Para mantener uniformidad en el producto se agita mediante bombas y se genera una atmósfera inerte (N₂) en la superficie para prevenir la oxidación y aumentar la seguridad.
- Para el transporte, se considera que un radio de 300km alrededor de la refinería es operativamente efectivo.

Las propiedades deseables de las mezclas asfálticas son estabilidad, durabilidad, flexibilidad, resistencia a la fatiga, resistencia al derrapamiento, impermeabilidad, trabajabilidad y adhesividad.

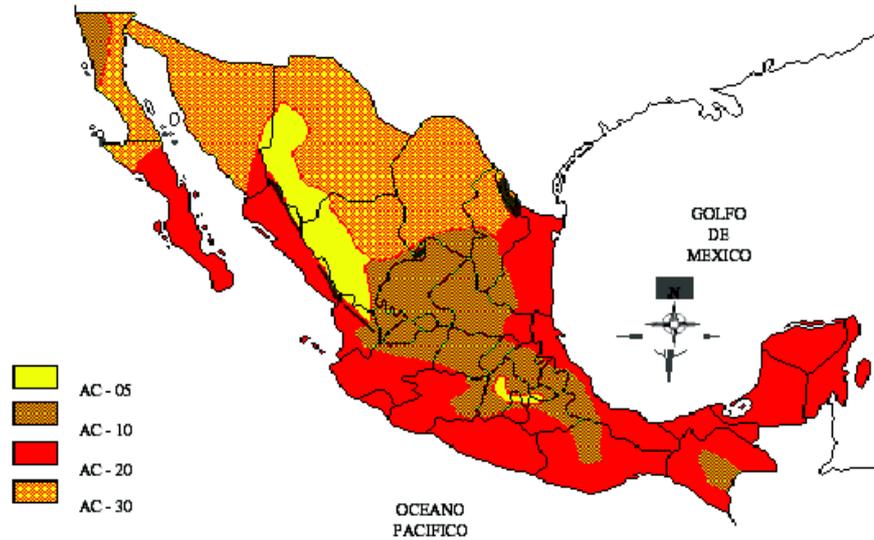
Las mezclas asfálticas empleadas en trabajos de pavimentación de acuerdo con las características de elaboración, se clasifican en:⁷

- **Mezclas elaboradas en caliente (concretos asfálticos).**- Se hacen en caliente, con materiales pétreos bien graduados y cemento asfáltico, en una planta mezcladora fija. Para la fabricación de cementos asfálticos modificados, este es el tipo de mezcla que se utiliza.
- **Mezclas elaboradas en frío.**- Se hacen en el lugar (in situ) o en planta con materiales graduados y un asfalto rebajado o una emulsión asfáltica, en una planta mezcladora móvil o con una motoconformadora.

1.3.3. TIPOS DE ASFALTOS.

En la siguiente tabla se muestra la clasificación de los cementos asfálticos según su viscosidad dinámica a 60°C, resaltando su empleo de acuerdo a la zona geográfica del país, de acuerdo al mapa que se muestra

⁷ ZÁRATE AQUINO MANUEL. Curso UNAM: “Construcción y Conservación de Pavimentos”. México. 1986. p. 4.

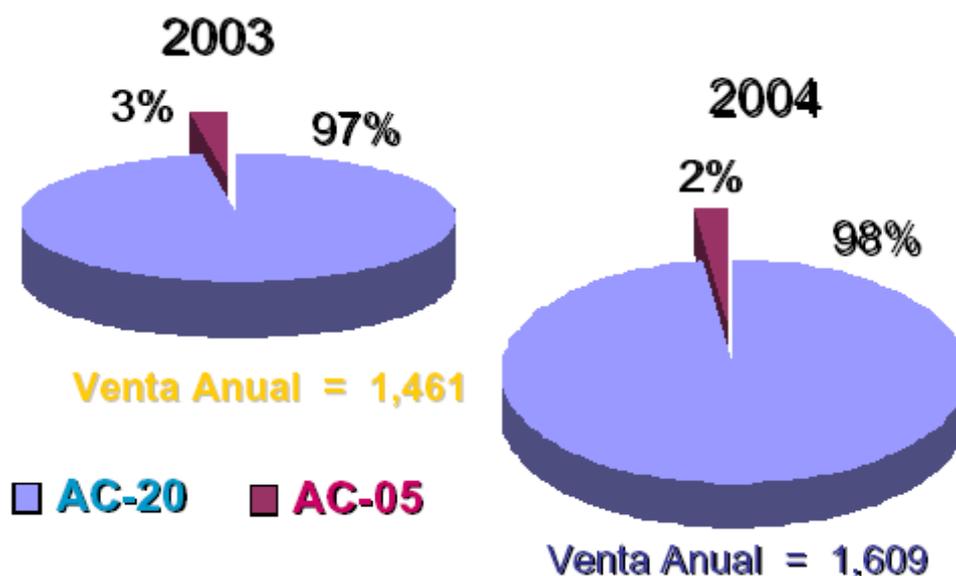


Fuente: Curso Antecedentes y uso actual de los asfaltos. Asociación Mexicana del Asfalto A.C.

Clasificación	Viscosidad a 60°C Pa-s	Regiones donde se utiliza
AC-5	50 +/- 10	Zona 1, para carpetas de mezcla caliente, riegos de impregnación, de liga y poreo con arena, así como en estabilizadores.
AC-10	100 +/- 20	Zona 2, para carpetas de mezcla en caliente. Zona 1, en la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos.
AC-20	200 +/- 40	Zona 3, para carpetas de mezcla en caliente. Zona 2, en la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos.
AC-30	300 +/- 60	Zona 4, para carpetas de mezcla en caliente. Zona 3 y 4, en la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por sistema de riegos. En general para elaborar asfaltos rebajados, para utilizarse en carpetas de mezcla en frío, así como en riegos de impregnación.

Fuente: Curso Antecedentes y uso actual de los asfaltos. Asociación Mexicana del Asfalto A.C.

Las ventas en México por tipo de asfalto se muestran en la siguiente gráfica:



Fuente: Curso Antecedentes y uso actual de los asfaltos. Asociación Mexicana del Asfalto A.C.

1.3.4. ASFALTOS MODIFICADOS.

Los asfaltos modificados ofrecen mejores características que los asfaltos convencionales, como baja susceptibilidad térmica, alta resistencia a las deformaciones plásticas, mayor durabilidad, etc., mejorando sus características reológicas⁸, para una amplia gama de condiciones de temperatura y de aplicación de cargas, adaptando el asfalto a las condiciones de trabajo.

Los asfaltos modificados se emplean en carpetas densas para soportar altos niveles de tránsito, en mezclas semiabiertas y abiertas, morteros, capas antipropagación de grietas, etc. Su costo debe considerarse teniendo en cuenta los beneficios alcanzados. Los tipos de modificadores son:⁹

- **Polímero tipo I.-** Mejora el comportamiento de mezclas asfálticas tanto a altas como a bajas temperaturas. Se usa en carpetas delgadas y estructurales de pavimentos con alto índice de tránsito, con vehículos pesados y climas fríos o cálidos. Es fabricado con base en bloques de estireno, en polímeros

⁸ La **Reología** es la ciencia del flujo que estudia la deformación de un cuerpo sometido a esfuerzos externos

⁹ Curso “**Antecedentes y uso actual de los asfaltos**”. Asfaltos modificados. Asociación Mexicana del Asfalto.

elastoméricos radiales de tipo bloque o tribloque, mediante configuraciones como **Estireno-Butadieno-Estireno (SBS) o Estireno-Butadieno (SB)**.

- **Polímero tipo II.-** Mejora el comportamiento de mezclas asfálticas a bajas temperaturas. Se utiliza en todo tipo de mezclas asfálticas en las que se requiera mejorar su comportamiento en climas fríos y templados. Es fabricado con base en polímeros elastoméricos lineales, mediante una configuración de **caucho de Estireno, Butadieno-Látex o Neopreno-Látex**.
- **Polímero tipo III.-** Mejora la resistencia al ahuellamiento (roderas) de las mezclas asfálticas, disminuye la susceptibilidad del cemento asfáltico a la temperatura y mejora su comportamiento a altas temperaturas. Se utiliza en climas calientes, en mezclas asfálticas para carpetas estructurales y alto índice de tránsito. Es fabricado con base en un polímero de tipo plastómero, mediante configuraciones como **Etil-Vinil-Acetato (EVA) o polietileno de alta o baja densidad (HDPE, LDPE)**.
- **Hule molido de neumáticos.-** Mejora la flexibilidad y resistencia a la tensión de las mezclas asfálticas, reduciendo la aparición de grietas por fatiga o cambios de temperatura. Se utiliza en carpetas delgadas de granulometría abierta y tratamientos superficiales. Este modificador ha ido cayendo en desuso, debido al alto costo y dilación del correspondiente proceso industrial.

Para lograr un control en la construcción de pavimentos con los asfaltos modificados, deben utilizarse los materiales adecuados y realizar pruebas de homogeneidad y grado de modificación. El empleo de los modificadores está condicionado al análisis de las ventajas que se obtengan de ellos para mejorar el comportamiento mecánico y la duración de los trabajos de pavimentación en cada caso específico y de acuerdo con las condiciones climáticas, de tránsito, la rigidez de la estructura del pavimento, la disponibilidad de los materiales, el período de vida útil considerado en el diseño, la estrategia de mantenimiento y el costo de operación de los vehículos, entre otros. Su uso depende de la evaluación económica.

El mezclado de los modificadores se efectúa en una planta industrial, utilizando los equipos especiales adecuados para el tipo de modificador que se emplee. Los requisitos de calidad para cementos asfálticos modificados son lo que se muestran en la siguiente tabla:

Características	Tipo de cemento asfáltico (tipo de modificador)					
	AC-5 (Tipo I,II)	AC-20 (Tipo I)	AC-20 (Tipo II)	AC-20 (Tipo III)	Nombre de la prueba	Clave de manual SCT
Del cemento asfáltico modificado:						
Viscosidad Saybolt-Furol a 135°C; s, máximo	500	1000	1000	1000	Viscosidad Saybolt-Furol en materiales asfálticos	M-MMP-4-05-004/00
Viscosidad rotacional Brookfield a 135°C, Pa s, máximo	2	4	3	4	Viscosidad rotacional Brookfield de cementos asfálticos	M-MMP-4-05-005/02
Viscosidad rotacional Brookfield (tipo Haake) a 177°C, Pa s, máximo	/	/	/	/	Viscosidad rotacional Brookfield de cementos asfálticos	M-MMP-4-05-005/03
Penetración:					Penetración en cementos y residuos asfálticos	M-MMP-4-05-006/00
-A 25°C, 100g, 5s; 10 ⁻¹ mm, mínimo	80	40	40	30		
-A 4°C, 200g, 60s; 10 ⁻¹ mm, mínimo	40	25	25	20		
Punto de inflamación Cleveland; °C, mínimo	220	230	230	230	Punto de inflamación Cleveland en cementos asfálticos	M-MMP-4-05-007/00
Punto de reblandecimiento, °C, mínimo	45	55	55	53	Punto de reblandecimiento en cementos asfálticos	M-MMP-4-05-009/00
Separación, diferencia anillo y esfera, °C, máximo	3	3	3	4	Separación en cemento asfáltico modificado	M-MMP-4-05-022/02
Recuperación elástica por torsión a 25°C; %, mínimo	25	35	30	15	Recuperación elástica por torsión en cemento asfáltico modificado	M-MMP-4-05-024/02
Resiliencia, a 25°C, %, mínimo	20	20	20	25	Resiliencia en cemento asfáltico modificado	M-MMP-4-05-023/02
Del residuo de la prueba de la película delgada, (3,2 mm, 50g):						
Pérdida por calentamiento a 163°C; %, máximo	1	1	1	1	Pruebas en el residuo de la película delgada de cementos asfálticos	M-MMP-4-05-010/02
Penetración a 4°C, 200g, 60s; 10 ⁻¹ mm mínimo	/	/	/	/	Penetración en cementos y residuos asfálticos	M-MMP-4-05-006/00
Penetración retenida a 4°C, 200g, 60s; %, mínimo	65	65	65	55	Penetración en cementos y residuos asfálticos	M-MMP-4-05-006/00
Recuperación elástica en ductilómetro a 25°C, %, mínimo	50	60	60	30	Recuperación elástica en ductilómetro	M-MMP-4-05-026-02
Incremento en temperatura, anillo y esfera; °C, máximo	/	/	/	/		
Módulo reológico de corte dinámico a 76°C (G*/senδ); kPa, mínimo	/	2.2	2.2	2.2	Módulo reológico de corte dinámico	M-MMP-4-05-025/02
Módulo reológico de corte dinámico a 64°C (G*/senδ); kPa, mínimo	2.2	/	/	/	Módulo reológico de corte dinámico	M-MMP-4-05-025/03
Ángulo de fase (δ) (viscoelasticidad), a 76°C; ° (grados), máximo	/	75	70	75	Módulo reológico de corte dinámico	M-MMP-4-05-025/03
Ángulo de fase (δ) (viscoelasticidad), a 64°C; ° (grados), máximo	75	/	/	/	Módulo reológico de corte dinámico	M-MMP-4-05-025/03

Se encuentran resaltadas en negritas las características de calidad que se revisan en la ejecución de la obra. En el caso de que el asfalto modificado con polímero

presente problemas de estabilidad o de separación, se utilizará un agente estabilizador o antiseparador. Las pruebas se describirán más adelante.

Los principales problemas que se presentan en el empleo de asfaltos modificados son los siguientes:¹⁰

1. Aun cuando se han incrementado las instalaciones para efectuar la incorporación de polímeros o hule molido de llanta a los cementos asfálticos, el tipo de equipo, la tecnología empleada no siempre son los adecuados.
2. En muchas de las plantas de emulsiones no cuentan con la tecnología para hacer las modificaciones.
3. Falta implementar más laboratorios con equipo adecuado para el control de calidad de campo.
4. Prácticamente no existen laboratorios equipados para desarrollar las pruebas de calidad completas, que incluyan la reología del asfalto.

1.3.5. EMULSIONES ASFÁLTICAS.

Una emulsión asfáltica es una dispersión fina de un producto asfáltico, generalmente cemento asfáltico, en agua en el que es insoluble, resultando un sistema inestable, que se estabiliza temporalmente con un aditivo emulsificante, normalmente una enzima o un producto saponificado.

Las emulsiones asfálticas son líquidos de color chocolate casi tan fluidos como el agua y de la cual contienen entre 30% y 45%, siendo ésta importante para dar fluidez al conjunto.

Las primeras emulsiones asfálticas aparecen en Francia en 1920, siendo aniónicas y en la década de los 50's aparecen las emulsiones catiónicas.

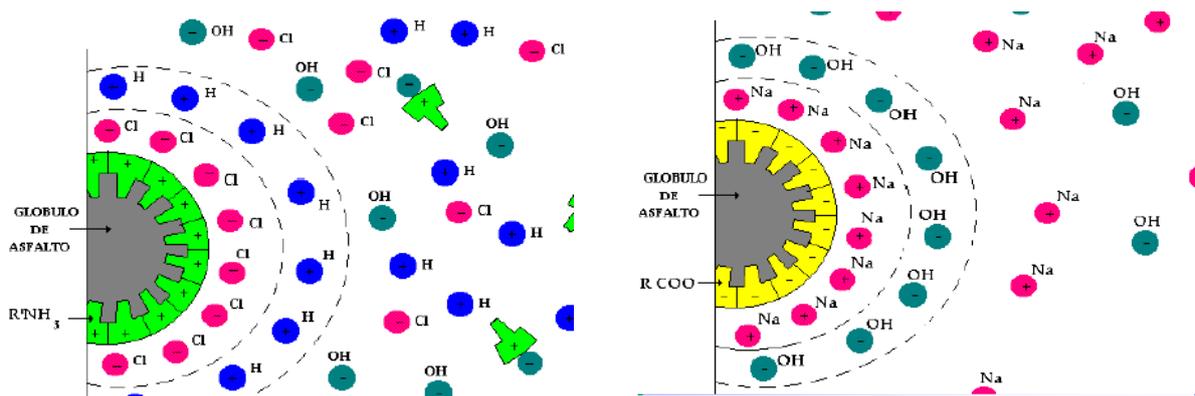
Para conseguir que el agua y el cemento asfáltico queden emulsionados es necesario reducir el cemento asfáltico a pequeñas gotas de tal manera que queden flotando en el agua. Se añade una fuerza electrostática de repulsión que impide la unión

¹⁰ Ibid.

de unas con otras. El emulsificante empleado carga electrónicamente a las pequeñas gotas (micelas) con lo que se consigue que haya repulsión entre ellas.

En las emulsiones ácidas o catiónicas se puede observar que en las micelas del cemento asfáltico están cargadas positivamente, por lo que se produce una gran afinidad por los materiales pétreos cargados negativamente, como son los de alto contenido de sílice. En el momento en que las partículas de cemento asfáltico son atraídas por la superficie del material pétreo, la emulsión deja de mantenerse estable y rompe, quedando el cemento asfáltico incorporado en forma de película fina al material pétreo, evaporándose el agua posteriormente. Las emulsiones presentan las siguientes ventajas:¹¹

- No contaminan
- Bajo costo de producción
- Versatilidad en el uso de agregados pétreos
- Se puede trabajar con agregados húmedos
- Mayor tiempo productivo en la obra
- Mayor adherencia con los agregados
- Producto almacenable
- Se requieren 17.5 lt. de diesel menos para producir una tonelada de mezcla en frío que para producir una tonelada de mezcla en caliente.¹²



Emulsión catiónica.

Emulsión aniónica

Fuente: Antecedentes y uso actual de los asfaltos. Asociación Mexicana del Asfalto

¹¹ Cfr. CREMADES Ignacio.

¹² The Asphalt Institute. "Energy Requirements for Roadway Pavements".

En la siguiente tabla se puede apreciar la clasificación de las emulsiones asfálticas:

CLASIFICACIÓN	CONTENIDO DE CEMENTO ASFÁLTICO EN MASA %	TIPO	POLARIDAD
EAR-55	55	Rompimiento rápido	Aniónica
EAR-60	60		
EAM-60	60	Rompimiento medio	
EAM-65	65		
EAL-55	55	Rompimiento lento	
EAL-60	60		
EAI-60	60	Para impregnación	
ECR-60	60	Rompimiento rápido	Catiónica
ECR-65	65		
ECR-70	70		
ECM-65	65	Rompimiento medio	
ECL-65	65	Rompimiento lento	
ECI-60	60	Para impregnación	
ECS-60	60	Sobrestabilizada	

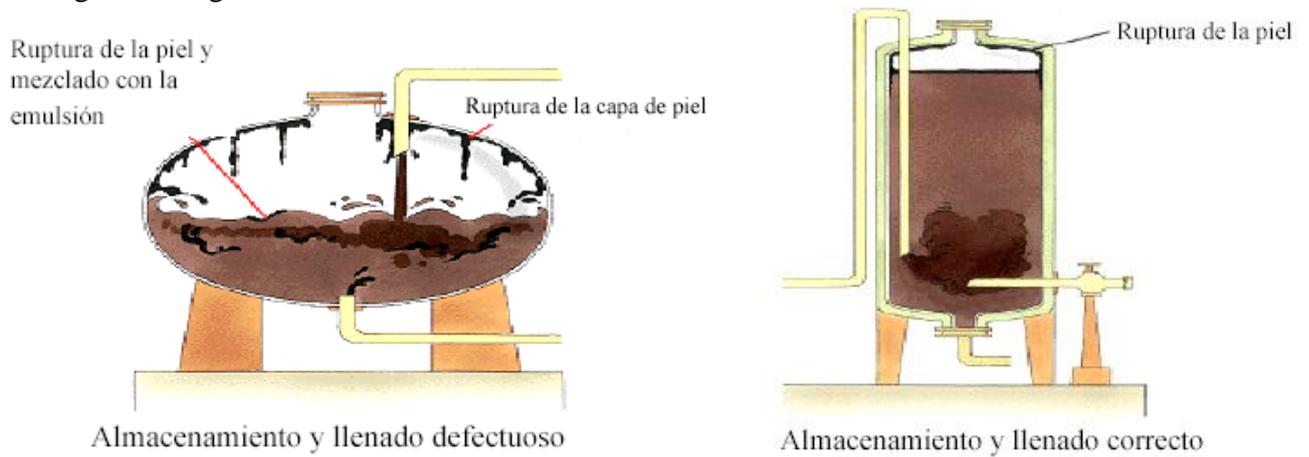
Fuente: Antecedentes y uso actual de los asfaltos. Asociación Mexicana del Asfalto

En cuanto a calidad, las principales pruebas que se realizan a las emulsiones son:

- **Porcentaje de residuo asfáltico.** Permite determinar el grado de homogeneidad que conservan las emulsiones asfálticas durante períodos prolongados.
- **Asentamiento.** Depende de la viscosidad, el tamaño y distribución de la partícula, del contenido de asfalto y de la diferencia de densidades agua/asfalto.
- **Viscosidad.** Depende de la concentración del asfalto y de su dureza.
- **Retenido en malla No. 20.** Indica si la emulsión ha sido fabricada correctamente y anticipa posibles problemas como asentamiento o taponamiento de los tubos aspersores.
- **Tamaño de partícula.**
- **Carga de la partícula.** Indica el signo de la carga electrostático de las micelas y qué tan rápido se desplazan cuando se hace pasar un campo eléctrico en el medio.

- **Demulsibilidad.** Es la capacidad de separar el agua, agregada en forma higroscópica¹³ de las partículas o micelas. El ensayo se realiza mezclando 40 ml de agua destilada con 40 ml de aceite, agitarla a 54 °C. El grado de demulsibilidad lo da el tiempo que se requiere para volver a separar las dos fases (agua y asfalto).

Las emulsiones se aplican en bacheo, tratamientos superficiales, penetración, mezclas en frío, procesos de reciclado, etc. En cuanto a su almacenaje, se observan las siguientes figuras:



Fuente: Curso Asfaltos, generalidades y caracterización. Asociación Mexicana del Asfalto.

Para el transporte deben considerarse los siguientes aspectos:

- Los transportes deben ser mayores de 10 Ton, con diafragmas rompeolas.
- El vaciado y llenado se puede hacer por presurización del tanque o con bomba.
- Los equipos se deben lavar perfectamente.



Pipa con diafragmas rompeolas

¹³ El término **higroscópico** se refiere a todos los compuestos que atraen agua en forma de vapor o de líquido de su ambiente.

1.4. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS.

Los materiales pétreos son los materiales naturales seleccionados o sujetos a tratamientos de disgregación, cribado, trituración o lavado, que aglutinados con un material asfáltico se emplean en la elaboración de mezclas asfálticas.

Cuando el tránsito esperado (ΣL) sea igual o menor a un millón de ejes equivalentes¹⁴ o menor, el material pétreo, según su tamaño nominal, cumplirá con las características granulométricas que se establecen más adelante. De acuerdo a la norma, los requisitos de calidad que deben reunir los materiales pétreos para carpetas asfálticas de granulometría densa son:

Para $\Sigma L \leq 10^6$

Malla		Tamaño nominal del material pétreo mm (in)				
Abertura mm	Designación	12.5 (1/2)	19 (3/4)	25 (1)	37.5 (1 1/2)	50 (2)
50	2"	/	/	/	/	100
37.5	1 1/2"	/	/	/	100	90-100
25	1"	/	/	100	90-100	76-90
19	3/4"	/	100	90-100	79-92	66-83
12.5	1/2"	100	90-100	76-89	64-81	53-74
9.5	3/8"	90-100	79-92	67-82	56-75	47-68
6.3	1/4"	76-89	66-81	56-71	47-65	39-59
4.75	No. 4	68-82	59-74	50-64	42-58	35-53
2	No. 10	48-64	41-55	36-46	30-42	26-38
0.85	No. 20	33-49	28-42	25-35	21-31	19-28
0.425	No. 40	23-37	20-32	18-27	15-24	13-21
0.25	No. 60	17-29	15-25	13-21	11-19	9-16
0.15	No. 100	12-21	11-18	9-16	8-14	6-12
0.075	No. 200	7-10	6-9	5-8	4-7	3-6

¹⁴ La metodología AASHTO considera la vida útil de un pavimento relacionada con el número de repeticiones de carga que podrá soportar el pavimento antes de llegar a las condiciones de servicio final predeterminadas para el camino. El método AASHTO utiliza en su formulación el número de repeticiones esperadas de carga de Ejes Equivalentes, es decir, que antes de entrar a las fórmulas de diseño, debemos transformar los Ejes de Pesos Normales de los vehículos que circularán por el camino, en Ejes Sencillos Equivalentes de 18 kips (8.2 Ton), también conocidos como ESAL's.

Característica	Valor
Densidad relativa, mínimo	2.4
Desgaste Los Ángeles; %, máximo	35
Películas alargadas y lajeadas; %, máximo	40
Equivalente de arena, %, mínimo	50
Pérdida de estabilidad por inmersión en agua, %, máximo	25

Para cualquier valor de ΣL

Malla		Tamaño nominal del material pétreo mm (in)				
Abertura mm	Designación	12.5 (1/2)	19 (3/4)	25 (1)	37.5 (1 1/2)	50 (2)
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	No. 4	56-69	45-59	37-48	30-39	25-34
2	No. 10	28-42	25-35	20-29	17-24	13-21
0.85	No. 20	18-27	15-22	12-19	9-16	6-13
0.425	No. 40	13-20	11-16	8-14	5-11	3-9
0.25	No. 60	10-15	8-13	6-11	4-9	2-7
0.15	No. 100	6-12	5-10	4-8	2-7	1-5
0.075	No. 200	2-7	2-6	2-5	1-4	0-3

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

El material pétreo debe almacenarse en tolvas o silos metálicos sin orificios, con superficie interior lisa y limpia, y deben estar suficientemente alejados uno del otro.

El Contratista de Obra debe hacerse responsable al seleccionar el banco, que cumpla con las características y requisitos de calidad necesarios para lograr una calidad en la mezcla asfáltica. Deben realizarse pruebas por cada 250m³ de material extraído,

1.5. CARPETAS ASFÁLTICAS CON MEZCLA EN CALIENTE.

Las carpetas asfálticas con mezcla en caliente son aquellas que se construyen mediante el tendido y compactación de una mezcla de materiales pétreos y cemento asfáltico, modificado o no, utilizando calor como medio para incorporar el asfalto. Según la granulometría del material pétreo que se utilice, pueden ser de granulometría densa, semiabierta o abierta.

Los dos últimos tipos de granulometría proporcionan una superficie de rodadura uniforme, bien drenada, resistente al derrapamiento, cómoda y segura, pero no se les considera capacidad estructural alguna.

Para la fabricación de las mezclas asfálticas en caliente o concreto asfáltico se utilizan generalmente dos tipos de plantas: las de dosificación o bachas y las de mezcla en tambor (Drum) de producción continua. Hace unos años se utilizó una planta continua con tolvas dosificadoras por volumen y mezcladora de paletas.



Planta de dosificación o bachas



Planta de producción continua.

En los dos tipos de plantas el alimentador de agregados fríos es fundamental para obtener un alto rendimiento. Por supuesto que el alimentador de fríos a su vez está ligado a la producción de agregados: trituración, primarios, secundarios, terciarios y cribas vibratorias. Es conveniente que la producción de agregados se haga con anticipación.

En las plantas hay una parte de ellas que tiene importancia muy relevante, que es el sistema de recolección de finos y la forma en que se eliminan o controlan para evitar la polución. El quemador del secador impulsado por el ciclón, jala gran parte del polvo en suspensión, con gran cantidad de partículas y éstas son las que hay que eliminar para evitar una contaminación.

Previo a la construcción de la carpeta, se realiza un tramo de prueba, de una longitud de 400 metros, con la finalidad de evaluar el procedimiento y los equipos que se utilizarán.

De acuerdo a la norma N-CTR-CAR-1-04-006/06 del la SCT, el tendido de la mezcla se realiza como sigue:

- Después de elaborada la mezcla, se extiende y se conforma con una pavimentadora autopropulsada.
- Si la mezcla está quemada, no se permite su tendido.

- El Contratista determina, mediante la curva viscosidad-temperatura, las temperaturas mínimas convenientes para el tendido y compactación de la mezcla.
- El tendido debe hacerse en forma continua.
- Tratándose de una carpeta de granulometría densa, cuando el tendido se haga en dos o más franjas, con un intervalo de más de un día entre franjas, éstas se ligan con cemento asfáltico o con emulsión de rompimiento rápido.
- Cuando se trate de carpetas de granulometría semiabierta o abierta, se pueden evitar las juntas longitudinales utilizando pavimentadoras en batería.
- Para carpetas de granulometría densa, la cara expuesta de las juntas transversales se recortará aproximadamente a 45° antes de iniciar el siguiente tendido, ligando las juntas con cemento asfáltico o con emulsión de rompimiento rápido.
- Se debe tener especial cuidado para que el enrasador haga el traslape de las juntas de tres a cinco centímetros y que el control del espesor sea ajustado de tal manera que el material quede ligeramente por arriba de la capa previamente tendida.
- Cuando el tendido se haga por capas, la capa sucesiva no se tiende hasta que la temperatura de la capa anterior sea menor de 70°C en su punto medio. El tendido de las carpetas de granulometría semiabierta o abierta se hará en una sola capa.
- Cada capa de mezcla asfáltica se coloca cubriendo como mínimo el ancho total del carril.
- Durante el tendido de la mezcla, la tolva de descarga de la pavimentadora debe permanecer llena, para evitar la segregación de los materiales.
- Al final de cada jornada se limpian las partes de la pavimentadora.
- No se tienden tramos mayores de los que puedan ser compactados de inmediato.
- En el caso de carpetas de granulometría semiabierta o abierta, el tiempo de almacenamiento de la mezcla no debe exceder de 30 minutos.

Posterior al tendido, se realiza inmediatamente la compactación como sigue:

- En el caso de granulometría densa, la capa extendida se compacta lo necesario para lograr que cumpla con las características indicadas en el proyecto.
- En el caso de carpetas de granulometría semiabierta o abierta, la mezcla se compacta mediante dos pasadas con compactadores de rodillo liso metálico estático, con una masa mínima de 10Ton.

- La compactación debe hacerse longitudinalmente a la carretera, de las orillas hacia el centro en las tangentes y del interior al exterior en las curvas, con un traslape de cuando menos la mitad del ancho del compactador en una pasada.
- El uso de compactadores vibratorios sólo se permite para compactación de capas mayores a 4cm de espesor, en carpetas de granulometría densa.
- La compactación se termina cuando la mezcla asfáltica tenga una temperatura igual a la mínima conveniente para la compactación.

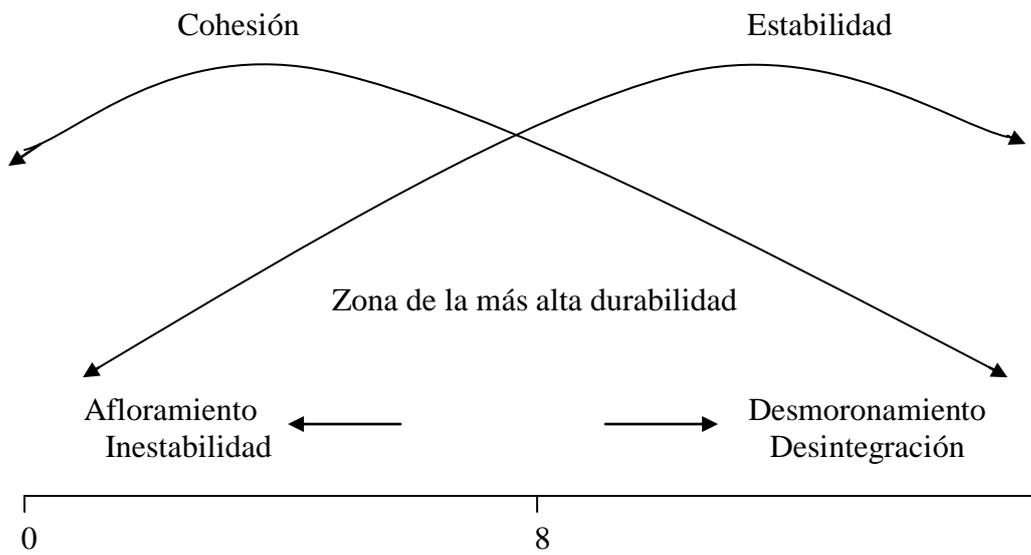
Para garantizar la calidad de la mezcla, los materiales pétreos, asfálticos y aditivos deben cumplir con las características requeridas por el diseño. Para analizar la calidad del material se extraen corazones de acuerdo con la siguiente relación:

$$c = L / 50$$

Donde c es el número de corazones por extraer y L la longitud del tramo en metros.

Sucede a veces que algunas zonas de la carpeta presentan una textura más abierta que la general y para uniformizar esa textura, se dan más pasadas de neumático en esa zona. La realidad es que en esas zonas se produjeron segregaciones y no se obtuvo la composición granulométrica proyectada. Al iniciarse el tendido y compactación de la mezcla de un trabajo, se deben elaborar las curvas de temperatura para uniformizar los trabajos de compactación durante las mañanas, a medio día y en las tardes.

El diseño de una mezcla contempla un porcentaje de vacíos que por especificación debe ser entre 3% y 5%. Al fijarse un máximo de 95% de compactación, respecto a la masa volumétrica máxima obtenida en la prueba Marshall de control, la mezcla en el lugar alcanza un porcentaje de vacíos entre 8% y 10%. De aquí deducimos que cuando la mezcla de diseño tenga un 3% de vacíos, debemos de vigilar no pasarnos del 95% de la especificada, ya que para un 98% de compactación para una mezcla de diseño de 3% nos darían unos vacíos del 5%, lo cual con el tiempo nos colocaría en la zona de inestabilidad de acuerdo a la gráfica que se muestra más adelante. En caso inverso, para una mezcla de 5% de vacíos en el diseño y un % de compactación de un 94% nos daría un 11% de vacíos en la mezcla colocada, lo que podría producir una desintegración prematura de la mezcla; por lo que se puede concluir que el porcentaje de vacíos de diseño de una mezcla está muy relacionada con el porcentaje de compactación obtenido en el lugar.



Durabilidad del pavimento versus contenido de vacíos.

Las siguientes imágenes muestran la maquinaria más importante que se emplea en la construcción de pavimentos asfálticos:



Pavimentadora

Camión de volteo



Compactadora de rodillo liso



Compactadora sobre neumáticos



Planta móvil de cribado

1.6. NORMATIVA TÉCNICA NECESARIA PARA ASFALTOS MODIFICADOS.

En los **proyectos ejecutivos** se deben establecer los requisitos de calidad que definan las características indispensables que permitan satisfacer las necesidades de los usuarios con **seguridad, eficacia y eficiencia**. De esta forma se realizarán obras duraderas y económicas.

Todo lo anterior es materia de la **Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas y su Reglamento**, quedando comprendidos dentro de los servicios relacionados con las obras públicas:

“La planeación y el diseño, incluyendo todos los trabajos para concebir, diseñar, proyectar y calcular los elementos que integran un proyecto de ingeniería básica, estructural, de instalaciones, de infraestructura, industrial, electromecánica y de cualquier otra especialidad de la ingeniería que se requiera para integrar un proyecto ejecutivo de obra pública”¹⁵

El **Reglamento de la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas** contiene las definiciones de las especificaciones generales y particulares de construcción, de normas de calidad de proyecto arquitectónico y de ingeniería. Define las normas de calidad como:

“Requisitos **mínimos** que –conforme a las especificaciones generales y particulares de construcción- se establecen para asegurar que los materiales y equipos de instalación permanente que se utilizan en cada obra, sean los adecuados”.¹⁶

De acuerdo al artículo 9 del Reglamento:

“Las dependencias y entidades que por las características, complejidad y magnitud de las obras que realicen, cuenten o requieran de normas técnicas para aplicar en sus especificaciones generales de construcción, *deberán exigir su cumplimiento*”¹⁷

Tal es el caso de la **Secretaría de Comunicaciones y Transportes**.

Además señala el artículo 76 de la LOPSRM que:

“...la Secretaría de la Función Pública podrá verificar la calidad de los trabajos a través de laboratorios, que pueden ser aquellos con los que cuente la dependencia, en los términos que establece la LFMN”.¹⁸

La Normativa de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes en vigor comprende una gran cantidad de normas para cada uno de los aspectos relacionados a carreteras. A continuación se enlistan las normas que son necesarias para lograr los objetivos de calidad respecto a los asfaltos modificados.

¹⁵ SUÁREZ SALAZAR. **Ley De Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas**. Artículo 4. Edit. Limusa. 2007. México

¹⁶ Ibid. Artículo 1. Fracción V.

¹⁷ Ibid. Artículo 9.

¹⁸ Ibid. Artículo 76

- N-CTR-CAR-1-04-006/06. Carpetas asfálticas con mezcla en caliente.
- N-CAL-1-01/05. Ejecución del control de calidad durante la construcción o conservación.
- N-CMT-4-04/03. Materiales pétreos para mezclas asfálticas.
- N-CMT-4-05-002/06. Calidad de materiales asfálticos modificados.

1.7. ASPECTOS GENERALES DE LA CALIDAD.

1.7.1. ANTECEDENTES.

El Doctor Armand V. Feigenbaum creó el concepto de gestión de calidad o de gestionar la calidad. Introdujo un programa de calidad de la General Electric, que aparece en 1951 en su libro “Total Quality Control”. Proveniendo de estos orígenes, la calidad empezó a circular por todo el mundo, sobretodo a partir de 1960. A partir de 1970 el concepto “norma de calidad” se ha convertido en una constante en la historia industrial del mundo moderno.

Para lograr elevar la calidad se crearon las primeras normas de calidad del mundo mediante el aseguramiento de la calidad, las cuales funcionaron en la industria militar de EUA en la Segunda Guerra Mundial. Entre 1942 y 1945 Edwards Deming contribuyó a mejorar la calidad de la industria norteamericana enfocada únicamente a la guerra. Deming llegó a Tokio y en 1947 inició sus primeros contactos con ingenieros japoneses y se convirtió en el padre de la calidad japonesa, cabe destacar que los japoneses no tenían antecedentes en control de calidad.

1.7.2. CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN.

El control de calidad es el sistema integrado de actividades, factores, influencias, procedimientos, equipos y materiales que afectan al establecimiento y logro del nivel de calidad estipulado para que la obra cumpla con su propósito. Se divide en tres etapas:¹⁹

- **Previsión.**- Se realiza antes de la construcción.

¹⁹ Cfr. M. ZÁRATE. Op.cit. p. 3.

- **Acción.**- Aceptación, corrección y/o rechazo durante la etapa de construcción.
- **Historia.**- Registro histórico de la información requerida por el proyecto.

En el ramo de la construcción es sumamente importante controlar la calidad, ya que el incumplimiento de tal concepto influye directamente en lo estipulado en el contrato y en la calidad de la construcción. Además es importante tener en cuenta que la vida de la población se encuentra en las manos de los constructores, por lo que no deben tener duda alguna en el momento de hacer las cosas bien, con la calidad esperada.

Cuando una obra se realiza con mala calidad, repercute inmediatamente en el usuario provocando rechazos, reprocesos, repeticiones, retrasos y desperdicios, cuyos costos suelen ser muy elevados y afectan a las empresas. Es por esto que es muy necesario manejar las siguientes filosofías:

“LA CALIDAD TIENE QUE SER CAUSADA, NO CONTROLADA”

- Philip B. Crosby

“SI LAS COSAS SE HICIERAN BIEN DESDE LA PRIMERA VEZ, PRÁCTICAMENTE NO HABRÍA PROBLEMAS DE FALLAS Y RETRASOS”²⁰

“LOGRAR BUENA CALIDAD TIENE UN COSTO, PERO EL COSTO DE LA MALA CALIDAD SIEMPRE ES MAYOR”²¹

Entonces resulta necesario definir control de calidad como:

...un sistema que permite valorar las características de interés del producto, comparar estos valores con los requisitos de proyecto o de diseño, evaluar las desviaciones de calidad que presente el proceso productivo, identificando sus causas, y finalmente, efectuar las acciones que corrijan las deficiencias observadas.²²

Un buen control de calidad genera una obra duradera, la satisfacción del cliente y una mayor participación en el mercado, generando, mayores recursos para la empresa y un gran prestigio y confianza. Este control **DEBE** aplicarse en todas y cada una de las etapas de la obra, desde la planeación hasta el mantenimiento. Esto se logra mediante

²⁰ Ibid.

²¹ Ibid.

²² Ibid.

acciones de apreciación y de prevención. Entre las acciones de apreciación se encuentran:

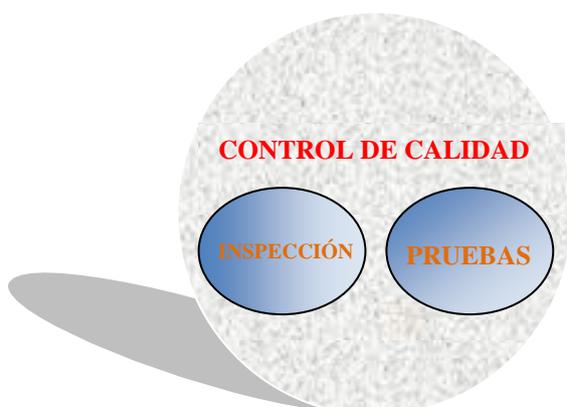
- ✓ Pruebas al producto terminado.
- ✓ Inspección de materias primas.
- ✓ Supervisión durante el proceso productivo.
- ✓ Auditorías y revisión del trabajo realizado por otros.

Algunas acciones de prevención son:

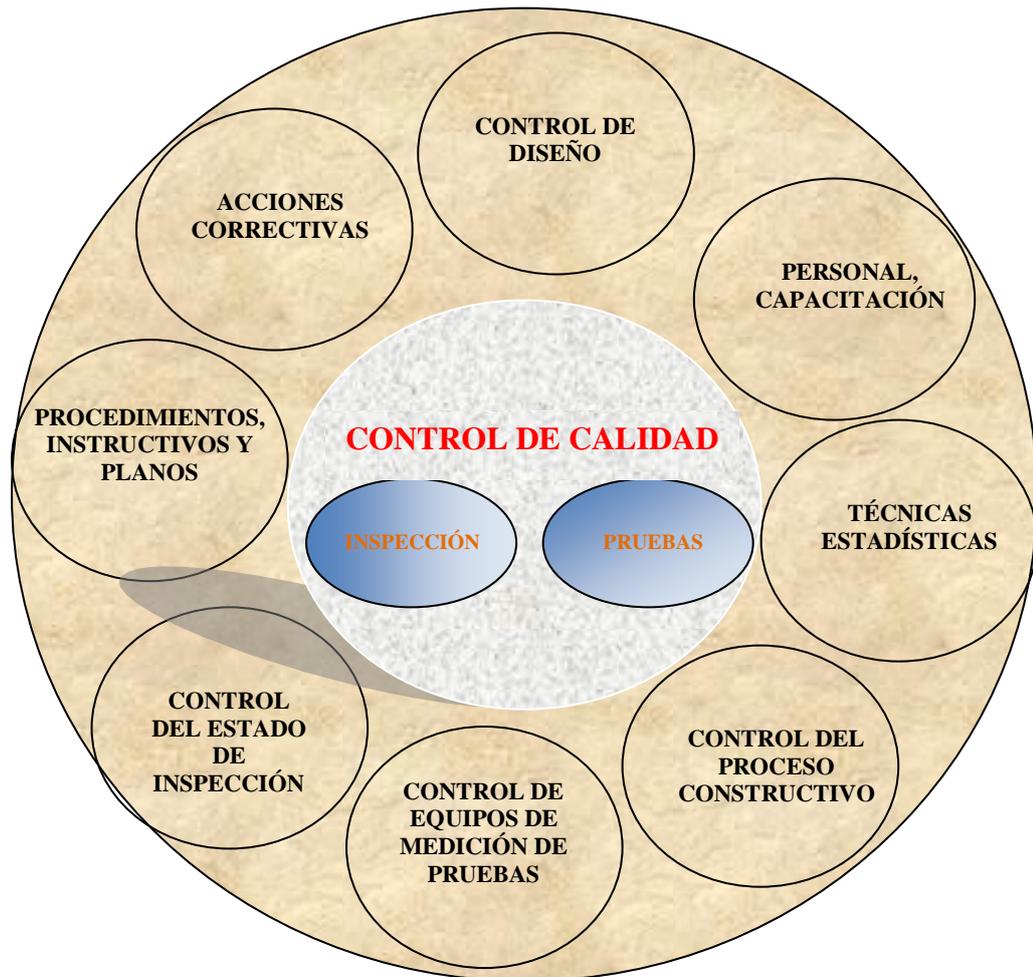
- ✓ Entrenamiento y capacitación de los trabajadores, operadores de maquinaria y técnicos.
- ✓ Planeación y normalización de la calidad.
- ✓ Mantenimiento y calibración preventivos de la maquinaria y equipos.
- ✓ Control estadístico del proceso.

1.7.3. CONSIDERACIONES PARA INTEGRAR UN SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD.

El aseguramiento de calidad sigue una serie de lineamientos, que son de suma importancia conocerlos para que se logre el objetivo. Las empresas no sólo deben tener conocimiento de dichos lineamientos de aseguramiento de calidad, sino saberlos aplicar correctamente y de acuerdo a las condiciones particulares de la obra. Se debe garantizar que se está obteniendo lo requerido, en el menor tiempo y sin desperdicio de materiales. Para esto deben conocerse unas gráficas de control de calidad y del aseguramiento de calidad:



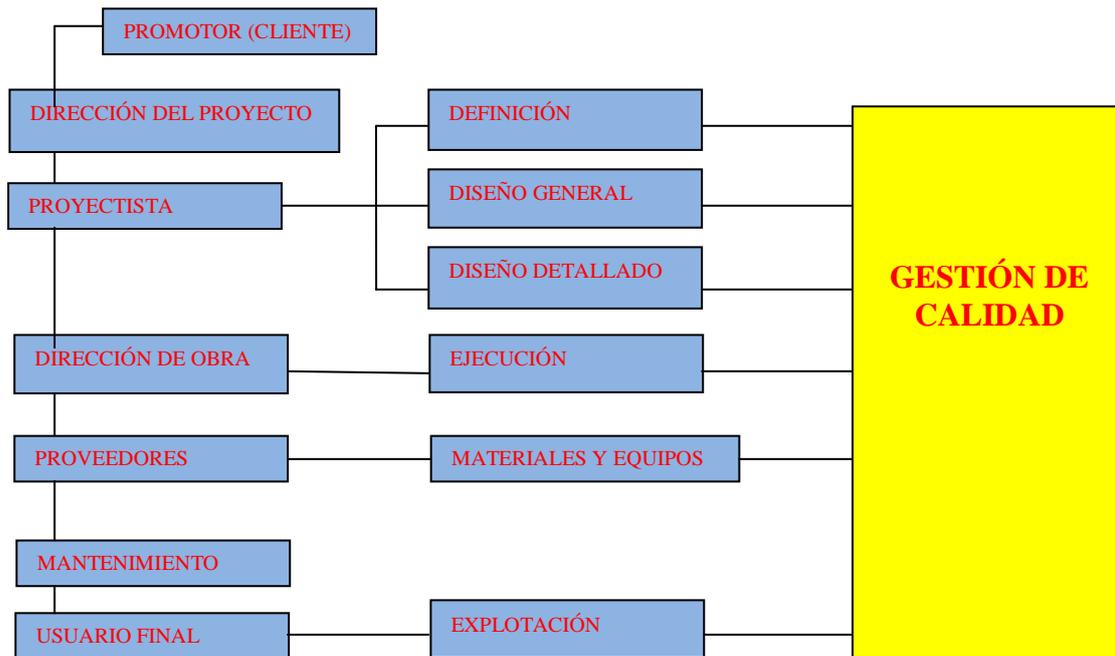
Fuente: SOTO GONZÁLEZ Ernesto. Curso “Criterios de pavimentos flexibles y calidad de mezclas asfálticas, control de calidad durante la construcción” Asociación Mexicana del Asfalto A.C.



Fuente: SOTO GONZÁLEZ Ernesto. Curso “Criterios de pavimentos flexibles y calidad de mezclas asfálticas, control de calidad durante la construcción” Asociación Mexicana del Asfalto A.C.

La calidad de una obra depende de la materia prima utilizada, de los equipos de trabajo disponibles y del procedimiento constructivo aplicado, y es el ingeniero constructor el responsable de la misma. La evaluación oportuna y confiable de la calidad le permite al constructor corregir desvíos, afinar el proceso o tener la confianza de que se está cumpliendo el proyecto. Una obra hecha con calidad le da al constructor grandes beneficios como:

- Ahorros de tiempo y de recursos.
- Óptimo aprovechamiento de equipos.
- Evitar discusiones con el contratante.
- Mejorar su capacidad y prestigio para lograr otros contratos.



Fuente: SOTO GONZÁLEZ Ernesto. Curso “Criterios de pavimentos flexibles y calidad de mezclas asfálticas, control de calidad durante la construcción” Asociación Mexicana del Asfalto A.C.

Ahora bien, para llevar a cabo un control de calidad es necesario elaborar análisis estadísticos, a través de la recopilación de datos, su organización, su análisis y su posterior interpretación.

Para lograr los objetivos de esta tesis, en el tercer capítulo se exponen los resultados de las diferentes encuestas aplicadas a empresas dedicadas a la construcción de carreteras, a fin de analizar la situación actual de calidad por las que atraviesan.

Otro aspecto importante del control de calidad lo constituye el conjunto de pruebas de laboratorio, que proporciona lo que pudiera considerarse la base metodológica y técnica del programa de control de calidad. Éstas deben cumplir con las siguientes características:

- Estar dirigidas a la comprobación de las características esenciales.
- Ser sencillas y rigurosamente estandarizadas.
- Ser rápidas en su realización.
- Ser de fácil interpretación.
- Requerir equipos económicos, fáciles de corregir y calibrar y de manejo simple.

Entonces, resulta que el control de calidad es un factor importante para lograr una buena obra de pavimentación, pero pocas constructoras tienen conocimiento de los métodos que se emplean para llevar un buen control. El Contratista de Obra debe, de acuerdo a la norma, contar en campo con el programa detallado de control de calidad, que debe incluir la forma y los medios a utilizar para evaluar la calidad de los materiales, así como de los equipos de instalación permanente que vayan a formar parte integral de la obra. Debe realizarse diario un informe de control de calidad elaborado por el Jefe de Control de Calidad, que abarque material, frente y concepto de obra al término de cada día.

1.8. PRUEBAS REALIZADAS A LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.

Para desarrollar el proyecto de la construcción de una carretera, es necesario y fundamental tener en cuenta las pruebas a las cuales debe someterse el material que va a ser empleado y, además, revisar que se encuentre libre de materias extrañas que lo contaminen. Para lograr precisión en las pruebas es necesario tomar en cuenta ciertas propiedades que deben reunir:

- **Repetibilidad.**- Es la expresión cuantitativa del error aleatorio asociado con un solo laboratorista ejecutante de la prueba, en un laboratorio dado, que obtiene resultados sucesivos con el mismo aparato, bajo condiciones constantes de operación y sobre el mismo material de prueba.
- **Reproducibilidad.**- Es la expresión cuantitativa del error aleatorio asociado con los laboratoristas trabajando en diferentes laboratorios, cada uno obteniendo resultados individuales sobre un material idéntico de prueba, cuando se aplica el mismo método.

La mala ejecución de las pruebas de laboratorio puede causar que la calidad de los materiales, y por ende, de la obra, sea baja. Para mejorar la confiabilidad en los resultados resulta necesario:

- Capacitar a los laboratoristas encargados de áreas especiales.
- La sustitución y modernización de equipos de laboratorio.

- Mejoramiento de instalaciones de laboratorio.
- Suministro de materiales y herramientas para laboratorios.

A continuación se describen las pruebas más importantes que deben ser practicadas a los cementos asfálticos modificados:²³

Viscosidad Saybolt-Furol.- Permite conocer la consistencia de los materiales asfálticos mediante sus características de flujo a una temperatura de 135°C para los cementos, de 25 y 50°C para las emulsiones y de 50 a 60°C para los asfaltos rebajados, 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.

Viscosidad Rotacional Brookfield.- 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.

Penetración.- Permite determinar la consistencia de los cementos asfálticos, así como de los residuos por destilación de las emulsiones y asfaltos rebajados, mediante la penetración vertical de una aguja en una muestra de prueba de dichos materiales bajo condiciones establecidas de masa, tiempo y temperatura.

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

²³ Manual: **Métodos de muestreo y prueba de materiales.** Capítulo M-MMP-4-05-004, 005, 006, 007, 009, 010, 011, 022, 023, 024, 025, 026. Normativa SCT.

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.

Punto de reblandecimiento.- 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.

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 asfaltos modificados, al residuo se le efectúan pruebas para determinar la pérdida de masa que experimentó, la penetración al residuo y la penetración que conserva respecto a la del cemento asfáltico modificado original, su ductilidad, recuperación elástica en ductilómetro, incremento de temperatura anillo y esfera, módulo reológico de corte dinámico y su ángulo de fase.

Ductilidad.- Permite determinar la capacidad para deformarse sin romperse de los cementos asfálticos, del residuo de la prueba de película delgada y de los residuos asfálticos obtenidos por destilación de emulsiones. Consiste en medir la máxima distancia a la cual una briqueta de dichos materiales puede ser estirada sin romperse.

Separación.- Consiste en comparar el punto de reblandecimiento (anillo y esfera) en las partes superior e inferior en las muestras tomadas de un tubo con asfalto modificado con polímero y sellado.

Resiliencia.- Permite conocer la resiliencia²⁴ en materiales asfálticos modificados sometiendo un espécimen a una prueba de penetración, con el fin de predecir el comportamiento futuro del asfalto.

²⁴ La **Resiliencia** es la cantidad de energía que puede absorber un material, antes de que comience la deformación plástica.

Recuperación elástica por torsión.- Permite determinar la capacidad de recuperación elástica de los materiales asfálticos modificados. La prueba consiste en inducir una deformación angular mediante un cilindro de acero de dimensiones específicas, embebido en una muestra de cemento asfáltico modificado, con el objeto de observar su capacidad de recuperación.

Módulo reológico de corte dinámico.- Permite determinar el módulo reológico de corte dinámico y el ángulo fase, como propiedades viscoelásticas lineales de un cemento asfáltico, sometiendo una muestra a esfuerzos de torsión utilizando un reómetro dinámico de corte. Es aplicable a cementos asfálticos con módulos complejos en el rango de 0.1 a 1000 kPa, los que se obtienen de forma típica entre 5 y 85°C.

Recuperación elástica en ductilómetro.- Permite determinar la recuperación elástica del residuo de la prueba de película delgada y de los residuos asfálticos obtenidos por destilación de emulsiones. La prueba consiste en mantener una muestra de prueba estirada en un ductilómetro durante un tiempo determinado después del cual se corta por la mitad, se deja reposar y finalmente se observa cuánto se recupera la deformación.

CONCLUSIONES CAPITULARES.

En unas cuantas páginas se han resumido los aspectos más importantes que hay que considerar para lograr que un pavimento sea construido y funcione adecuadamente.

Como todo procedimiento constructivo, existen normas a las cuales hay que acatarse y vigilar que se cumplan para que exista calidad en las cosas, en este caso en las carreteras de nuestro país.

Debe tenerse en cuenta la calidad de los materiales a emplear. Para lo cual es realmente importante aplicar las pruebas descritas para construir los pavimentos adecuadamente para asegurar que las obras alcancen su vida útil.

Para terminar este capítulo, se considera de vital importancia que los conceptos relacionados al control de calidad sean instruidos en las empresas, para que los trabajadores tengan conocimiento de cómo hacer las cosas bien. Así mejorarían muchos aspectos relacionados a la misma, no sólo en las construcciones, sino en todo lo que es consumido por la población día con día.

CAPÍTULO II: ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA

2.1. SITUACIÓN ACTUAL E IMPORTANCIA DE LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS.

Como se pudo observar en el capítulo 1, a través de los años la industria de la construcción en México se ha desarrollado de diferentes maneras. Desgraciadamente las guerras de los siglos pasados provocaron la destrucción de parte de la Infraestructura existente en esos años, provocando la necesidad de reconstrucción. En esos años no se tenía en México los conocimientos necesarios para llevar a cabo obras importantes y por eso se contrataban empresas extranjeras para que vinieran a hacer los trabajos (cosa que actualmente todavía puede observarse). Al combinarse la mano de obra y los recursos locales con las técnicas extranjeras, se hizo posible que en México existiera una importante Infraestructura de servicios.

La situación fue cambiando poco a poco, mediante políticas de sustitución de importaciones y fomentos se logró que la industria mexicana de construcción floreciera, y esto provocó que existiera una mayor participación en la ejecución de las obras nacionales. La tecnología traída por los extranjeros se adoptó y se adaptó a México y así se pudieron realizar obras muy importantes.

El crecimiento de la industria mexicana de la construcción fue favorecido por las oportunidades que México vivió durante las últimas décadas, por el flujo importante de recursos económicos internos y externos para aplicarse en obras públicas, una consolidación de tecnologías en uso y aportaciones de avances técnicos en algunas áreas de la ingeniería, el aprovechamiento de técnicos nacionales, obteniendo modestamente la asesoría extranjera, y la necesidad de atender un mercado nacional que requería de satisfactores urgentes.

De acuerdo a la investigación documental, hace unos años la calidad de los materiales y de las obras respondían a los requerimientos de proyecto, observándose un adecuado comportamiento y operación de las mismas. Sin embargo actualmente existe una deficiencia en el control de calidad, evidenciada por las manifestaciones de molestia de los usuarios, cuando las obras empiezan a fallar al poco tiempo de ser construidas.

Como consecuencia de lo anterior, los niveles de funcionamiento se vuelven inadecuados y se requieren programar trabajos de mantenimiento costosos que no son previstos en la planeación, dificultando la consecución de los recursos económicos necesarios para afrontarlos y perjudicando en gran medida a los usuarios. De acuerdo a Gerardo Gutiérrez Rocha, subdirector de control de calidad de la S.C.T., esta situación es provocada por algunos aspectos, que se mencionan enseguida:

- En relación con la planeación y el proyecto de las obras, se aprecia la aplicación de normas de calidad que no han sido actualizadas y que además son de observancia general, por lo que podrían no satisfacer las condiciones particulares de cada obra; por otra parte, las expectativas o consideraciones de diseño pueden ser limitadas y por lo tanto rebasadas a corto o mediano plazo por una mayor o distinta solicitud funcional de la obra.
- Por lo que se refiere al proceso de construcción o de fabricación, se presentan grandes variaciones en la calidad de los materiales o materia prima empleados, como consecuencia del escaso interés de los constructores de contar con laboratorios que los apoyen en el control de calidad; la utilización de procedimientos constructivos que no garantizan un comportamiento adecuado de los elementos estructurales, por no disponer de mano de obra calificada, maquinaria y equipos especializados; y la necesidad de cumplir con los programas de desarrollo de las obras bastante rígidos y comprometidos, que provocan descuidos y una falta de uniformidad en los trabajos.¹

Lo anterior está generando una revisión y actualización de las normas utilizadas en los proyectos y una tendencia a exigir calidad en los procesos y materiales empleados.

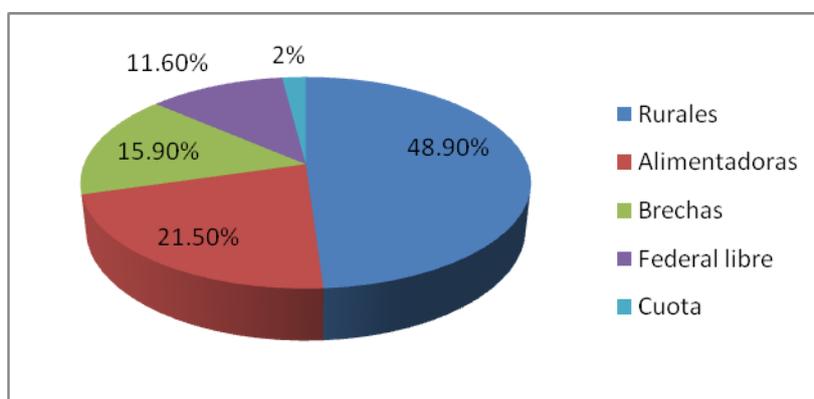
Actualmente se observa que la industria mexicana de la construcción está incursionando en el mercado internacional a través de algunas empresas constructoras, lo cual representa un reto de superación y búsqueda de la calidad en las obras para ser competitivo internacionalmente. Asimismo, empresas extranjeras participan en las licitaciones de obras mexicanas, lo que obliga a las empresas de nuestro país se preocupen en buscar la calidad, y que además es necesario que las licitadoras no sólo den el menor costo, sino que lo proyecten a largo plazo, es decir, tendiendo a reducir las correcciones y el mantenimiento debido a la mala ejecución y calidad de las obras. Así, la industria constructora nacional tendrá que innovar y desarrollar procedimientos constructivos y sistemas de trabajo más eficaces y de mayor producción para ser competitivo.

¹ GALINDO SOLÓRZANO, GUTIÉRREZ ROCHA. **La Importancia del Control de Calidad en la Modernización de la Industria de la Construcción**. Asociación Mexicana del Asfalto A.C.

Por esto, es necesario hacer uso de las técnicas modernas de control de calidad, cuyo profundo conocimiento y aplicación sistemática y oportuna permitirán asegurar una buena calidad y mayor economía de los trabajos y materiales en las obras. Es por esto que el control de calidad es un medio de que se dispone para atender las nuevas condiciones del mercado. En nuestro medio, se estima que la falta de laboratorios eficientes y capacitados, no permite asegurar una calidad uniforme y convincente en las obras de pavimentación.

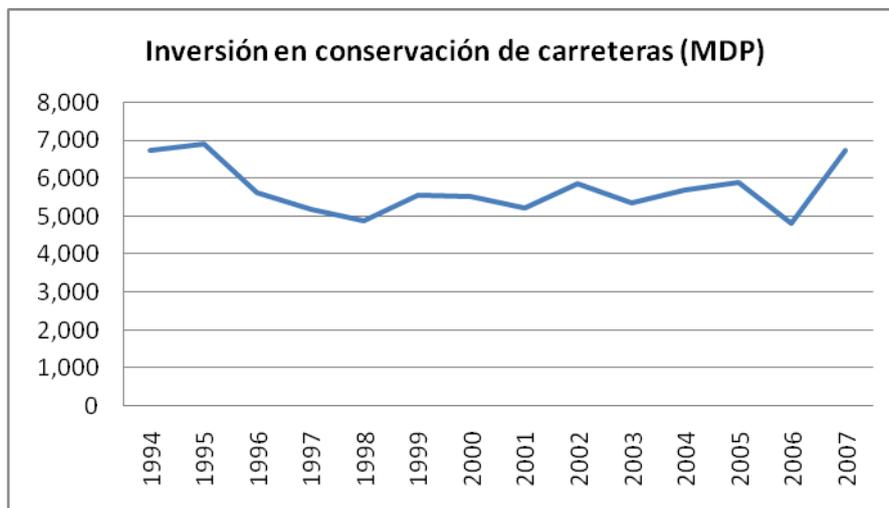
De acuerdo a todo lo anterior, la aplicación de las técnicas y normas de control de calidad en las empresas constructoras pueden propiciar una mejor utilización de los materiales evitando desperdicios, una programación más realista de la ejecución de las obras y un aprovechamiento más adecuado de los recursos físicos y económicos de las empresas, observando una retroalimentación de resultados para las etapas de planeación y diseño que repercutan en la calidad de la obra.

Si la conservación de la Infraestructura carretera es la adecuada, los costos de transporte de personas, insumos y productos terminados serán decrecientes y crearán un estímulo para la expansión de mercados y abastecimiento de las empresas, lo que se reflejará en el crecimiento de las actividades económicas. Todos los sectores se benefician con el transporte carretero: el agrícola, el comercial, el industrial, el ganadero, el turístico y el energético. En la siguiente gráfica se puede observar la situación actual del sistema carretero nacional:



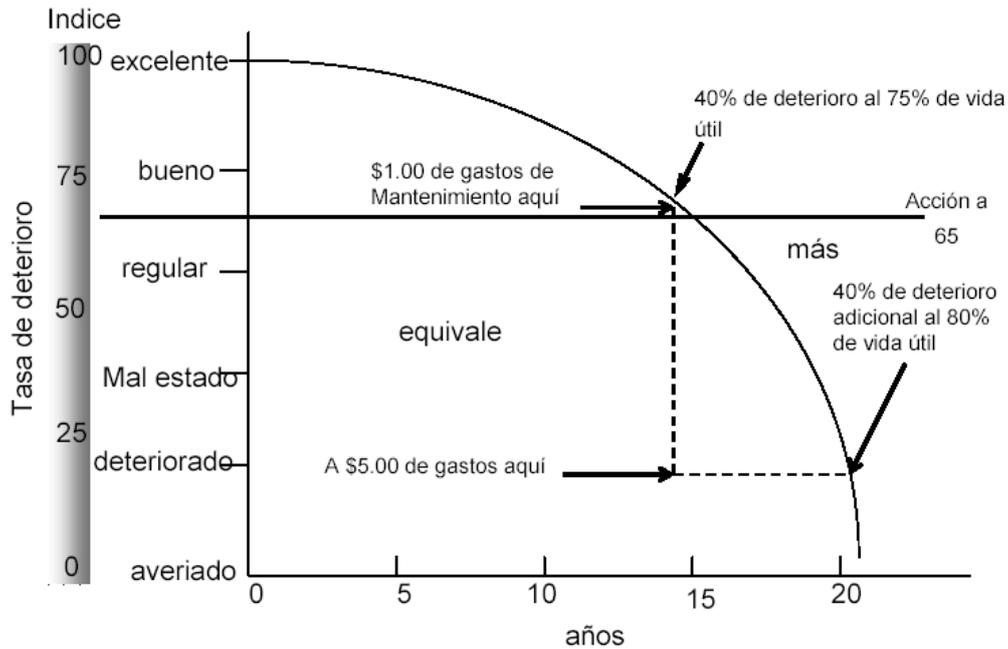
Fuente: Programa Nacional de Infraestructura 2007-2012

Los costos de operación vehicular incluyen el consumo de combustibles y lubricantes, el desgaste de las llantas y elementos de frenado, el deterioro del sistema de suspensión y de embrague y los tiempos de recorrido. A medida que se va deteriorando el estado físico de una red carretera, los costos se incrementan. Según el Instituto Mexicano del Transporte, el sobre costo vehicular durante el año 2006 fue de 20,157 millones de pesos. Si se asignan recursos suficientes para realizar la conservación adecuada a la red carretera, se abaten estos sobre costos y significarían ahorros significativos para el sector productivo y en beneficio de la economía del país.



Fuente: Programa Nacional de Infraestructura 2007-2012

La curva de deterioro de los pavimentos indica que durante el buen estado de un pavimento, el deterioro es lento y poco visible; posteriormente el pavimento entra en una etapa crítica, y en seguida en otra etapa de deterioro acelerado que en poco tiempo conduce a una descomposición total. Mientras los caminos se conservan en estado bueno, los trabajos que se requieren son de conservación rutinaria de un costo muy bajo. A medida que el deterioro se incrementa, se requieren trabajos más caros y complejos para restituir el buen estado de los pavimentos.



Fuente: SALOMON Delmar. Pavement Preservation Systems.

www.technopave.com/publications/Conservacion-de-Pavimentos,Conservando-La-Inversion-del-Patrimonio-Vial.pdf

2.2 INCREMENTO DEL TRÁFICO Y LA DEMANDA DE CARRETERAS NUEVAS.

Uno de los principales problemas que se deben enfrentar en los siguientes años, a mediano plazo, es el enorme incremento del tránsito de vehículos a través de las carreteras del país.

La red federal de carreteras de México, consta de 50,000 km, tiene una antigüedad de 35 años y tiene un tránsito diario promedio de 6,000 vehículos en el 30% de su longitud, de los cuales el peso máximo de los vehículos es de 66 Ton.²

La red de autopistas de México, tiene una longitud total de más de 12,000 km., con un tránsito diario promedio de hasta 50,000 vehículos, con un porcentaje de tránsito pesado de hasta 45%.

² Curso **Antecedentes y uso actual de los asfaltos**. Asociación Mexicana del Asfalto A.C.

Tan sólo en la Ciudad de México, que concentra una población de dieciocho millones de habitantes y es la segunda ciudad más grande del mundo, el uso de vehículos particulares se ha incrementado casi en un 25% por ciento en los últimos cinco años, y actualmente hay casi cuatro millones de vehículos circulando, lo que ha generado que la velocidad promedio de los vehículos sea de 22 kilómetros por hora (que en horas pico puede disminuir hasta los 10 kilómetros por hora). Este promedio está muy por debajo de ciudades que tradicionalmente se consideran como congestionadas, como Hong Kong (28.3 km/hr), Nueva York (38.5 km/hr) o Los Ángeles (47.5km/hr), en tanto que el metro en la Ciudad de México viaja a una velocidad de 32km/hr.

Con la construcción de megaobras viales en la Ciudad de México, el Gobierno del Distrito Federal estimula cada vez más el uso del automóvil particular, aumentando así el tránsito que circula por la ciudad. Es necesaria la creación de programas que disminuyan el uso del automóvil, e incluso la construcción de nuevas líneas del Metro.

Ahora, en cuanto al resto del país, las ciudades se hacen cada vez más grandes y, con ello, aumenta la cantidad de vehículos que circulan por las calles, así como por las carreteras que las comunican. Es por esto importante prever el crecimiento vehicular y tomar medidas que eviten los grandes congestionamientos viales, como actualmente ocurre en la Ciudad de México, en la cual no existió una prevención del enorme incremento del tráfico. Es muy claro que el comercio internacional y dentro del país creció mucho más rápido de lo que ha aumentado la Infraestructura Nacional, lo que implica grandes retos porque hay congestionamientos en muchas carreteras, particularmente en la frontera norte.

Durante el fin de semana previo al periodo vacacional de Semana Santa de 2007, las plazas de cobro de las cuatro principales autopistas que comunican con el Distrito Federal, operadas por CAPUFE, observaron en su mayoría aforos superiores a los registrados durante el mismo lapso de 2006.

De acuerdo a Luis Téllez, Secretario de Comunicaciones y Transportes, durante las últimas administraciones del país, no se ha tenido la capacidad de plantear un programa estratégico de carreteras. Hace hincapié en que se requiere mejorar la infraestructura carretera y ferroviaria nacional, a través de la construcción de ejes

troncales y transversales que conecten las principales vías entre el norte y el sur, así como el Golfo de México con el Océano Pacífico.

Es importante señalar que la construcción de nuevas carreteras debe apoyarse en financiamientos provenientes de recursos privados, mediante el otorgamiento de concesiones, para así evitar el rezago en este rubro.

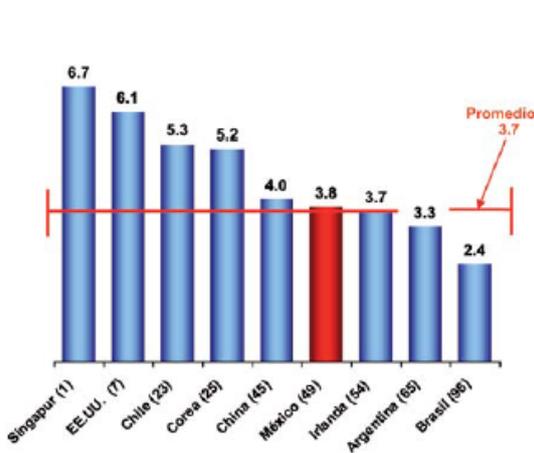
Las siguientes gráficas muestran la situación actual de la Infraestructura carretera en México:



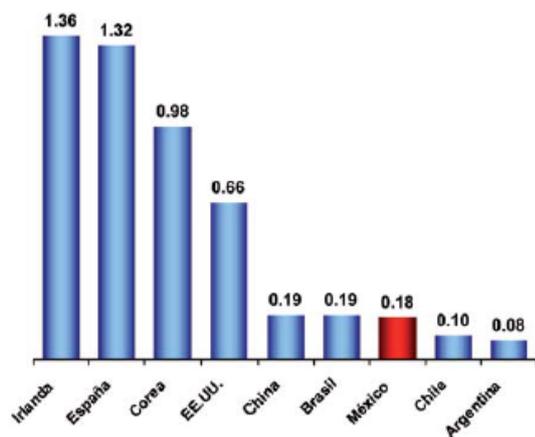
Nota: Incluye red federal y estatal.



Calidad de la Infraestructura Carretera (2006)
(Foro Económico Mundial)



Kilómetros de Carreteras por Kilómetros Cuadrados de Territorio (2003)



Nota: 1 = poco desarrollada e ineficiente; 7 = entre las mejores del mundo

Fuente: Programa Nacional de Infraestructura 2007.

De acuerdo a lo manifestado anteriormente, las deficiencias en los programas de Infraestructura anteriores han ocasionado que actualmente, las principales necesidades en las carreteras sean las siguientes:

- Mantenimiento.
- Rehabilitación y reconstrucción.
- Modernización.
- Expansión de la red.

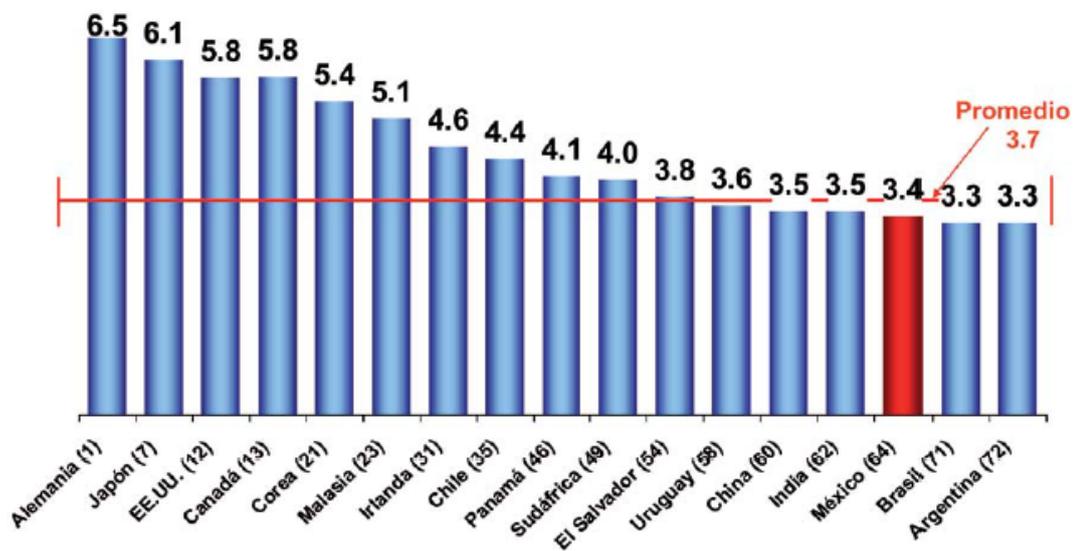
Lo anterior debido a que se ha desplazado en el tiempo el mantenimiento necesario que debe realizarse en los pavimentos. Para lograr que las carreteras actuales tengan las características que se necesitan para que sean competitivas y redituables se requiere:

- Mayores niveles de seguridad y comodidad para el usuario.
- Materiales y superficie de rodamiento más durables y resistentes.
- Mínima conservación.
- Menor nivel de ruido dentro de la carretera y el entorno.
- Mejor apariencia.
- Menor costo de transporte y máxima relación beneficio-costeo.

Previendo las necesidades crecientes de Infraestructura en México, el Gobierno Federal ha planteado un Plan Nacional de Desarrollo, en el cual se encuentra un apartado que describe las acciones que han de realizarse en los próximos años en materia de Infraestructura.

El objetivo primordial del Plan Nacional de Infraestructura 2007-2012 en esta materia es incrementar la cobertura, calidad y competitividad de la Infraestructura. Sin embargo, no basta con incrementar los montos de inversión. Es necesario también establecer mecanismos para garantizar el mejor uso posible de los recursos y que los proyectos se desarrollen en tiempo y forma. Esto implica revisar todas las etapas de desarrollo de los proyectos de Infraestructura, desde las de planeación y evaluación hasta las de presupuestación, contratación y ejecución, con el fin de lograr que los proyectos que se desarrollen sean los de mayor rentabilidad social y económica. Además el plan debe considerar que la entrega de la obra terminada debe reunir los requisitos de calidad necesarios para la satisfacción completa del usuario, a los que se refiere esta tesis.

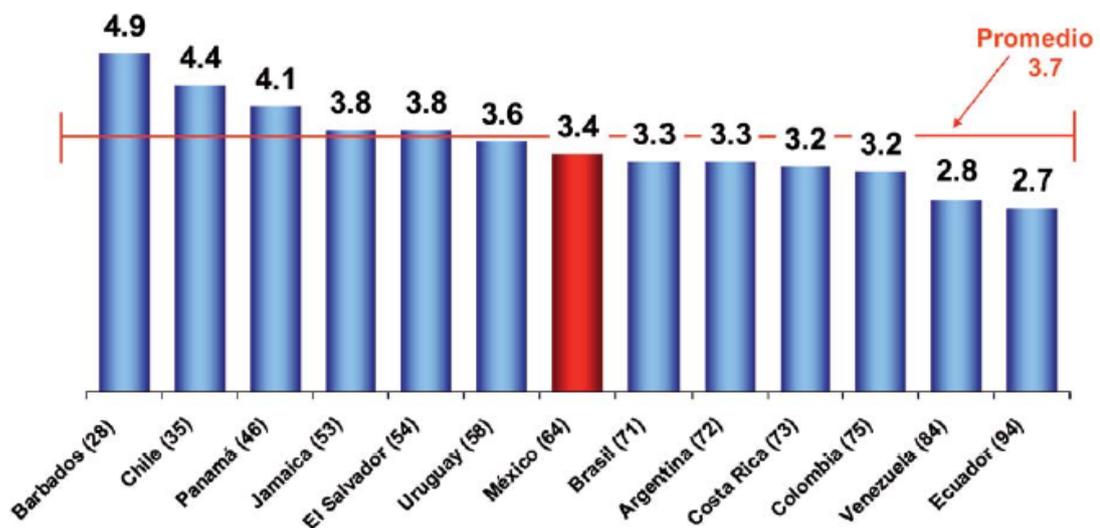
Competitividad de la Infraestructura^{1/} (Foro Económico Mundial)



Nota: 1 = poco desarrollada e ineficiente; 7 = entre las mejores del mundo

^{1/} Todas las fuentes aparecen al final del documento.

Competitividad de la Infraestructura en América Latina (Foro Económico Mundial)



Nota: 1 = poco desarrollada e ineficiente; 7 = entre las mejores del mundo

Fuente: Programa Nacional de Infraestructura 2007-2012

El Programa Nacional de Infraestructura busca los siguientes aspectos generales:³

- Elevar la cobertura, calidad y competitividad de la infraestructura.
- Convertir a México en una de las principales plataformas logísticas del mundo, aprovechando nuestra posición geográfica y nuestra red de tratados internacionales.
- Incrementar el acceso de la población a los servicios públicos, sobre todo en las zonas de mayores carencias.
- Promover un desarrollo regional equilibrado, dando atención especial al centro, sur y sureste del país.
- Elevar la generación de empleos permanentes.
- Impulsar el desarrollo sustentable.
- Desarrollar la Infraestructura necesaria para el impulso de la actividad turística.
- La meta para 2030 es que México se ubique en la posición 20 de los países mejor evaluados de acuerdo con el índice de competitividad de la Infraestructura que elabora el Foro Económico Mundial.

Además destaca las obras necesarias que han de llevarse a cabo para lograr su cometido con cuatro tipos de inversión para infraestructura carretera: Presupuesto de Egresos de la Federación, Concesiones, Proyectos de Prestación de Servicios y Aprovechamiento de Activos, para lograr, según el Gobierno Federal, el mayor programa de construcción carretera en la Historia de México, con la construcción de 13,710 kilómetros, cuya inversión alcanzaría los 212,638.6 millones de pesos entre 2007 y 2012.

En tanto que en materia de conservación, la SCT destinará 6,731.7 millones de pesos para la conservación rutinaria de 44,756 kilómetros y 7,207 puentes; la conservación periódica de 7,989 kilómetros; y para la reconstrucción de 64 puentes y la atención de 102 puntos de conflicto de la red carretera.

Las metas para el año 2012 son:

³ Programa Nacional de Infraestructura. Archivo en PDF obtenido de la página www.sct.gob.mx

- Construir o modernizar 17,598 kilómetros de carreteras y caminos rurales, incluyendo 12,260 kilómetros que corresponden a la terminación de 100 proyectos carreteros completos.
- Incrementar de 72 a 90 por ciento la red carretera federal que opera en buenas condiciones conforme a estándares internacionales.
- Reducir el índice de accidentes de 0.47 a 0.25 por cada millón de vehículos-kilómetro.

En los siguientes mapas se puede observar las condiciones actuales de la Red Federal de Carreteras y el objetivo que, con el Programa Nacional de Infraestructura, se pretende alcanzar para el año 2012:

Corredores Troncales en 2006



Infraestructura en 2012^{1/}



^{1/} Sólo se consideran las carreteras apoyadas por el Gobierno Federal

Fuente: Programa Nacional de Infraestructura 2007-2012

Para concluir, puede observarse que el Programa es ambicioso y, de alcanzar las metas, ubicaría a México en un buen lugar en Infraestructura carretera a nivel mundial. Además llegaría a satisfacer la demanda de tránsito que se observará en unos años, como ya se analizó anteriormente.

Por desgracia, el Programa está condicionado a la aprobación de las Reformas que plantea el Gobierno Federal, por lo que, de no llevarse a cabo tales Reformas, el Programa de Infraestructura estaría muy limitado.

Por eso, la inversión privada juega un papel muy importante en el desarrollo de la Infraestructura en México. Las condiciones del país deben ser buenas para que exista la inversión privada y así desarrollar su Infraestructura.

Por su parte, se plantea también la conservación y el mantenimiento de las carreteras existentes. Esto debe llevarse a cabo de manera correcta y no sólo hacer una corrección superficial de la carpeta asfáltica (o, en su caso, del concreto hidráulico), para que así se considere satisfactoria la conservación.

No tiene sentido la inversión de grandes capitales de dinero si las obras no se realizan con calidad. Es importante revisar que las cosas se estén haciendo bien a nivel técnico.

2.3. PROBLEMAS EN EL CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS.

Los principales problemas que enfrentan las carreteras nacionales son los siguientes:⁴

- Pavimentos antiguos, que han llegado al fin de su vida útil.
- Diseños inadecuados, en cuanto a espesores y calidad de materiales.
- Procedimientos constructivos y de control de calidad inadecuados.
- Incremento sustancial del tránsito, en volumen y magnitud de cargas.
- Conservación inadecuada.
- Necesidades de un mejor aprovechamiento de recursos.

Uno de los aspectos que mayor repercusión tiene en la planeación y desarrollo de una obra vial, es el costo. Si se considera que en una obra vial, los mayores costos se presentan por el transporte de los materiales que conforman los mayores volúmenes de la estructura, los cuales son las terracerías, resulta lógico que en todos los casos se busque utilizar materiales que estén lo más cercano posible al lugar en donde se utilizarán.

Otros casos similares se presentan en las zonas de contacto de los apoyos con las pilas de los puentes y en los materiales que envuelven a los tubos de alcantarilla, por la dificultad que tiene la compactación de esas zonas con el equipo normal de trabajo. Estas deficiencias en el acomodo también dan lugar a asentamientos y deformaciones posteriores de las estructuras.

Es importante por tanto, que las empresas constructoras y de consultoría atiendan oportunamente y con eficiencia estos defectos constructivos, para poder lograr un comportamiento uniforme de los materiales que forman el cuerpo del terraplén.

⁴ Programa Nacional de Infraestructura 2007-2012.

Por ejemplo: el uso de la prueba Porter ha sido una costumbre que ha resultado difícil de erradicar en el medio nacional de las obras viales, a pesar que su uso ya está discontinuado desde hace muchos años

En cuanto a la colocación de la mezcla asfáltica, se han observado las siguientes imperfecciones del pavimento cuando la mezcla es elaborada en planta:

Capa ligante insuficiente o no uniforme	Capa ligante o de impregnación mal curada	Mezcla muy gruesa	Exceso de finos en la mezcla	Insuficiente asfalto	Exceso de asfalto	Mezcla inadecuadamente proporcionada	Cargas no satisfactorias	Exceso de humedad en la mezcla	Mezcla demasiado caliente o quemada	Mezcla demasiado fría	Mala operación de rociado	Rociador en malas condiciones	Demasiada humedad en la subrasante	Demasiada capa ligante o de impregnación	Demasiado rastrilleo manual	Mano de obra descuidada o sin experiencia	Demasiada segregación en la colocación	Operación muy rápida de la máquina terminadora	Imperfecciones del pavimento
					X	X	X							X					Exudación
				X				X	X										Apariencia parda o muerta
					X	X	X							X			X		Puntos ricos o grasos
		X	X			X	X			X	X	X			X	X	X	X	Mala textura superficial
X	X	X				X	X			X	X	X			X	X	X	X	Superficie áspera desigual
		X		X		X	X			X	X	X			X	X	X		Desmoronamiento o carcomido
		X								X	X	X			X	X	X		Juntas desiguales
			X		X	X				X						X			Marcas de la cilindradora
X	X		X		X	X	X	X			X	X			X				Ondulaciones o desplazamientos
			X	X		X							X						Agrietamiento (muchas grietas finas)
													X						Agrietamiento (grietas largas y grandes)
		X				X				X	X	X							Rocas fracturadas por la cilindradora
		X		X		X		X	X	X	X	X					X	X	Abatimiento de la superficie durante la colocación
X	X		X		X	X		X		X			X	X					Deslizamiento de la superficie sobre la base

Fuente: Curso Construcción y Conservación de Pavimentos. División de Educación Continua UNAM. Palacio de Minería. 1998.

Las fallas en las carpetas, en cualquiera de sus tipos, comúnmente pueden ser ocasionadas por defectos de diseño o construcción. Algunos de los que se observan con frecuencia y deben ser evitados son:⁵

1. La carpeta existente tiene defectos que no pueden remediarse con la construcción de una subcarpeta, y al hacerla falla en un lapso breve. Dichos defectos pueden ser por:
 - a) Mala calidad y/o mala compactación de las terracerías, sub-rasante, sub-base y base.
 - b) Carpeta existente inestable, por exceso o escasez de asfalto.
 - c) Exceso de humedad en las capas subyacentes por defectos o falta de subdrenaje, excesiva permeabilidad de las capas superiores o filtraciones laterales desde las cunetas.
2. El material pétreo no cumple con lo asentado en las Especificaciones. Es frecuente encontrar defectos en granulometría, así como en la afinidad entre el material pétreo y el asfalto. Es necesario muestrear y analizar el material con cierta frecuencia para notar los cambios en sus características.
3. El material pétreo se deja mucho tiempo acamellonado antes de iniciar la elaboración de la mezcla y sufre contaminaciones, o bien se pierde parte del material y se altera su granulometría. Esto con frecuencia no se corrige al elaborar la mezcla e incluso muchas veces se incorpora el mismo volumen de asfalto que requería el volumen de material original ocasionando menores espesores y exceso de asfalto.
4. El asfalto con que se cuenta no es el de proyecto. Es por ello que el laboratorio verifique el tipo y calidad de los asfaltos.
5. Construcción de carpetas bajo condiciones climáticas inadecuadas, como lluvia o temperatura ambiente inferior a la conveniente.

⁵ BRITO RAMÍREZ Rafael Pedro. “Curso Materiales Pétreos”. División de Educación Continua UNAM. Palacio de Minería.

6. El asfalto no se usa a la temperatura especificada. Es frecuente que, por descompostura o falta de petrolizadora, se continúen trabajos regando asfalto con pipas o nodrizas que no cuentan con equipo de calentamiento ni con bomba para regar a presión.
7. No se desfluxa adecuadamente la mezcla antes de extenderla.
8. No se compacta adecuadamente la mezcla, por usar equipo de menor peso que el especificado o por no dar las pasadas necesarias, o por baja temperatura en la mezcla.

Cuando se diseña un pavimento, se considera una vida útil. Los factores que afectan la vida útil de un pavimento son el tránsito, el medio ambiente, la calidad de los materiales, la resistencia de la subrasante, las condiciones de drenaje, la calidad de construcción y el nivel de mantenimiento.

Además existen aspectos técnicos que deben revisarse en la construcción de pavimentos. Esto se controla por medio de pruebas de campo y empleando los materiales y criterios adecuados de diseño. Dos fenómenos que se observan en los pavimentos son:

Fatiga: Se entiende por fatiga un mecanismo de falla complejo que incluye la aparición y la propagación de fisuras. Las distintas fases de un proceso de falla por fatiga son: en particular, la fase de aparición de fisuras casi imperceptibles y posteriormente el paso de microfisuras a fisuras macroscópicas, que van uniéndose y componen una red. Durante la etapa final las fisuras macroscópicas se propagan a través del espesor del pavimento y provocan su degradación estructural. Se considera que la fatiga del pavimento es provocada por tensiones locales que generan la aparición de una fisura en la parte más profunda de las capas bituminosas; ésta fisura se propaga por todo el espesor del pavimento y hasta que llega a la superficie.⁶

Para contrarrestar el fenómeno de fatiga en los pavimentos es necesario:

- Estimar adecuadamente el tránsito pesado.
- Diseñar pavimentos de mayor espesor.
- Usar materiales resistentes y no susceptibles a la humedad.

⁶ www2.nynas.com/start/article.cfm?Art_ID=2838&Sec_ID=180

- Mantener seca la subrasante.

Deformación: Es el cambio en el tamaño o forma de un cuerpo debido a la aplicación de una o más fuerzas sobre el mismo o la ocurrencia de dilatación térmica.⁷

Para el caso de los pavimentos, es debida a la fuerza que transmiten las cargas producidas por el tránsito que circula a través del pavimento y a la acción de los agentes atmosféricos descritos anteriormente.

Para contrarrestar el fenómeno de deformación es necesario:

- Estimar adecuadamente en el diseño el tránsito pesado.
- Usar agregados angulosos, rugosos, de granulometría densa y contenido de vacíos de 4%.
- Usar asfaltos más viscosos (duros).

Observando los puntos anteriores, es importante que los ingenieros constructores tomen en cuenta todos y cada uno de los daños y problemas que se observan en la pavimentación. Los errores deben servir para aprender de ellos y no para volverlos a cometer. En el siguiente subcapítulo se describen las fallas que más se observan en los pavimentos.

2.3.1. Criterios de falla.

- **Agrietamientos por fatiga.-** Se relaciona al número de repeticiones permisibles para un nivel dado de deformaciones horizontales producidas por esfuerzos de tensión, en el lecho inferior de la carpeta.
- **Surco o deformación permanente acumulada por la acción repetida de las cargas.-** Se limita la deformación vertical producida por esfuerzos de compresión en cualquiera de las capas de la estructura vial.
- **Agrietamientos térmicos.-** Se incluye tanto los agrietamientos debidos a bajas temperaturas como al efecto de fatiga producido por el ciclo de variación de temperatura diaria, sobre todo en asfaltos duros o endurecidos por la edad.

⁷ es.wikipedia.org/wiki/Deformación

2.3.2. Nomenclatura y definición de fallas⁸

Términos Generales

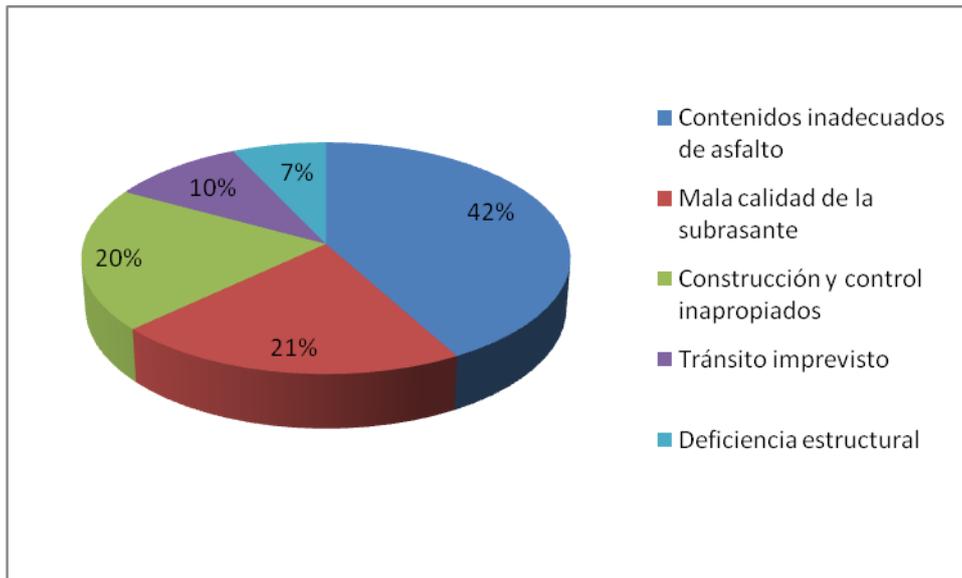
Fractura (Fracture)	Una abertura larga de ancho pequeño en el pavimento.
Fisura (Fissure)	Una fractura fina, por lo general con un ancho igual o menor a 3 mm.
Grieta (Crack)	Una fractura, por lo general con ancho mayor de 3 mm.
Fisura Piel de Cocodrilo (Alligator Cracking)	Serie de fisuras interconectadas formando pequeños polígonos irregulares de ángulos agudos, generalmente con un diámetro promedio de 30 mm.
Fisuras en Bloque (Block Cracking)	Fisuras interconectadas, formando piezas aproximadamente rectangulares, de diámetro promedio mayor de 30 cm con un área variable de 0.1 a 9.0 m ² .
Fisura en Arco (Arc Cracking)	Fisuras interconectadas, formando piezas aproximadamente rectangulares, de diámetro promedio mayor de 30 cm con un área variable de 0.1 a 9.0 m ² .
Fisura Transversal (Transverse Cracking)	Fracturas de longitud variable que se extienden a través de la superficie del pavimento, formando un ángulo aproximadamente recto con el eje de la carretera.
Fisura Longitudinal (Longitudinal Cracking)	Fracturas de longitud variable que se extienden a través de la superficie del pavimento, formando un ángulo aproximadamente recto con el eje de la carretera.
Fisura por Reflexión de	Fisuras o grietas que se observan en la superficie de

⁸ CATÁLOGO CENTROAMERICANO DE DAÑOS A PAVIMENTOS VIALES

Junta (Reflective Cracking)	sobrecapas que tienden a reproducir las fallas y juntas que se producen en la capa de abajo
Ahuellamiento (Rutting)	Depresión longitudinal continua a lo largo del rodamiento del tránsito, de longitud mínima de 6.0 m.
Corrimiento (Shoving)	Distorsiones de la superficie del pavimento por desplazamiento de la mezcla asfáltica, a veces acompañadas por levantamientos de material, formando cordones laterales.
Corrugación (Corrugations)	Serie de ondulaciones, constituidas por crestas y depresiones, perpendiculares a la dirección del tránsito, las cuales se suceden muy próximas unas de otras, a intervalos aproximadamente regulares, en general menor de 1.0 metro entre ellas, a lo largo del pavimento.
Hinchamiento (Bumps)	Abultamiento o levantamiento localizado en la superficie del pavimento, generalmente en la forma de una onda que distorsiona el perfil de la carretera.
Hundimiento (Depression)	Depresión o descenso de la superficie del pavimento en un área localizada.
Bache (Pothole)	Desintegración total de la superficie de rodamiento, que puede extenderse a otras capas del pavimento, formando una cavidad de bordes y profundidades irregulares. Son superficiales cuando sólo se afecta la carpeta asfáltica. Profundos, cuando se ven afectadas las capas debajo de la carpeta asfáltica.
Peladura (Stripping)	Desintegración superficial de la capa de la carpeta asfáltica.

Desintegración de Bordes (Edge Distress)	Consiste en la progresiva destrucción de los bordes del pavimento.
Exudación de Asfalto (Bleeding of Bitumen)	El afloramiento del ligante de la mezcla asfáltica a la superficie del pavimento formando una película continua de bitumen.
Parche (Patch)	Área donde el pavimento original ha sido removido y reemplazado, ya sea con un material similar o eventualmente diferente, para reparar el pavimento existente.

De acuerdo a la Asociación Mexicana del Asfalto A.C., las principales causas de falla de las carpetas asfálticas son:



Fuente: SOTO GONZÁLEZ Ernesto. Curso “Criterios de pavimentos flexibles y calidad de mezclas asfálticas, control de calidad durante la construcción” Asociación Mexicana del Asfalto A.C.

Más adelante observaremos, de acuerdo a la investigación en las empresas, si tienen conocimiento de estos datos y qué acciones están realizando para prevenir que las condiciones anteriores no se cumplan.

2.4. PROBLEMAS EN EL CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES.

La calidad de los productos asfálticos que aplican las diversas empresas para la pavimentación en México, ha sido muy variable y un gran porcentaje de esta producción no ha cumplido consistentemente con algunos requisitos de calidad de la norma SCT vigente.

La llegada del AC-20 trajo dificultades a la producción de emulsiones. El asfalto más duro, produjo emulsiones con mayor asentamiento y menor viscosidad, las emulsiones dejaron de cumplir especificaciones, los riegos de sello empezaron a fallar de forma generalizada debido a la fragilización del asfalto AC-20 a bajas temperaturas.

En los últimos años se ha producido una severa crisis en la industria de la construcción, que aunada a un sistema de licitación en el que el más barato gana, ha llevado a un deterioro de la calidad de las emulsiones.

Aunque la falta de cumplimiento se refleja en varias características de calidad, se considera que existen dos aspectos que han sido determinantes para que la producción de emulsiones presente calidad deficiente:⁹

El primero se refiere a la materia prima utilizada en la fabricación, ya que en México se ha estado utilizando el cemento asfáltico tipo AC-20, que tiene una dureza de 60 grados de penetración como mínimo. Al utilizarse este cemento asfáltico en la fabricación de emulsiones, para las que en muchos tipos se especifica que el residuo asfáltico tenga una penetración de 100 grados como mínimo, se ha presentado en la mayor parte de los casos la falta de cumplimiento de este requisito.

El segundo aspecto se refiere al tipo de molino que se utiliza en la fabricación o quizás al proceso de fabricación empleado, el cual ha dado como resultado una variación notable de tamaños de glóbulo de asfalto en las emulsiones. Al existir variaciones importantes de tamaños de glóbulo, se presentan emulsiones inestables con problemas en el manejo, en su almacenamiento y en su aplicación.

⁹ Curso **Asfaltos. Antecedentes y su uso en México.** Asociación Mexicana del Asfalto A.C.

Las deficiencias de calidad de las emulsiones asfálticas, ocasionan diversos efectos en la aplicación y en el comportamiento, señalándose a continuación las más comunes:¹⁰

- Una falta de cumplimiento en el retenido en la malla No. 20, denota tamaños de glóbulo muy grandes que hacen una emulsión con baja estabilidad y con una alta posibilidad de sedimentación y floculación, que a su vez puede crear problemas de rompimiento prematuro durante el transporte o en el almacenamiento. En la aplicación, los glóbulos grandes ocasionan que la emulsión no rompa uniformemente y que no se logre una dosificación uniforme.
- Si una emulsión no cumple la prueba de asentamiento, también se puede inferir que no hay estabilidad suficiente de los glóbulos de asfalto y que presentan una gran variación de tamaños, lo cual no permite almacenarla sin que exista riesgo de que se presente el rompimiento de la emulsión.
- Si la emulsión presenta porcentajes de residuo asfáltico inferiores al mínimo establecido por la norma, se presentarán dosificaciones menores a las previstas y no se estará proporcionando la cantidad de asfalto mínima pactada para fines de pago.
- Si el residuo asfáltico tiene una dureza mayor a la requerida, seguramente no se logrará una buena adherencia del asfalto en la superficie o con los materiales pétreos, presentándose a corto plazo desprendimientos o desgranamientos.

¹⁰ Curso **Emulsiones Asfálticas**. Asociación Mexicana del Asfalto A.C.

2.5. DIAGNÓSTICO DE LAS EMPRESAS CONSTRUCTORAS DE CARRETERAS (MUESTRA REPRESENTATIVA NO PROBABILÍSTICA).

2.5.1. Marco de Selección.

Después de haber analizado las principales necesidades que actualmente existen en materia de Infraestructura carretera, es necesario conocer si las empresas que construyen carreteras en nuestro país tienen conocimiento del crecimiento exponencial del tránsito carretero, de las deficiencias que más frecuentemente se muestran en los pavimentos, los métodos para evitarlos y erradicarlos, las características de calidad de los materiales y de los procedimientos constructivos, etc.

Para la aplicación de la encuesta, se seleccionaron empresas que se especializan en la construcción de carreteras en la zona conurbana de la Ciudad de México. Cabe resaltar que al no conocer el total de las empresas especializadas en pavimentos en la zona metropolitana de la Cd. De México, la muestra es sólo representativa. La encuesta además se aplicó al laboratorio de Vías Terrestres de la UNAM a fin de conocer las experiencias que a través de tantos años ha observado al momento de aplicar las pruebas a distintos materiales. En total, la encuesta se aplicó a 4 empresas y a un laboratorio, y los resultados se muestran en las siguientes líneas

2.5.2 Resultados del proceso de observación y de la información recopilada.

2.5.2.1 Resultados de la encuesta aplicada

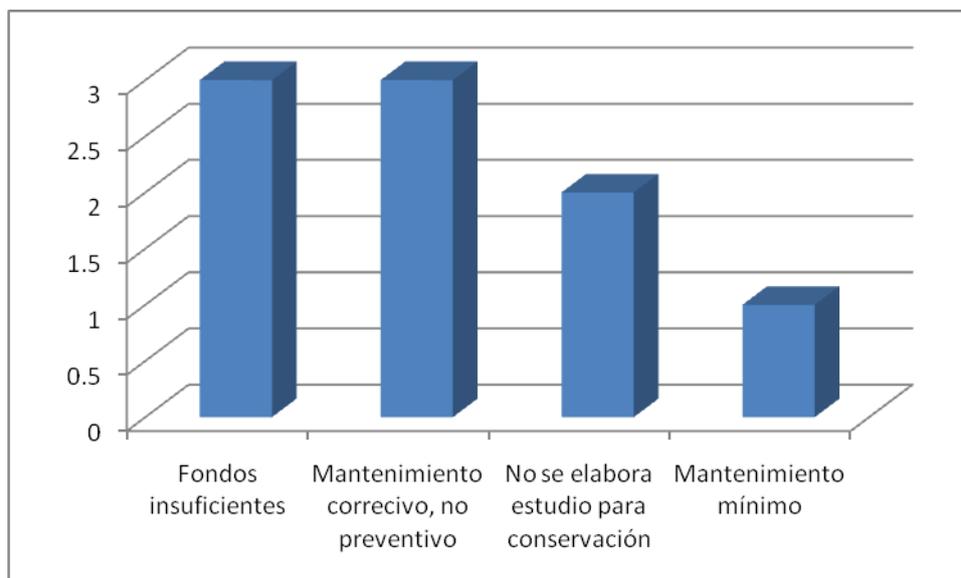
Con el fin de comprobar las hipótesis mencionadas al inicio de la obra, se formuló un cuestionario para obtener información de primera mano de empresas especializadas en la construcción de carreteras.

Se describen a continuación los resultados de la aplicación de esta encuesta. Empezamos con los conocimientos de las pruebas de laboratorio que normalmente deben aplicarse en los materiales a emplear en la construcción. En la siguiente tabla se muestran sólo las pruebas que fueron contestadas y el número de veces que las empresas mencionaron dicha prueba.

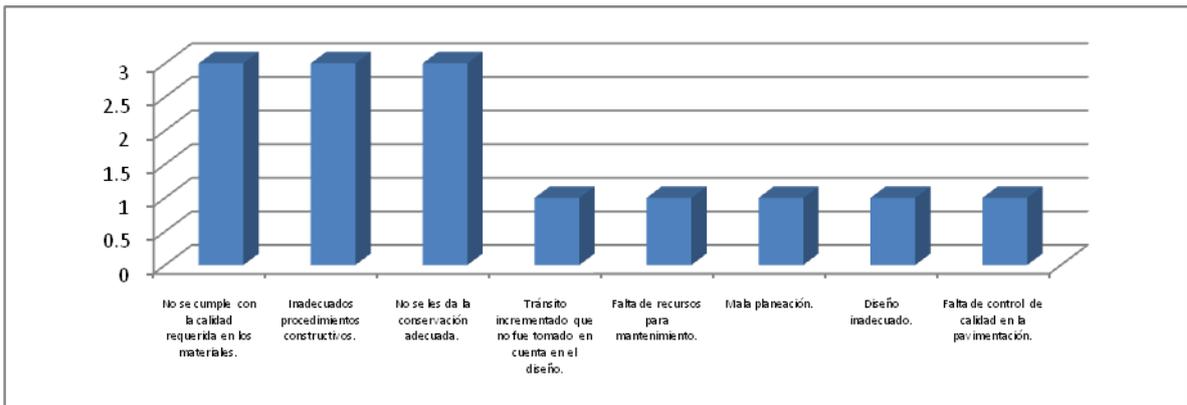
AGREGADOS		ASFALTO	
NOMBRE DE LA PRUEBA	NO. DE VECES QUE FUE CONTESTADA	NOMBRE DE LA PRUEBA	NO. DE VECES QUE FUE CONTESTADA
GRANULOMETRÍA	3/5	DISEÑO DE LA MEZCLA	3/5
DESGASTE LOS ÁNGELES	3/5	VISCOSIDAD	2/5
FORMA DE PARTÍCULAS	3/5	MÓDULO REOLÓGICO DE CORTE	1/5
TIPO DE MATERIAL	2/5	VACÍOS EN ASFALTOS	1/5
AFINIDAD CON EL ASFALTO	2/5	CONTENIDO DE ASFALTO	1/5
PORCENTAJE DE VACÍOS	1/5		
CBR	1/5		
ABSORCIÓN	1/5		
DENSIDAD	1/5		

Se destaca que ninguna empresa mencionó la prueba de límites de consistencia, que es básica para conocer el tipo de material que se presenta.

En cuanto al mantenimiento de las carreteras, todas las empresas contestaron que NO es suficiente, por las siguientes razones, mencionadas de acuerdo al número de veces que fueron contestadas:



Además, mencionaron las principales deficiencias que se presentan en la construcción de carreteras:



Es importante recalcar que cuatro de las cinco empresas dicen aplicar un sistema de control de calidad, que consisten desde las normas ISO hasta sistemas de control de calidad internos. Aquí todos tuvieron respuestas diferentes, que fueron:

- a) Cumplir los datos del proyecto y los de control de calidad.
- b) Sistema de gestión de la calidad basado en la norma ISO 9001:2000
- c) ISO 9001 y norma NMX 17025
- d) No se emplea ningún sistema.
- e) Sistema de control de calidad interno llamado SIEC (Sistema Integral Estadístico de Calidad).

El problema es que, las normas y los sistemas de control de calidad existen, pero no se aplican correctamente, o simplemente se pasan por alto para beneficio de la empresa o del proyecto mismo.

Se propuso la siguiente afirmación a las empresas y se les pidió que contestaran si estaban de acuerdo o no:

“La calidad en los materiales y en los procedimientos constructivos era mejor hace 40 años que actualmente”

Uno contestó que SÍ está de acuerdo y dio esta explicación:

“Había mayor capacitación para los organismos gubernamentales que supervisaban las obras, se hacían las cosas con más conciencia, con el afán de realizar obras de buena calidad. Tiempo después de desvirtuó ese afán de tener lo mejor para nuestro país por intereses personales. Y ahora estamos en una nueva etapa de conciencia, en la que cada

vez más organismos gubernamentales e iniciativa privada, se comienzan a interesar por hacer las cosas con calidad”.

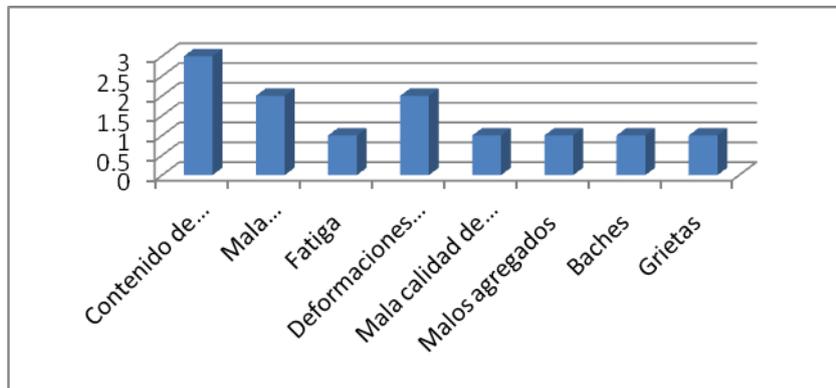
Los otros cuatro contestaron que NO están de acuerdo, por las siguientes razones:

- a) “Se dispone de más equipo y más conocimientos actualmente”.
- b) “Actualmente la norma es más exigente”.
- c) “Se han desarrollado nuevos sistemas, se supone que debe de haber mejores procedimientos constructivos, y mejor tecnología para su construcción”.
- d) “Porque los métodos de prueba y procedimientos constructivos se han estado actualizando, sin embargo hay una menor experiencia en la utilización de estos métodos”.

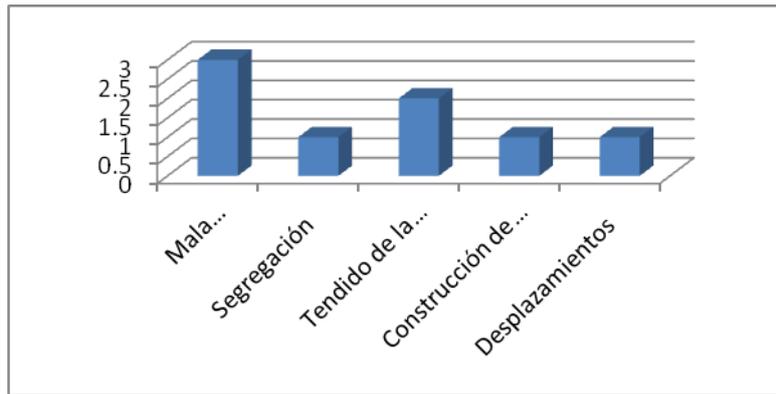
De esta pregunta puede concluirse que aunque muchas normas se han actualizado, no se prepara la gente para aplicarlas correctamente, o simplemente no se aplican. Aunque hay normas que están incompletas o existen otras que no se han actualizado, el principal problema siguen siendo las personas encargadas de la calidad.

Pero a pesar de lo anterior, las empresas conocen muy bien cuales son las principales deficiencias que presentan los pavimentos, en cuanto a:

La calidad de los materiales:



El procedimiento constructivo:



Y aunque aplican control de calidad, aceptan que es poco el presupuesto que se asigna en un proyecto de pavimentación al control de calidad, contestando cuando se les preguntó cuánto es tal presupuesto:

- a) “No sé, pero siempre es escaso”
- b) “Es variable, depende de los montos de cada obra y de su problemática en particular. No es una receta ni obedece a una regla de tres”
- c) “Aproximadamente un 10%”
- d) “No rebasa el 10%”
- e) “No más del 5%”

Entonces, el problema no sólo radica en la aplicación del sistema de control de calidad, sino además no se proporciona el presupuesto necesario para aplicar las pruebas de laboratorio suficientes con un laboratorio serio y que elabore correctamente las pruebas, obteniendo resultados veraces y completos. Para todas las empresas, el desempeño de los laboratorios les resulta promedio.

Se elaboraron tres preguntas para conocer en qué puntos principales se encuentran las deficiencias que provocan la escasa calidad en los pavimentos. Se mencionan los resultados de acuerdo al nivel de importancia en cuanto a:

Etapas del proyecto:

1. Diseño
2. Construcción
3. Pruebas de laboratorio
4. Supervisión externa

5. Conservación
6. Trazo

Capa de pavimento:

1. Carpeta
2. Base
3. Sub-base
4. Terracerías
5. Sub-rasante
6. Sello

Otros conceptos:

1. Al licitante le interesa más la economía que la calidad.
2. Se sacrifica calidad por economía en la obra.
3. Presión por el cumplimiento del programa de obra.
4. No se otorga la licitación a la empresa adecuada.
5. Negligencia.
6. Falta de conocimientos.
7. Pruebas de laboratorio deficientes.
8. Otra: Dos empresas mencionaron la corrupción y una mencionó que las empresas consideran a la calidad como un sobre costo de la obra.

Y por último se les preguntó si conocen el Sistema CASAA, dos encuestados no conocen el sistema y uno dice conocerlo pero no supo describirlo.

Las otras dos empresas sí lo conocen y lo describieron correctamente. Se mencionan las descripciones que dieron cada una:

- a) “Se trata de una capa delgada, con materiales muy específicos, que permiten entre otras cosas una buena permeabilidad y un confort al usuario”
- b) “Es una capa de rodamiento, de granulometría escalonada que permite el drenaje del agua a través de su estructura; disminuyendo los riesgos de hidropneumático en las carreteras y proporcionando una textura rugosa antiderrapante”

Ambas descripciones son correctas, aunque faltas de información. Es por esto que es importante difundir información acerca de este sistema.

2.5.2.2. Obtención de la información relevante de las entrevistas.

Después de haber analizado los resultados, es importante interpretarlos para su mejor comprensión. Cada uno de los entrevistados proporcionó información importante en base a su experiencia en la industria de la construcción de carreteras de pavimento asfáltico y deben ser tomadas en cuenta.

Para empezar, podemos observar que pruebas importantes como la granulometría no fueron mencionadas por todos los entrevistados. Hace falta conocimientos de las pruebas que se realizan a los materiales y a los asfaltos. El CBR (Valor Relativo de Soporte), que es una prueba básica en pavimentos sólo una empresa la mencionó, lo cual sí es preocupante. Algo que es básico para conocer el comportamiento de los agregados con el asfalto es su afinidad, ya que muchas fallas se presentan debido a que los agregados no resultan adecuados para mezclarse con el asfalto, y sólo dos empresas mencionaron esta prueba, que es importantísima para el buen comportamiento de la carpeta asfáltica.

Como puede observarse, se hace mucho hincapié en que no existen fondos para conservar las carreteras en buen estado. Esto es un llamado a los organismos encargados para elaborar programas de mantenimiento que resulten efectivos. Los entrevistados mencionaron una y otra vez que el mantenimiento no es suficiente y se hace correctivo, cuando las fallas son inminentes. No se hacen buenos diseños y además no se elabora un programa de conservación, que de hacerse, no se lleva a cabo debido a que no se tienen los recursos para cumplirlo.

Los programas de control de calidad que deberían de seguirse en México son las normas de la SCT en primer lugar, además de la norma ISO 9001 para tener pavimentos asfálticos que tengan una vida útil y una conservación adecuadas. Cuando se elabora el presupuesto, la calidad debe jugar un papel primordial para el desempeño de los trabajos. Si queremos que los pavimentos sean durables, debe asignarse un buen presupuesto a la calidad. No es posible que se destine entre el 5 y el 10% solamente para buscar una obra de calidad.

Las fallas que más se observan en los resultados son el contenido de asfalto, que puede ser tanto exceso como falta de asfalto; la mala granulometría de acuerdo al diseño del pavimento; las deformaciones permanentes (roderas); la mala compactación, que en gran medida depende del contenido óptimo de agua y del número de pasadas del compactador sobre la capa de pavimento, sea carpeta o alguna capa inferior; y el tendido de la carpeta que muchas veces no se realiza bajo las circunstancias correctas o no se realiza con un control de calidad adecuado.

El diseño y la construcción del pavimento representan los aspectos que más se reflejan en el control de calidad del pavimento asfáltico de acuerdo con los resultados. Es por esto que nos enfocaremos en el Sistema CASAA, debido a que con un diseño adecuado nos proporciona mayor calidad al pavimento, específicamente a la carpeta asfáltica, que es la que más problemas presenta seguido de la base.

Los resultados indican que estamos muy preocupados por la economía, y que por ello se sacrifica calidad. Esto resulta contradictorio debido a que si no se construye con calidad, los gastos de operación aumentan, el mantenimiento y conservación aumentan y la vida útil se ve reducida drásticamente debido a esta falsa filosofía del ahorro. A la larga resulta más caro y basta observar las condiciones de la mayoría de las carreteras del país. La corrupción y el otorgamiento de obras a empresas que no tienen la capacidad para cumplir con las especificaciones de calidad son problemas que van más allá del ámbito técnico y de ingeniería, y depende de las nuevas generaciones terminar con este tipo de prácticas que perjudican a la mayoría de la gente. Es necesario cambiar la mentalidad y pensar que una buena obra provoca el crecimiento profesional y crea un prestigio ético que vale muchísimo en esta industria.

Es fácil comprobar que el Sistema CASAA es aun poco conocido. Por eso es necesario difundirlo ya que los resultados que ha mostrado son muy buenos. En el capítulo 4 se mencionan algunos ejemplos en los que el CASAA ha respondido positivamente.

Para terminar, pudo comprobarse con esta encuesta algunas hipótesis que se mencionan al principio de la obra. Cabe mencionar que no siempre la experiencia de las empresas construyendo pavimentos se refleja en la calidad, ya que pudo observarse que

no todas las empresas llevan un control de calidad adecuado desde el diseño hasta la construcción.

CONCLUSIONES CAPITULARES

De acuerdo a los aspectos que se analizaron, se puede concluir que se ha estudiado por varios años cuáles son los errores que más frecuentemente se producen y se conoce la manera de evitarlos.

Se puede observar que la clave de un buen pavimento radica en la calidad de los materiales de cada una de sus capas que lo componen, además hace falta que su construcción se base en el diseño y cumpla con sus requisitos.

Como se mencionó en el capítulo 2.2, además de asignarle un presupuesto importante a la Infraestructura carretera, es necesario tomar en cuenta la calidad en cada uno de los aspectos relacionados a su construcción y a los materiales que se emplean, si no de poco servirá construir carreteras nuevas que se deterioren antes de cumplir su vida útil.

Es cierto que el empleo de los materiales depende de su disponibilidad, pero no debe sacrificarse calidad por costo, debido a que puede encontrarse más cara la rehabilitación para corregir los errores cometidos que si se hicieran bien las cosas desde un principio.

En los resultados de la encuesta se observaron las deficiencias más importantes que existen actualmente en las empresas en cuanto a calidad. A partir de esta información recopilada se exhorta a las empresas a que hagan un esfuerzo para capacitar a sus empleados en calidad de pavimentos, para que así el desempeño de las carreteras mejore.

En el siguiente capítulo se elabora la propuesta del Sistema CASAA para mejorar la calidad de los pavimentos asfálticos, dándolo a conocer, mostrando sus características de diseño y construcción y las grandes ventajas que éste ofrece.

CAPÍTULO III

PROPUESTA DE SOLUCIÓN: EL SISTEMA CASAA.

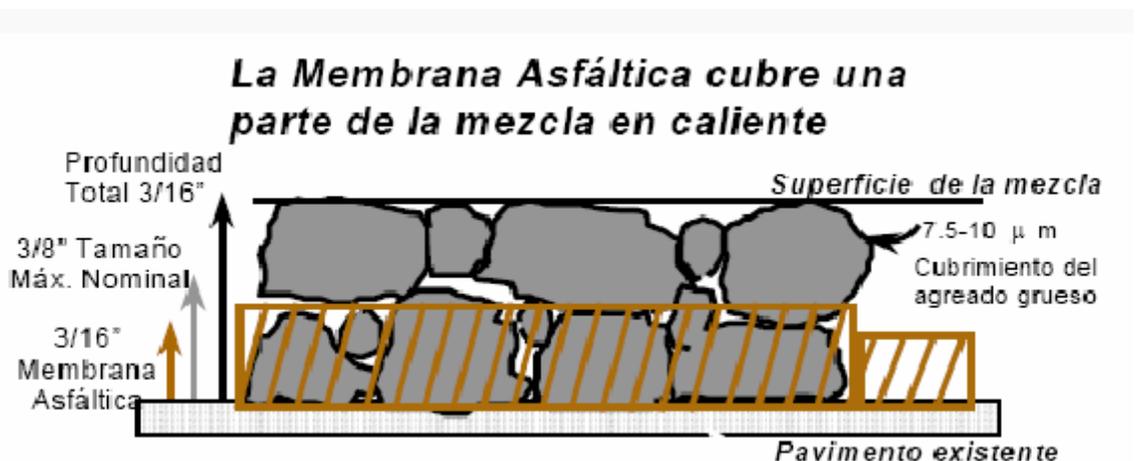
3.1. EL SISTEMA DE SELLADO Y CARPETA DELGADA SUPERFICIAL ALTAMENTE ADHERIDA (CASAA).

Es una carpeta asfáltica en caliente de granulometría escalonada de alta fricción interna que provee una excelente macrotextura y se utiliza como tratamiento de mantenimiento preventivo que alarga la vida útil del pavimento. El Sistema de Sellado y Carpeta Asfáltica Superficial Altamente Adherida tiene dos objetivos principales:

- ✓ Proporcionar una superficie de rodamiento de la más alta calidad en términos de confort y seguridad para el usuario.
- ✓ Servir como tratamiento de conservación preventivo, al garantizar una impermeabilización (sellado) total de la carpeta asfáltica interior protegiendo de una degradación acelerada la totalidad de la estructura del pavimento.

El concepto CASAA consiste en usar una membrana extremadamente homogénea de emulsión de asfalto modificado con polímero, que es el elemento que garantiza la impermeabilización y la alta adherencia con la carpeta asfáltica de calidad estructural, seguida inmediatamente de una carpeta delgada de concreto asfáltico elaborado en caliente de alto nivel de servicio y durabilidad.

El procedimiento de aplicación debe asegurar la homogeneidad de la membrana asfáltica polimerizada y una inmediata aplicación del concreto asfáltico, con la finalidad de obtener los beneficios anteriormente descritos y maximizar la durabilidad del tratamiento ya que de esta forma se generaría una alta adherencia (liga) con la capa inferior del pavimento.



Fuente: Estado de la práctica y tendencias de las microcarpetas en México. Sem Materials México.

3.2. ¿POR QUÉ EL SISTEMA CASAA?

Además de todas las fallas constructivas que se cometen en los pavimentos, descritos en los capítulos anteriores, en México se han aplicado diversos métodos de construcción que no han tenido los resultados esperados.

Por mencionar un ejemplo, está el empleo del hule de los neumáticos como agente modificador de los asfaltos. Los resultados han sido buenos debido a que proporcionan mayor flexibilidad al pavimento y, por tanto, mayor durabilidad y resistencia. El principal problema radica en los altísimos costos para extraer el hule de los neumáticos, debido a que se encuentra mezclado con fibras de acero. Por eso el uso de este método ha ido decreciendo.

Otro ejemplo lo constituye el empleo del Sistema *Open Graded* (granulometría abierta), el cual debe permitir el drenado del agua a través de la carpeta asfáltica debido al espacio existente entre sus agregados. En México no ha tenido una aplicación exitosa debido a que generalmente no se construye correctamente, y esto genera más problemas al pavimento de los que generaría una carpeta de granulometría densa.

El Sistema SMA (*Stone Matrix Asphalt*) es, como el Sistema CASAA, una mezcla de granulometría escalonada (*Gap-Graded*¹). Presenta grandes ventajas ya que se utiliza como capa superficial (carpeta) en caminos nuevos o superficies renovadas. En México se ha utilizado como técnica de rehabilitación, ya que tiene habilidad para soportar tráfico pesado sin sufrir deformaciones permanentes apreciables. La desventaja que presenta este sistema es que no puede ser utilizado como mantenimiento preventivo, sólo para rehabilitación, a diferencia del Sistema CASAA que sí puede ser empleado como mantenimiento preventivo.

En México, sobre todo en las ciudades, se ha empleado ampliamente el concreto hidráulico para la pavimentación. Se ha comprobado que el concreto proporciona más durabilidad al pavimento y tiene mayor capacidad para soportar las cargas que un pavimento flexible. El aspecto negativo de este procedimiento radica en que no se ha

¹ El *Gap Graded* se refiere a la graduación granulométrica que contiene sólo un porcentaje pequeño de agregados de tamaño medio. La curva es casi horizontal en los medios.

empleado correctamente en las carreteras. Como ejemplos podemos mencionar la carretera Palmillas – Querétaro y la carretera San Luis Potosí – Querétaro en el tramo que pasa a través del estado de Guanajuato. En ambas carreteras pueden observarse fallas de gran importancia, sobre todo grietas y rompimiento del concreto, a pesar de que no tienen mucho tiempo de ser construidas. Falta conocimiento en México para construir carreteras de concreto hidráulico de calidad, porque las que se han construido están fallando.

El Sistema CASAA, a diferencia de otros métodos, dota al pavimento de una gran calidad y extiende su vida útil, retardando el mantenimiento preventivo. Su construcción no es complicada y proporciona grandes beneficios:

- ✓ Es una capa drenante la cual reduce el fenómeno de acuaplaneo.
- ✓ Reduce el nivel de ruido en un 40% comparado con un riego de sello.
- ✓ Es una aplicación rápida que puede abrirse al tráfico casi inmediatamente después de compactar.
- ✓ Su apariencia es estética y uniforme.
- ✓ Es un tratamiento resistente a las fallas por roderas, ya que tiene una estructura en la que los agregados gruesos están en contacto uno con otro.
- ✓ Es un tratamiento resistente a las fallas por fatiga, ya que la mezcla asfáltica es elaborada con asfalto modificado con polímero de alta recuperación elástica.
- ✓ No es susceptible a delaminaciones, ya que la membrana asfáltica ancla la mezcla asfáltica con el pavimento existente.
- ✓ No es susceptible a baches, ya que la membrana asfáltica impermeabiliza la superficie existente y sella grietas longitudinales o transversales.
- ✓ Es un proceso consistente, menos susceptible a condiciones particulares de la obra que otros tratamientos.
- ✓ Recomendable para altos volúmenes de tráfico.
- ✓ Puede ser aplicado sobre concreto asfáltico, concreto hidráulico o sobre otros tratamientos superficiales aplicados anteriormente.

Es importante resaltar que no es una capa estructural del pavimento, por lo que no proporciona Capacidad de Carga, y al no ser un tratamiento de mantenimiento correctivo, no resuelve fallas estructurales del pavimento existente.



“Backspray” con una mezcla densa.



“Backspray” con el Sistema CASAA

3.3. PRINCIPALES DIFERENCIAS ENTRE LOS SISTEMAS *OPEN GRADED* Y SMA CON EL SISTEMA CASAA.

A fin de que queden bien establecidas las diferencias entre los nuevos sistemas de pavimentación que se están aplicando en México, se muestran diversas tablas en las que se pueden distinguir claramente sus diferentes características, de acuerdo a información proporcionada por la empresa Sem Materials.

Generalidades.

Denominación	Open Graded	SMA		CASAA		
Tamaño máximo nominal.	¾” o ½”	½”	3/8”	¼”	3/8”	½”
Tipo granulometría	Abierta	Discontinua		Discontinua (Gap-Graded)		
Contenido de Filler (Pasa Malla No.200)	0-5	10-13		4-10		
Tipo de modificador o estabilizador.	Polímero tipo 1	Fibras y/o polímero tipo 1		Polímero tipo 1 de alta ductilidad		
Resultado en la calidad de rodamiento.	Mayor fricción Menor ruido Elimina hidroplaneo Mejor confort	Mayor fricción Menor ruido Reduce hidroplaneo Mejora confort al usuario				
Sistema de mantenimiento preventivo.	No	No		Sí		
Expectativa de vida (años)	3 a 5	8 a 15		5 a 7		8 a 10

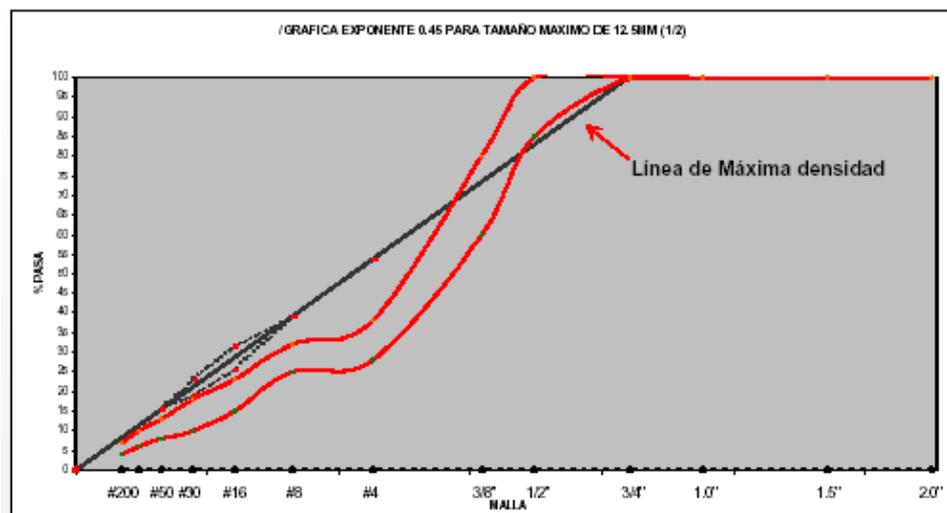
Aplicación.

Denominación	Open Graded	SMA		CASAA		
Espesor (cms) mín	3.0	2.5	2.0	1.5	2.0	2.5
Contenido de asfalto mín	6.0	6.5		5.5		
Macrotextura (mancha de arena) (cms) mín.	1.0	1.0	0.8	0.7	0.9	1.1
Tipo de planta de asfalto	Convencional	Sistema de reincorporación de finos y de incorporación de fibra		Sistema de reincorporación de finos		
Tipo de extendedora	Convencional	Convencional		De aplicación sincronizada		
Dosificación de riego de liga (lts/m ² de asfalto residual)	0.24 – 0.42	0.20 – 0.40		0.9 – 1.2		
Tipo de emulsión	Recomendada modificada con polímero	Recomendada modificada con polímero		Modificada con polímero (membrana asfáltica)		

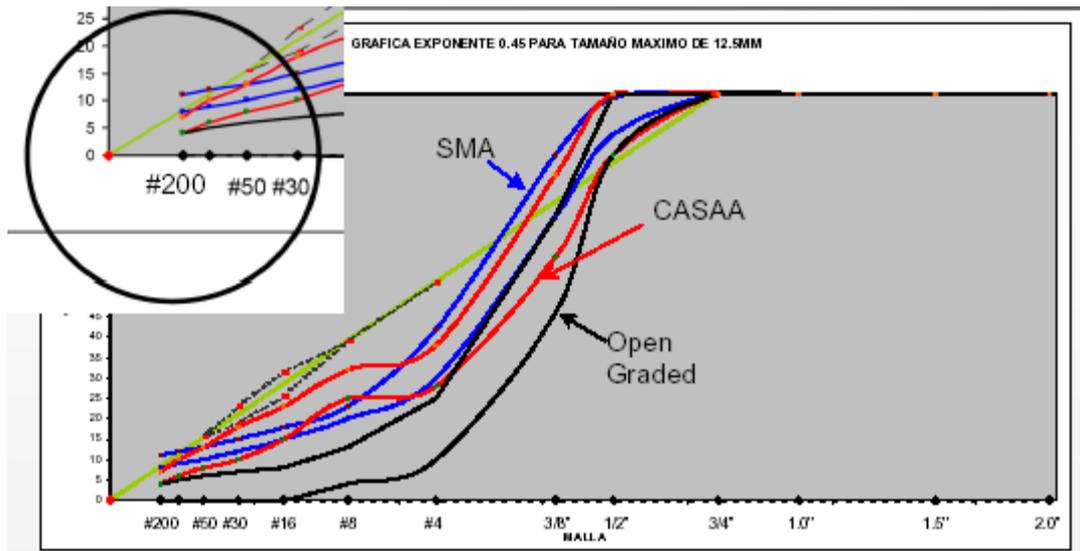
Calidad de materiales pétreos.

Denominación	Open Graded	SMA	CASAA	
Agregado grueso	100% triturado			
Desgaste LA (%) mín	35	25	30	30
Arenas				
E.A. (%) mín	60			
Azul de metileno g/ml	10 máx			

Granulometría en el Sistema CASAA



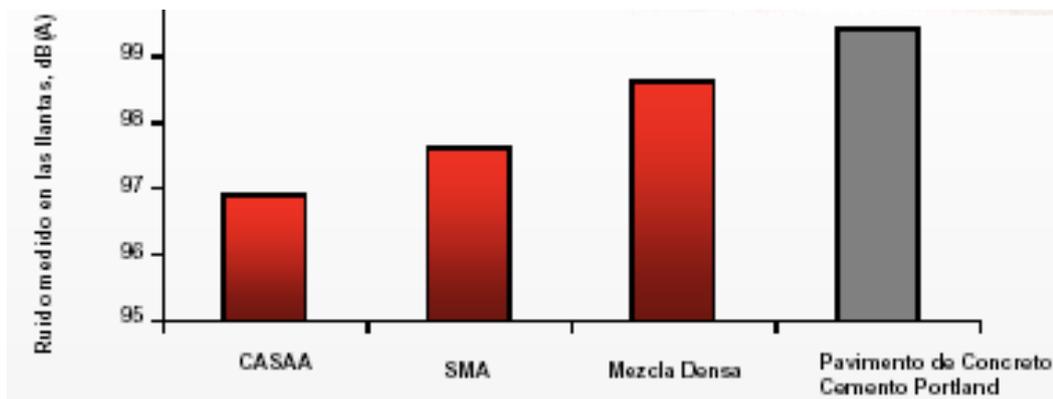
Comparativo de granulometrías entre Open Graded, SMA y CASAA.



Estudio del nivel de ruido.

Estudio realizado por NCAT (National Center for Asphalt Technology), mediante las siguientes especificaciones:

- Velocidad de operación de 60 mph.
- 12 superficies de pavimento medidas en Michigan.
- 2 tipos de llantas.



Condiciones previas requeridas de la superficie.

Denominación	Open Graded	SMA	CASAA
Superficie lisa	Aplica	Aplica	Aplica
Desgranamientos menores	No aplica	Aplica	Aplica
Desgranamientos moderados	No aplica	No aplica	Aceptable

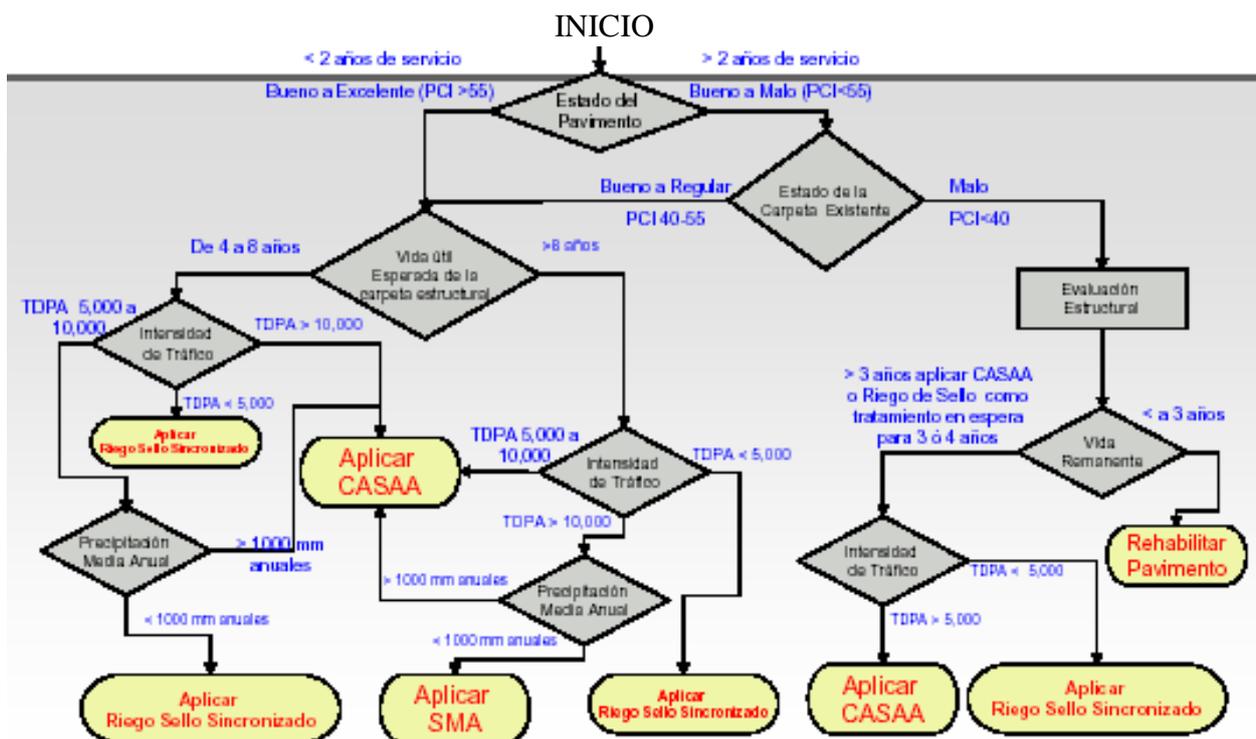
Roderas ligeras (<1/4")	Aplica	Aplica	Aplica
Roderas moderadas (1/4" – 1/2")	No aplica	Aplica	Aplica
Roderas severas (>1/2")	No aplica	No aplica	No aplica
Grietas ligeras (<3mm)	No aplica	Aplica	Aplica
Grietas moderadas (3 – 6mm)	No aplica	No aplica	Aplica
Grietas severas (>6mm)	No aplica	No aplica	No aplica
Calavereo menor y/o baches reparados	No aplica	No aplica	Aplica
Fallas estructurales	No aplica	No aplica	No aplica

3.4. CRITERIOS PARA SELECCIONAR EL SISTEMA DE TRATAMIENTO SUPERFICIAL MÁS CONVENIENTE.

Cualquiera de los sistemas vistos anteriormente, si son construidos de forma adecuada, presentan grandes ventajas en cuanto a durabilidad y calidad respecto a las mezclas de granulometría densa. Sin embargo, es necesario tomar en cuenta una serie de consideraciones para seleccionar el sistema que resulte más conveniente de acuerdo a las necesidades de tránsito, temperatura, precipitación, estado del pavimento existente (en caso de mantenimiento preventivo), presupuesto, etc.

Como podrá observarse, el sistema que más resulta conveniente en muchos casos es el Sistema CASAA, ya que puede trabajar en condiciones más extremas que los otros sistemas. En la siguiente tabla se observan las características de precipitación, velocidad de operación y tránsito y el sistema que mejor responde de acuerdo a las condiciones que se presentan de acuerdo a las necesidades de cada proyecto:

El siguiente diagrama de flujo muestra el tratamiento más conveniente para el pavimento de acuerdo a las principales condiciones que reúne al momento de su rehabilitación:



Un factor que es sumamente importante para decidir utilizar el Sistema CASAA es su costo. Como ha de suponerse, el sistema es costoso en una primera inversión, pero resulta una buena inversión a largo plazo ya que reduce el mantenimiento preventivo y correctivo del pavimento asfáltico.

Al año 2008, el costo aproximado de la pavimentación con la microcarpeta CASAA varía de \$35.00 a \$55.00/m². El costo actual de un riego de sello sincronizado varía de \$15.00 a \$25.00/m² y del SMA entre \$55.00 y \$85.00/m².² Pero para tomar una buena decisión es necesario considerar varios aspectos:

Tratamiento	Ventajas	Puntos críticos para la toma de decisión
Riego de Sello Sincronizado (RSS)	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo inicial, con costo efectivo. - Facilidad de aplicación. - Antiderrapante. - Buena apariencia. - Aplicación preventiva. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mayores cuidados en la aplicación en temporada de frío y temperaturas bajas. - Considerar el pulimento del agregado. - Disponibilidad de equipo.
Carpeta Asfáltica Superficial	<ul style="list-style-type: none"> - Drenante y antiderrapante. - Resistente a agrietamientos y deformaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicación especializada. - Diseño adecuado. - Agregados de alta calidad.

² Fuente: Sem Materials México.

(CASAA)	<ul style="list-style-type: none"> - Menor nivel de ruido. - Apariencia estética y uniforme. - Pronta apertura al tráfico. - Seguridad y confort para el usuario. - Aplicación preventiva. 	- Aplicación sincronizada.
Microcarpeta tipo SMA	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor resistencia a agrietamientos y deformaciones. - Resistencia a la fatiga. - Buena apariencia. - Facilidad de aplicación. - Pronta apertura al tráfico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Costo inicial mayor. -Diseño y aplicación especializada. - Agregados de alta calidad. -Planta de mezcla con recuperador de finos y sistema de dosificación. - Mayor contenido de asfalto. - Trituración especial (cubicidad, discontinuidad, alto % de finos). - Espesores <3cm requieren aplicación sincronizada.

Nótese que el Sistema CASAA presenta menor cantidad de puntos críticos para su selección que el sistema SMA, además que resulta más económico. Además el Sistema CASAA muestra más ventajas que el Riego de Sello Sincronizado, valiendo la pena la inversión inicial.

3.5. ESPECIFICACIONES DE LA NORMA SCT PARA EL SISTEMA CASAA.

3.5.1. REQUISITOS DE CALIDAD.

Para el agregado grueso:

El agregado grueso (material pétreo retenido en la malla No. 4) debe ser de un banco aprobado por la Dependencia y que típicamente se utilice para superficies de alto desempeño, debiendo cumplir con las siguientes especificaciones:

Propiedades del Agregado Grueso			
Pruebas		Método	Especificación
Pérdida por abrasión “Los Ángeles”.		AASHTO T 96-94	30% máx.
Intemperismo acelerado	Sulfato de	AASHTO T 104-94	18% máx.
	magnesio o sulfato de sodio		12% máx.

Índice de partículas planas y alargadas, @ 3:1	ASTM D 4791	25% máx.
Partículas trituradas, una sola cara.	ASTM D 5821	95% mín.
Partículas trituradas, dos o más caras.	ASTM D 5821	85% mín.
Pérdida por abrasión “Micro-Deval”.	AASHTO TP58-99	18% máx.

Los agregados gruesos como la grava triturada de piedra caliza, de basalto, dolomita, andesita, granito, escorio u otros materiales similares, o mezclas de dos o más de estos materiales, se consideran como potenciales.

Para el agregado fino:

El agregado fino (material que pasa la malla No. 4) constituye parte del “asphalt mastic” y deben provenir de un banco aprobado por la Dependencia y cumplir con las especificaciones siguientes:

Propiedades del agregado fino		
Pruebas	Método	Especificación
Equivalente de arena.	AASHTO T 176-86	55 mín.
Azul de metileno (en materiales que pasan la malla 200)**	AASHTO TP 57-99	10 máx.
Angularidad (en muestra sin compactar).	AASHTO T 304-96	45 mín.

**Se podrán usar materiales con valores de Azul de Metileno comprendidos en el rango de 10 a 15 gr/ml, siempre y cuando se obtengan valores de TSR en la prueba AASHTO T-283 mayores a 90%.

En el Filler (Llenante mineral)

El filler mineral puede ser utilizado como una opción para alcanzar los requerimientos de granulometría. Pueden ser aceptados como filler cal hidratada, ceniza volante, cemento portland tipo I, polvo de trituración y finos extraídos del “Baghouse”.

Debe cumplir con las siguientes especificaciones:

Propiedades del Filler Mineral.
Graduación típica aceptable:
100% pasa malla No. 30
75-100% pasa malla No. 200

Propiedades del Filler Mineral		
Prueba	Método	Especificación
Azul de Metileno (en materiales que pasan la malla 200)	AASHTO TP 57-99	5 máx.

Cemento asfáltico.

El asfalto modificado con polímero que se utilice en la elaboración del concreto asfáltico, debe cumplir con las especificaciones Superpave para un tipo PG 70-28 y las mostradas en la siguiente tabla:

Especificaciones del Cemento Asfáltico.			
Pruebas	Método	Mín.	Máx.
Estabilidad de la Red de Polímero	AASHTO PP-5		10%
Separación de Polímero	Anillo – Bola		2.0°C
Recuperación elástica	ASTM D6084	65%	

Membrana asfáltica polimerizada.

La emulsión para garantizar una impermeabilización completa y proporcionar una alta adherencia entre la sección del pavimento y el sistema CASAA, debe de ser de asfalto modificado con polímero y debe cumplir con las siguientes especificaciones:

Especificaciones de la Emulsión de Asfalto Modificada con Polímero			
Pruebas en la emulsión	Método	Mín.	Máx.
Viscosidad Saybolt Furol @ 25°C, s.	AASHTO T59	20	100
Estabilidad al almacenaje (Asentamiento a 24 hrs.), %	AASHTO T59		1.0

Retenido en malla No. 20.	AASHTO T59		0.05
Residuo de la destilación*, %	AASHTO T59	63	
Demulsibilidad, %	AASHTO T59	60	
Pruebas en el residuo de la destilación			
Penetración @ 25°C	AASHTO T49	60	150
Recuperación elástica, %	AASHTO T301	60	

*AASHTO T59 con modificaciones para incluir una temperatura máxima de 204°C ± 12°C la cual deberá ser sostenida por un período de 15 min.

3.5.2 DISEÑO DE LA MEZCLA.

El diseño de la mezcla asfáltica debe realizarlo un laboratorio aprobado por la Dependencia, y tiene que satisfacer los límites siguientes:

Especificaciones de la mezcla			
Límites granulométricos (composición en peso)			
	Tipo A	Tipo B	Tipo C
Tamaño máximo nominal	Malla No. 4	95mm (3/8")	127 mm (1/2")
Abertura o No. De malla (ASTM)	% que pasa	% que pasa	% que pasa
190mm (3/4")			
158mm (5/8")			100
127mm (1/2")		100	85-100
95mm (3/8")	100	85-100	60-80
No. 4	40-55	28-36	28-36
No. 8	22-32	20-32	20-32
No. 16	15-25	15-23	15-23
No. 30	10-18	10-18	10-18
No. 50	8-13	8-13	8-13
No. 100	6-10	6-10	6-10
No. 200	4-7	4-7	4-7

La capa de concreto asfáltico deberá tener los espesores que se presentan a continuación y aplicarse en el tipo de vía que se indica.			
Clasificación	Espesor mínimo para carpetas nuevas sobre pavimentos reconstruidos o caminos nuevos (mm)	Espesor mínimo para carpetas con fallas funcionales menores (mm)	Tipo de vía en la que se aplica.
Tipo "A"	15	20	Adecuado para pistas de aterrizaje en aeropuertos.
Tipo "B"	20	25	Adecuado para vialidades urbanas de alto tráfico.
Tipo "C"	25	37.5	Adecuado y se recomienda para carreteras y autopistas.

El espesor de la película asfáltica deberá ser de 11 micrones como mínimo cuando se calcula utilizando el Contenido de Asfalto Efectivo considerando el área superficial del agregado. Los factores para la determinación del área superficial serán conforme se especifican en el Manual del Instituto Americano del Asfalto MS-2 "Métodos para el Diseño de Mezclas para Concreto Asfáltico y otros tipos de Mezclas en Caliente".

La mezcla debe presentar un drenaje máximo de 0.3% de acuerdo al método de prueba AASHTO T305. La prueba de drene debe ser corrida con el contenido óptimo de asfalto mas 0.5% y a una temperatura de 15°C por arriba de la máxima de mezclado.

Para medir la susceptibilidad a la humedad de la mezcla asfáltica se debe emplear la Prueba de Tensión Indirecta AASHTO T-283, debiendo tener un resultado mínimo de 80%. Los especímenes para esta prueba deben ser de 4.0 pulgadas de diámetro y compactados en el Compactador Giratorio Superpave de acuerdo a la norma AASHTO TP-4. Un ciclo de congelamiento de 16 horas debe ser aplicado antes de

realizar la prueba en caso de que el pavimento vaya a quedar ubicado en zonas con heladas frecuentes. Las temperaturas de mezcla y compactación deben ser las recomendadas por el proveedor del producto asfáltico conforme a la viscosidad rotacional generada.

Para la fabricación de especímenes, la mezcla asfáltica debe ser compactada en el Compactador Giratorio Superpave a 100 giros, con un ángulo de 1.25° y 600 kPa de presión.

La selección del contenido de asfalto está en función del cumplimiento de las propiedades siguientes:

- ✓ Espesor de película efectiva de 11 micrones mínimo.
- ✓ Drene AASHTO T305 de 0.3% máximo.
- ✓ TSR AASHTO T-283 de 85% mínimo y 90% mínimo cuando se usen materiales finos con valores de Azul de Metileno dentro del rango de 10 a 15 gr/ml.
- ✓ Vacíos de aire a 100 giros (V_a) de 13 a 25%.
- ✓ Vacíos de agregado mineral (VMA) 20% mínimo.
- ✓ Proporción de polvo (D_p) de 0.6 a 1.2.

Las propiedades volumétricas y la relación de polvo deben ser determinadas conforme se especifica en el Manual del Instituto Americano del Asfalto SP-2 “Diseño de mezclas Superpave” (Véase anexo I).

Una vez que se ha determinado el contenido de asfalto óptimo, se debe determinar la susceptibilidad a la humedad y a las roderas de la mezcla asfáltica SMA efectuando una prueba de desempeño en la Rueda Cargada de Hamburgo³ aplicando la norma AASHTO T-324, elaborando 4 especímenes de 6 pulgadas de diámetro y 4 centímetros de espesor en el Compactador Giratorio Superpave a 50 giros. La mezcla diseñada puede tener una deformación máxima de 7 milímetros a 20,000 ciclos considerando una temperatura de prueba de 50°C. No aplica el método Marshall para el diseño de la mezcla.

³ Ver Anexo 2.

3.5.3. CONSTRUCCIÓN.

Especificaciones preliminares.

No debe permitirse aplicación alguna sobre el pavimento cuya superficie esté mojada. La temperatura de la superficie del pavimento, así como la temperatura ambiental no debe ser menor a 10°C en el momento de la aplicación. Una superficie humedecida en el pavimento es aceptable para la aplicación si se encuentra libre de agua estancada y si se esperan condiciones ambientales favorables.

La máquina pavimentadora debe tener la capacidad de ser autopropulsada y estar especialmente diseñada y construida para aplicar el sistema CASAA. Deben tener depósito-tolva de recepción y banda transportadora para evitar segregación, tanque de almacenamiento de emulsión asfáltica, sistema medidor por volumen de la emulsión de asfalto modificado con polímero, barra esparcidora con sistema de calentamiento (de longitud variable), y placa vibrocompactadora. Este equipo debe ser capaz de rociar la membrana de emulsión de asfalto modificado con polímero, aplicando la capa de mezcla en caliente y nivelando la superficie en una misma acción y en forma sincronizada.

Además este equipo debe tener la capacidad de aplicar la mezcla en caliente y la membrana de emulsión de asfalto modificado con polímero, a una velocidad controlada de 9 a 28 m/min; con la garantía de que ninguna rueda u otra parte de la máquina pavimentadora o de cualquier otro elemento externo entre en contacto con la membrana de emulsión antes de que la mezcla en caliente de concreto asfáltico sea aplicada. Lo anterior también no puede estar en función de la habilidad humana durante la operación.

Aplicación.

La aplicación debe realizarse desde el centro de la corona, realizando un ajuste vertical por medio de sus extensiones para alcanzar el perfil deseado en el pavimento. La preparación óptima debe realizarse previamente a la aplicación del Sistema CASAA. Si se trata de una superficie que fue previamente fresada deberá estar libre de polvo y se deberá realizar un relleno y sellado de grietas mayores a 5mm.

La membrana de emulsión de asfalto modificado con polímero sin diluir debe ser rociada por la barra del equipo a una temperatura entre 49 a 75°C, o conforme la recomendada con el proveedor del producto asfáltico. El sistema esparcidor debe trabajar de forma precisa, con monitoreo continuo de dosificación y proveyendo una aplicación uniforme en todo lo ancho del pavimento.

La dosificación de la membrana asfáltica sin diluir debe ser considerada en el orden de los 0.70 hasta los 1.5 lt/m². Los ajustes de campo en dosificación deben ser determinados basados en las condiciones de la superficie del pavimento existente con el objetivo de lograr una completa impermeabilización. Los ajustes a la dosificación de la membrana de emulsión modificada con polímero pueden tomar la prueba de permeabilidad como referencia.

El concreto asfáltico de mezcla en caliente debe ser aplicado a una temperatura entre 140-165°C y debe ser colocado inmediatamente después de haberse aplicado la membrana de emulsión de asfalto modificado con polímero sobre toda la superficie de aplicación.

Compactación (acomodo).

Consiste en un mínimo de dos pasadas con un rodillo de tambor metálico liso con un peso mínimo de 10 Ton, antes de que la temperatura del material baje a menos de 100°C, debiéndose evitar que el o los equipos de compactación se estacionen sobre el concreto asfáltico recién aplicado.

La compactación debe desarrollarse inmediatamente después de la aplicación de la capa asfáltica, mediante la utilización de un compactador que se encuentre en buen estado y en buenas condiciones de operación, el cual deberá estar equipado con un sistema de rocío por agua para prevenir la adherencia entre la mezcla recién extendida y el tambor metálico del equipo. El equipo de compactación deberá operarse en el modo estático, ya que una excesiva compactación podría causar la disgregación del material o un no adecuado perfil.

La capa asfáltica de rodamiento no debe ser abierta al tráfico si no se ha completado el proceso de compactación y si el material no se encuentra por debajo de los 85°C.

La planta de mezcla en caliente deberá contar con sistema automático de dosificación de fibras y con sistema de recuperación de finos al proceso de mezclado. Además debe contar con un mínimo de 3 tolvas de alimentación en frío y una para filler. La adaptación de la planta para la integración de la fibra debe ser aprobada por el proveedor de la fibra y la dependencia, de tal manera que se garantice un manejo adecuado de los productos.

3.5.4. CONTROL DE CALIDAD.

Densidad de la mezcla compactada.

La densidad de la mezcla compactada debe ser de al menos el 95% del paso volumétrico de la mezcla compactada en laboratorio y deberá ser medida con densímetro nuclear o electromagnético previamente calibrado en la franja de prueba.

Para la aprobación de la mezcla asfáltica colocada se utiliza como prueba de desempeño la prueba de Rueda Cargada de Hamburgo AASTHO T-324 en corazones de 10 pulgadas extraídos directamente en campo, realizando dos muestreos en los primeros 100 m de la franja de prueba. La prueba se debe realizar saturada a una temperatura de 50°C y la deformación máxima promedio a 20,000 ciclos no debe exceder los 7mm no debiéndose presentar desprendimiento del agregado durante la prueba, la cual debe efectuarse al menos por cada kilómetro de mezcla colocada, elaborándose un reporte con los siguientes datos:

1. Nombre del laboratorio y técnico certificado para realizar la prueba.
2. Nombre del proyecto.
3. Localización y croquis del sondeo.
4. Granulometría.
5. Contenido de asfalto.
6. Vacíos de aire de la mezcla compactada (%Va).
7. Gravedad de la mezcla compactada (Gmb).
8. Gravedad máxima de la mezcla (Gmm).

9. Gráfica del comportamiento durante la prueba.

Lotes y sub-lotes de mezcla asfáltica producida en obra.

Un lote está conformado por 1,300 Ton. Estos lotes pueden ser divididos a su vez en sublotes siempre y cuando no excedan las 350 Ton. Los sub-lotes pueden ser incorporados a la producción del día siguiente para integrar un nuevo y completo lote, siempre y cuando la infraestructura de la planta permita que la mezcla asfáltica no presente segregación ni pérdida de temperatura.

Control de calidad.

Las siguientes medidas deben ser consideradas por el contratista para mantener uniformidad y control de calidad.

El contratista es el responsable de obtener las muestras para el aseguramiento y control de calidad. Previamente a la producción, la Dependencia determina el método utilizado por el Contratista para la obtención de las muestras representativas. La dosificación de la membrana de emulsión debe ser verificada dividiendo el volumen aplicado entre el área total aplicada.

Un mínimo de tres muestras por lote deben ser analizadas para verificar el contenido asfáltico y granulometría antes de continuar con la producción del siguiente lote. Si el promedio de los resultados obtenidos en estas tres muestras sufren una desviación importante contra lo propuesto en el diseño, excediendo las tolerancias establecidas en la siguiente tabla, la producción debe ser retenida. El contratista debe documentar en detalle qué acción correctiva se tomará.

Tamaño Máximo Nominal en función del Tipo de Mezcla	No. 4 Tipo A	95 mm (3/8") Tipo B	127 mm (1/2") Tipo C
Abertura o No. De malla (ASTM).	Tolerancia %	Tolerancia %	Tolerancia %
190 mm (3/4")	-	-	-
127 mm (1/2")	-	-	±5
95 mm (3/8")	-	±5	-
No. 4	±5	±3	±3
No. 8	±4	±4	±4

No. 16	±4	-	-
No. 200	±1.0	±1.0	±1.0
Contenido de asfalto %	±0.3	±0.3	±0.3

Se debe realizar al menos una prueba de tensión indirecta de acuerdo con la norma AASHTO T-283, seleccionando las muestras que presenten mayores desviaciones con respecto al diseño de la mezcla. La primera muestra tomada después de que la planta de mezcla en caliente inicie sus actividades debe ser tomada entre la carga tercera y quinta de la producción.

La primera muestra de la mezcla asfáltica debe ser tomada directamente de la planta de mezcla en caliente, ya sea desde la banda transportadora o tomada del camión de transporte antes de salir de la planta.

Para verificaciones de campo, los límites generales de diseño mostrados en la tabla de Especificaciones de la Mezcla pueden ser utilizados cuando el diseño de la mezcla se encuentra dentro de las tolerancias establecidas en la tabla anterior.

Aceptación de la mezcla.

Las pruebas de verificación de calidad de la mezcla asfáltica deben ser realizadas en un laboratorio de campo, debiendo completarse en un tiempo razonable. Un mínimo de tres muestras por lote de mezcla deben ser ensayadas para determinar contenido de asfalto y granulometría antes de producir el siguiente lote.

Aceptación de la textura superficial de la carpeta compactada.

Con la finalidad de garantizar la macrotextura rugosa de la carpeta compactada, deben efectuarse pruebas del círculo de arena (o de la mancha de arena) a cada 100m en el orden margen izquierdo a 50cm del hombro, centro y margen derecho a 50cm del hombro, por cada carril aplicado, la prueba debe efectuarse de acuerdo con la norma ASTM E965-96. El diámetro mínimo debe ser de 13cm y el máximo de 16cm. que corresponde a una macrotextura de 1.2 mínima a 1.7 máxima.

CONCLUSIONES CAPITULARES

La información que se ha proporcionado en este capítulo resulta muy importante para conocer a fondo este sistema. Es muy importante mencionar que para que el Sistema CASAA funcione bien, es necesario tomar en cuenta todos los requisitos y normas anteriores, de lo contrario de nada o poco sirve la inversión.

Por eso es muy importante capacitar en las empresas a los empleados, para que conozcan las normas de calidad y las apliquen correctamente. Todavía resulta escaso el empleo del CASAA en México, pero esperemos que sea difundido para que se aplique ampliamente. Necesitamos mejorar las normas para que su aplicación sea exitosa. En todas y cada una de las etapas, el CASAA debe ser tratado con calidad, desde el diseño hasta su aplicación.

Se necesitan modernizar los sistemas actuales de pavimentación ya que en México en la mayoría de los casos se siguen empleando métodos rudimentarios, y no se observan las nuevas tendencias de la tecnología. Día con día es necesario incrementar los conocimientos de los sistemas de pavimentación existentes para que no haya un rezago en el desarrollo de nuevas carreteras, con nuevas técnicas, que mejoren la calidad para que así el usuario transite de manera cómoda y segura a través de la red carretera nacional.

CAPÍTULO IV
EJEMPLOS DE DIFERENTES APLICACIONES EN
MÉXICO DEL SISTEMA CASAA.

4.1. CARRETERA FEDERAL TOLUCA – CD. ALTAMIRANO.

Una de las propiedades que deben reunir los pavimentos es la rugosidad. Una buena rugosidad garantiza un buen agarre de las llantas del vehículo al pavimento, además de que proporciona un mejor frenado. Para probar que la rugosidad sea la correcta, se aplica una prueba llamada Macrotextura. En los siguientes dos ejemplos se muestran los resultados de esta prueba, para mostrar que la microcarpeta CASAA proporciona al pavimento de una rugosidad buena, incluso con el paso del tiempo.

La carretera federal Toluca – Cd. Altamirano presentaba serios problemas en el pavimento. Su mantenimiento resultó correctivo ya que presentaba deformaciones de consideración. Debido a estas condiciones, se optó por utilizar el Sistema CASAA. Se construyó en diciembre de 2003 en un tramo del km. 26 + 000 al km. 41 + 000.

Datos técnicos:

Agregado grueso: Basalto “Progreso”

Agregado fino: Triturado “Tlacotepec”

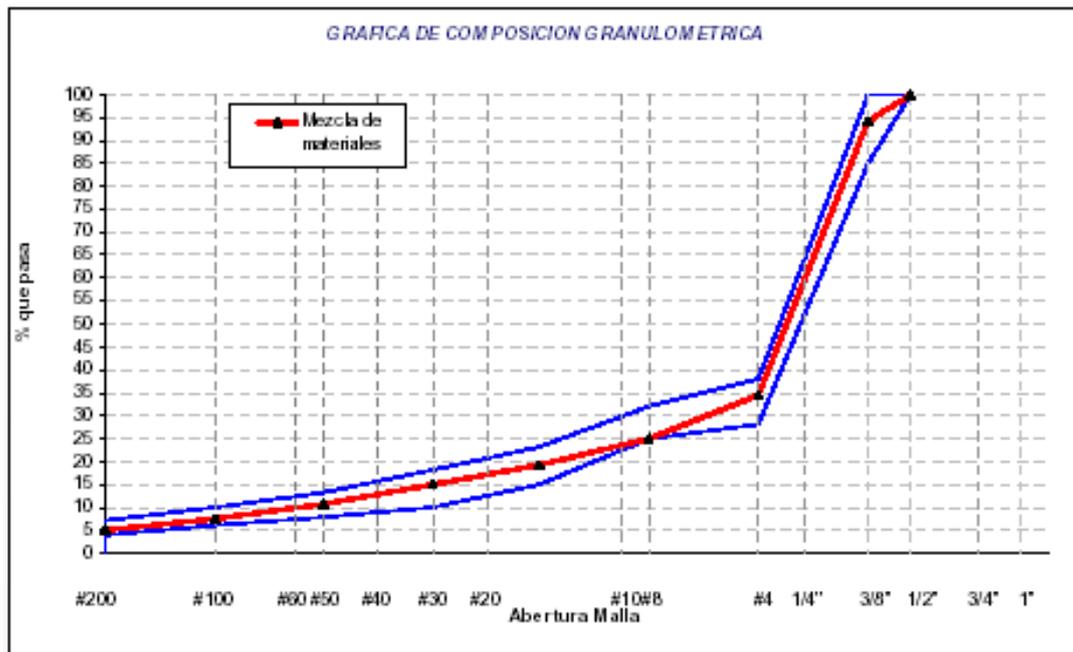
Contenido de asfalto: 5.6%

Vacíos de aire: 14.9%

Pasa malla No. 4: 32%

Pasa malla No. 200: 4.5%

TSR > 90%



Se realizó la prueba de macrotextura el 9 de enero de 2004. En la tabla inferior se muestran los criterios a fin de compararlos con los resultados de la prueba, nótese que la mayoría de los números se encuentran en el criterio de normal a rugoso.

TOLUCA - CIUDAD ALTAMIRANO						
km	Promedio de Macrotextura en mm					
	Carril derecho			Carril izquierdo		
	R. Externa	Centro	R. Interna	R. Externa	Centro	R. Interna
26+250	1.26	1.06	1.65	1.75	1.24	1.41
27+520	1.17	1.44	1.71	1.44	1.62	2.12
30+400	1.6	1.54	1.49	1.35	1.04	2.08
31+650	1.12	1.57	1.44	1.85	1.13	1.78
34+550	1.26	1.07	1.22	0.75	0.72	1
36+150	1.28	1.51	1.35	1.39	0.91	0.83
39+500	1.09	1.15	1	1.28	0.96	0.82
Promedios	1.25	1.34	1.41	1.4	1.09	1.43

Promedio del tramo	1.32
--------------------	------

CRITERIO FRANCÉS		
Textura superficial	D del círculo de arena (cm)	Macrotextura (mm)
Muy lisa	>28	<0.4
Lisa	20 a 28	0.4 a 0.8
Normal	16 a 20	0.8 a 1.2
Rugosa	13 a 16	1.2 a 1.7
Muy rugosa	<13	>1.7



Textura inicial



Después de 2 años

4.2 AUTOPISTA MÉXICO – QUERÉTARO.

El pavimento existente mostraba daños significativos al nivel de carpeta asfáltica, por lo que era evidente una rehabilitación. La autopista México – Querétaro es de las más transitadas del país, con una gran cantidad de tránsito pesado. Para su rehabilitación se optó por el Sistema CASAA, que para ese entonces era introducido a México.

La rehabilitación con el Sistema CASAA se realizó el 20 de octubre de 2002 del km. 91 + 700 al km. 92 + 100 en el cuerpo “B”, mostrando los siguientes datos técnicos:

Agregado grueso: Basalto “Xometla”

Agregado fino: Arena de Mina “San Vicente”

Contenido de asfalto: 5.7%

Vacíos de aire: 13%

Pasa malla No. 4: 36%

Pasa malla No. 200: 5%

TSR > 80%

Se realizó la prueba de macrotextura después de un año y a los dos años, mostrando los resultados mostrados en las siguientes tablas:

PROMEDIO DE MACROTEXTURA EN MM. FECHA DE EVALUACIÓN OCT 2003						
Carril de baja (derecho)			Carril central			
KM	Rodera derecha	Centro	Rodera izquierda	Rodera derecha	Centro	Rodera izquierda
92+100	0.78	0.85	0.67			
92+050	0.64	0.86	0.92			
92+000	0.98	1.01	0.81	1.02	1.15	0.92
91+900	1	0.93	0.76	1.1	0.96	0.87
91+800	0.87	0.93	0.94			
91+700	0.86	0.83	0.96	0.92	0.85	0.71
Promedio	0.85	0.9	0.84	1.01	0.99	0.83

Promedio por carril

0.87

0.95

PROMEDIO DE MACROTEXTURA EN MM. FECHA DE EVALUACIÓN OCT-2004									
Carril de baja (derecho)			Carril central				Carril de alta (izquierdo)		
KM	Rodera derecha	Centro	Rodera izquierda	Rodera derecha	Centro	Rodera izquierda	Rodera derecha	Centro	Rodera izquierda
92+100	0.66	0.67	0.76	0.74	0.91	0.88	1.32	1.39	1.21
92+050	0.69	0.82	1.02	0.89	1.3	0.94	0.97	1.35	1.3
92+000	0.67	0.83	0.78	0.79	0.96	0.79	1	0.96	0.96
91+950	0.6	0.84	0.76	0.79	0.94	0.69	1.15	1.19	1.19
91+900	0.63		0.94	1.09	1.17	1.04	1.05	1.17	1.22
91+850	0.98	0.83	0.94	0.68	0.88	1.04	1.51	0.96	1.1
91+800	0.64		0.94	0.79		0.86	1.24	0.73	1.13
90+700	0.78	0.85	0.96	0.82	0.8	0.8	1.32	0.86	0.96
Promedio	0.71	0.8	0.87	0.83	1	0.9	1.2	1.07	1.14

Promedio por carril

0.79

0.92

1.14

Al igual que el ejemplo anterior, las lecturas de la macrotextura dan resultados altamente satisfactorios. La mayoría de las lecturas nos arrojan resultados mayores a 0.8, dando un nivel de rugosidad de normal a muy rugosa.

Nótese que en el carril de baja velocidad se observan las lecturas con una macrotextura más lisa, debido a que el tránsito pesado circula mayor tiempo por este carril, a diferencia del carril izquierdo, por el cual circulan en su mayoría automóviles con una velocidad alta.

4.3 PUENTE CHIAPAS.

El **Puente Chiapas** cruza la presa Nezahualcóyotl, también conocida como "Malpaso", situada en el estado de Chiapas. Es parte del tramo de conexión entre Las Choapas, Raudales Malpaso y Ocozocoautla de Espinosa. Se construyó en julio de 2002 y fue inaugurado el 22 de diciembre de 2003.

Se ubica en el km. 981 + 731 de la Carretera Las Choapas – Ocozocoautla. Tiene 1,208m de longitud de superestructura metálica por 10m de ancho. Su altura máxima es de unos 80 metros, con una altura de las columnas de 5,5 m y anchura de las mismas de 10 m.

Posee claros de hasta 168m (récord mundial para puentes lanzados). La construcción del pavimento asfáltico en el puente presentó un reto, debido a que la superestructura presenta expansiones y contracciones térmicas de hasta 30cm. y alabeos diferenciales. Además el tráfico y la configuración del puente genera vibraciones mayores a las de cualquier otro puente en México y las condiciones de temperatura, incluyendo el calor emitido por la superestructura requiere de un mayor grado de asfalto.

El Sistema CASAA, al mejorar la flexibilidad del pavimento, resultó muy conveniente para su utilización. De hecho resulta muy bueno para pavimentación en puentes ya que puede resistir mejor las deformaciones producidas por el alabeo diferencial.

En las siguientes fotografías se puede observar las etapas de construcción de la microcarpeta. Se muestran fotografías de su rápida aplicación. Se realizaron además pruebas de macrotextura y de densidad para probar su comportamiento.



Trabajos previos: Aplicación de resina epóxica.



Aplicación de Microcarpeta CASAA



Construcción de Microcarpeta usando el Sistema CASAA



Mancha de arena (Macrotextura)



Densímetro electromagnético

Evaluaciones en campo

El Sistema CASAA respondió a las demandas del puente Chiapas, mostrando un comportamiento satisfactorio y de acuerdo a lo esperado.

CONCLUSIONES CAPITULARES

Ya pueden observarse los resultados de la construcción de esta microcarpeta en México. Su aplicación ha resultado exitosa en los tramos donde se ha construido.

Ahora depende de nosotros los ingenieros civiles hacer un uso correcto del sistema, aplicando las normas de calidad requeridas y difundiendo este sistema a lo largo y ancho del país.

Es importante analizar las condiciones particulares del pavimento a rehabilitar para comprobar si este sistema es el más indicado. De serlo, conviene ampliamente su aplicación.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente trabajo se analizaron varios aspectos actuales de los pavimentos. Desde los conceptos fundamentales hasta la descripción de una técnica de sellado que es el Sistema CASAA.

A lo largo de la investigación se fueron descubriendo los más importantes problemas que sufre la industria de la pavimentación, principalmente al nivel de control de calidad, sin dejar de lado aspectos humanos como la negligencia o los intereses personales o de grupo.

Tomando en cuenta que la capa de rodadura es la capa de pavimento que más presenta problemas en su control de calidad, se propuso el Sistema CASAA para mejorar su calidad. Así, finalmente se expusieron ejemplos de su exitosa aplicación.

Como se ha mencionado, es muy importante conocer los nuevos sistemas y, si han resultado eficientes, llevarlos a la práctica. Pero de nada o poco sirve usar nuevos métodos, si los problemas de control de calidad persisten, incluso los problemas de origen humano. Es necesario cambiar la mentalidad conformista y buscar siempre hacer las cosas bien y cada vez mejor, aprender de los errores.

Tomando en cuenta todo lo anterior, veremos si se cumplieron las hipótesis mencionadas el inicio de esta obra:

- En efecto, la falla temprana de algunas carreteras se debe a la mala calidad de los materiales, a la mala aplicación del procedimiento constructivo, y al diseño. A esto habría que agregarle los errores de origen ético, lo que nos lleva a la comprobación de la siguiente hipótesis, viendo que la negligencia, así como el sacrificio de calidad por ahorro de dinero, afectan directamente la calidad de los pavimentos.

- La siguiente hipótesis resultó ser falsa, ya que las empresas, a pesar de demostrar gran experiencia, resultaron con fallas en el conocimiento de pruebas de laboratorio y de normas de calidad en algunos casos.
- De acuerdo a los resultados vistos en el capítulo 4, el Sistema CASAA resultó ser un buen método para mejorar la calidad del pavimento.

Es por esto que en seguida se sintetizan las conclusiones más importantes de este trabajo:

A) CONCLUSIONES:

1. En las empresas dedicadas al diseño, control de calidad y construcción de pavimentos, resulta muy necesario no sólo implementar las normas de control de calidad, sino además capacitar debidamente a los trabajadores en ellas, para de esta manera mejorar tanto en la empresa como en la calidad de los pavimentos.
2. La calidad de los materiales depende directamente de las pruebas de laboratorio. Es por esto que deben realizarse todas las pruebas necesarias para determinar la calidad de los diversos materiales, así como verificar en las normas de la SCT los procedimientos correctos para realizar las pruebas.
3. El mantenimiento que se realiza actualmente a las carreteras resulta insuficiente, y muchas veces cuando se realiza, se realiza mal. Deben existir programas de conservación para cada carretera del país, y prevenir que las empresas que realicen dicha conservación, estén bien capacitadas y tengan antecedentes de trabajar con calidad. Para esto, se necesita que el presupuesto sea suficiente, y el Plan de Infraestructura del Gobierno Federal busca cubrir esta demanda que, de llevarse a cabo correctamente, mejoraría en mucho la calidad de los pavimentos existentes.
4. Las normas son más estrictas y más completas actualmente, sin embargo, esto mismo ha provocado que las empresas pasen por alto algunos requisitos de calidad, resultando en un perjuicio para los pavimentos.

5. El diseño, la construcción y las pruebas de laboratorio representan, respectivamente, las actividades que tienen más deficiencias en los pavimentos. La carpeta es la capa del pavimento que presenta más problemas en su comportamiento.
6. El Sistema CASAA consiste en una microcarpeta de granulometría tipo *Gap Graded*, que consiste en la aplicación de un riego de emulsión asfáltica modificada que proporciona impermeabilidad y adherencia, seguida de una capa delgada de concreto asfáltico modificado, que trabajan ambos sellando la carpeta asfáltica.
7. A pesar de resultar más costoso el Sistema CASAA que los riegos de sello tradicionales, la inversión resulta positiva a mediano plazo debido a que reduce el ciclo de mantenimiento preventivo, aumentando la calidad del pavimento.
8. El Sistema CASAA reduce el hidroplaneo (*backspray*), reduce el nivel de ruido y proporciona una mayor fricción con las llantas.
9. La aplicación correcta de este Sistema requiere de estándares de calidad altos, por lo que resulta muy necesario mejorar los aspectos de calidad en las empresas para aplicarlo.
10. Es necesario que los ingenieros estemos siempre actualizados en nuevas técnicas de diseño, de construcción y de control de calidad. De no ser así, nos quedaremos como estamos ahora, con grandes deficiencias y cometiendo los mismos errores una y otra vez.

B) RECOMENDACIONES:

1. **EL MANTENIMIENTO DEBE SER PREVENTIVO Y NO CORRECTIVO.** Esta recomendación es básica y va dirigida a la SCT y a los concesionarios que tienen responsabilidad directa sobre las condiciones de los pavimentos.

1. En el caso de carreteras de cuota, aunque el pavimento se encuentre en pésimas condiciones, siguen cobrando costos altísimos de peaje. Esto no resulta justo con el usuario, que además de la cuota, debe pagar por el desgaste de su vehículo y, en muchos casos, por algún daño ocasionado por algún bache o por alguna otra deficiencia. Se recomienda bajar los costos de peaje cuando las condiciones del pavimento no sean las adecuadas.
2. Se recomienda difundir entre los diseñadores y constructores de pavimentos el sistema CASAA, así como capacitar al personal de las empresas en calidad.
3. Finalmente, sería conveniente ampliar la información de las nuevas técnicas de pavimentación a través de estudios posteriores. Como ya se mencionó es importante estar actualizado.

ANEXOS

ANEXO 1. MÉTODO SÚPERPAVE PARA EL DISEÑO DE CEMENTOS ASFÁLTICOS MODIFICADOS.

En 1987, SHRP empezó a desarrollar un nuevo sistema para programas específicos de asfalto. El producto final del programa de investigación es un sistema nuevo llamado Superpave, que es la abreviación de sus siglas en ingles Superior Performing Asphalt Pavements (Desempeño Superior de Pavimentos Asfálticos). Superpave representa un sistema innovador de mezclas específicas de asfalto y agregados minerales, diseño para el desarrollo de mezclas asfálticas, análisis y el establecimiento para la predicción del desempeño del pavimento. Las especificaciones de mezcla y diseño de mezcla de Superpave incluyen algún equipo de prueba, métodos de prueba y el criterio para evaluarlos.

Lo que hace de este sistema de Superpave único es, que es un sistema de desempeño-base de especificaciones. El análisis y las pruebas han sido directamente relacionadas al desempeño en campo. Las pruebas de medición físicas de las mezclas asfálticas de Superpave, pueden relacionarse en forma directa con el desempeño en campo aplicando los principios de ingeniería. Las pruebas de mezcla de Superpave son conducidas bajo temperaturas a las que se encuentran los pavimentos en servicio.

El diseño de mezcla y el sistema de análisis de Superpave utilizan tres grados rigurosos de pruebas y análisis para proveer de un buen desempeño de la mezcla para un proyecto de pavimentos. El procedimiento de diseño de mezclas de Superpave consiste en una selección muy cuidadosa de los materiales y las proporciones volumétricas como primer paso de la producción de la mezcla. Las mezclas asfálticas en lugares críticos, con carga pesada de tráfico, pueden optimizarse para las condiciones actuales utilizando un estimado del desempeño del pavimento. Los procedimientos intermedio y final del análisis utilizan pruebas más comprensivas, sofisticadas, y los resultados son utilizados para predecir el desempeño de la estructura actual del pavimento, el clima y el tráfico.

Para la selección de asfaltos y materiales agregados los procedimientos se dirigen al diseño de mezclas para combinarlos. Aunque existen otros métodos para diseñar las mezclas, en los últimos años el Sistema Superpave se ha empleado mucho. En dicho sistema se especifican dos tipos de propiedades de los agregados:¹

- **De consenso.-** Mediante la especificación de la angulosidad de los agregados finos y gruesos, Superpave busca alcanzar un alto grado de fricción interna y así obtener mayor fuerza en las esquilas para la resistencia a las roderas. La limitación de la cantidad de arcilla hace creer la adhesión entre el asfalto y los agregados. Las propiedades de consenso son:
 - Angularidad del agregado grueso.
 - Angularidad del agregado fino.
 - Partículas planas y alargadas.
 - Contenido de arcilla (presencia de material plástico).Asimismo al limitar las partículas alargadas se asegura que los agregados de la mezcla asfáltica sean menos susceptibles a quebrarse durante el proceso de construcción y bajo el tránsito.

- **De fuente.-** Son la dureza, pureza y la elasticidad de los materiales. La dureza es medida mediante la prueba de abrasión; la pureza con la prueba de pureza de sulfato de magnesio; y la elasticidad mediante pruebas de grumos de arcilla y fiabilidad.

El diseño y procedimientos de análisis de mezcla de Superpave dependen para su uso del nivel de tráfico para el cual son diseñados los pavimentos. Existen dos nuevos elementos dentro del sistema de Superpave, las pruebas de desempeño y los diseños de compactación. Los diseños de compactación van acompañados del compactador giratorio de Superpave (SGC). El SGC comparte algunas características con los compactadores actuales, pero tiene características operacionales completamente nuevas.

¹ Curso **Asfaltos, generalidades y caracterización**. Asociación Mexicana del Asfalto.

Mientras su propósito principal es la compactación de muestras, el SGC puede ofrecer información sobre la compactación de una mezcla en particular mediante la captura de datos durante la compactación. El SGC, puede utilizarse para diseñar mezclas que no presenten un comportamiento delicado y que no se densifican en forma peligrosa con bajos contenidos de vacíos de aire bajo la acción del tráfico. El diseño volumétrico es utilizado para todos los proyectos de pavimentos y contempla las pruebas de compactación utilizando el SGC y la selección del contenido de asfalto de acuerdo a los requerimientos volumétricos del diseño. Para altos niveles de tráfico, se utiliza un análisis intermedio volumétrico del diseño de mezcla como punto de partida e incluye otras pruebas para llegar a la predicción del desempeño.

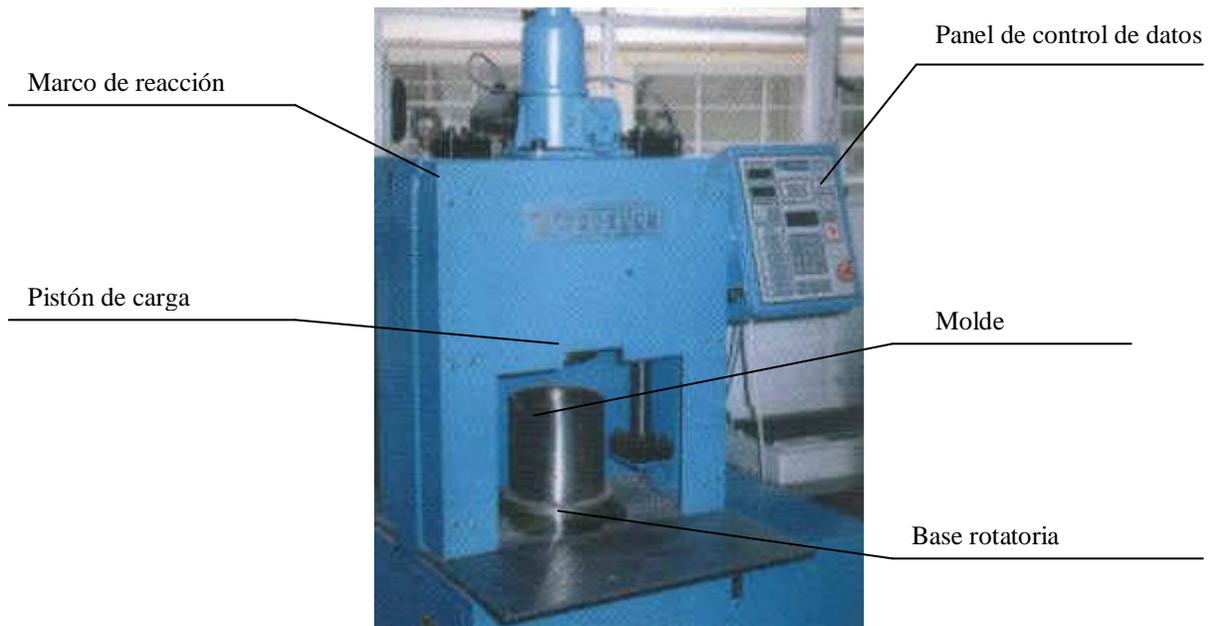
Los procedimientos de diseño de mezclas de Superpave envuelven la selección de asfaltos y agregados minerales que incluye sus respectivos criterios; el desarrollo de múltiples agregados que cumplan con los requerimientos de Superpave; la combinación de asfaltos y el envejecimiento de las mezclas a corto tiempo de; la compactación de muestras y análisis volumétrico de las mezclas; la selección de la mejor mezcla como diseño de la estructura de los agregados; y la compactación de muestras de la estructura de diseño de los agregados a diferentes contenidos de asfalto para determinar el contenido de asfalto de diseño.

COMPACTADOR GIRATORIO SUPERPAVE.

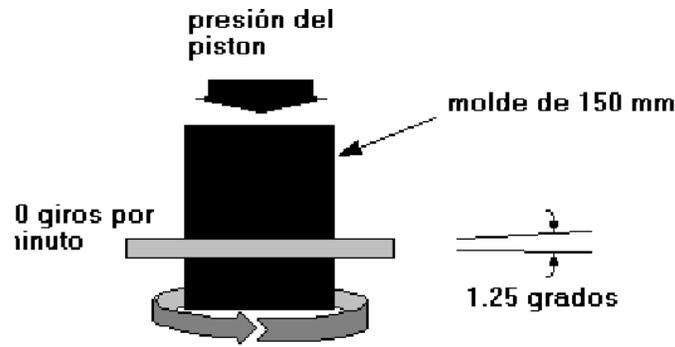
Los investigadores de SHRP querían muestras compactadas de mezclas reales para alcanzar la densidad bajo las actuales condiciones climáticas y de carga del pavimento. El equipo de compactación necesario capaz de acomodar los agregados largos. Ellos querían un compactador capaz de medir la compactación para que el comportamiento del tendido de la mezcla tuviera un comportamiento y los posibles problemas fueran fácilmente identificados. Una alta prioridad para los investigadores era que el equipo fuera portable para utilizarlo en las operaciones de control de calidad. Ya que no existía un instrumento con estas características se desarrolló el Compactador Giratorio Superpave (SGC).

El SGC consiste de los siguientes componentes:

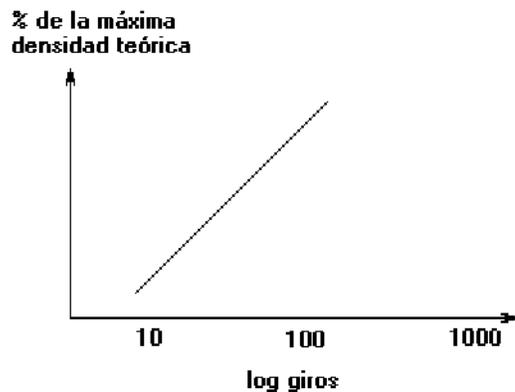
- Marco de Reacción, base rotatorio y motor.
- Sistema de carga, ariete de carga, salida de presión.
- Medición de altura y sistema de grabación.
- Molde y plato base.



Un mecanismo de carga contra el marco de reacción y aplica una carga sobre el ariete para producir una presión de compactación de 600 Kpa sobre la muestra. La salida de presión mide el ariete de carga para mantener una presión constante durante la compactación. El modelo de SGC tiene un diámetro interno de 150 mm y el plato base en el fondo proporciona el confinamiento durante la compactación. La base del SGC rota en forma constante a 30 revoluciones por minuto con el molde posicionado en el ángulo de compactación a 1.25 grados.



La medición de la altura de la muestra es una función importante del SGC. La densidad puede ser estimada durante la compactación conociendo la masa del material puesto en el molde, el diámetro interno del molde y la altura de la muestra. La altura se mide grabando la posición del ariete durante la prueba. Utilizando estas mediciones, se desarrollan las características de compactación de la muestra.



La figura muestra como la densidad de la muestra de asfalto se incrementa mientras se incrementan los giros. Así como con otros procedimientos de diseño de mezcla se diseñan con un nivel específico de esfuerzo de compactación. En Superpave esto es una función del número de diseño de giros N_{des} . N_{des} es utilizado para variar el esfuerzo de compactación en el diseño de la mezcla y es una función climática y del nivel de tráfico. El clima es representado por el promedio de alta temperatura y es determinado por el software de Superpave utilizando el promedio de los siete días de la máxima temperatura del aire para las condiciones del proyecto (temperatura con un 50% de confiabilidad). El tráfico es

representado por el diseño de ESALs. El rango de valores para Ndes se muestra en la siguiente tabla.

Diseño ESALs Millones	Diseño Promedio de Altas temperaturas del Aire											
	< 39°C			39-40°C			41-42°C			43-44°C		
	Nini	Ndes	Nmax	Nini	Ndes	Nmax	Nini	Ndes	Nmax	Nini	Ndes	Nmax
< 0.3	7	68	104	7	74	114	7	78	121	7	82	127
0.3 -1	7	76	117	7	83	129	7	88	138	8	93	146
1 - 3	7	86	134	8	95	150	8	100	158	8	105	167
3 -10	8	96	152	8	106	169	8	113	181	9	119	192
10 - 30	8	109	174	9	121	195	9	128	208	9	135	220
30 - 100	9	126	204	9	139	228	9	146	240	10	153	253
> 100	9	143	235	10	158	262	10	165	275	10	172	288

Otros dos niveles de giros son de interés: el número inicial de giros (Nini) y el número máximo de giros (Nmax). Las muestras son compactadas utilizando el Nmax de giros; un estimado de la compatibilidad se determina utilizando Nini Nmax y se calculan con Ndes utilizando la siguiente relación:

$$\text{Log Nmax} = 1.10 \text{ Log Ndes}$$

$$\text{Log Nini} = 0.45 \text{ log Ndes}$$

Durante todo el proceso de compactación, este sistema cuenta con un dispositivo que registra las alturas de la probeta durante cada giro, lo que hace que se convierta en una información importante para la construcción de las curvas de densificación, utilizando los valores mencionados anteriormente. El método Superpave considera que inmediatamente después de la construcción, el comportamiento del concreto asfáltico se ve influenciado por las propiedades de éste, que resultan del mezclado en caliente y de la compactación.

ANEXO 2. PRUEBA DE SUSCEPTIBILIDAD A LA HUMEDAD Y A LAS DEFORMACIONES PERMANENTES USANDO LA RUEDA CARGADA DE HAMBURGO EN ESPECÍMENES EXTRAÍDOS DE CAMPO

La prueba de Hamburgo tiene el objetivo de medir la resistencia a las roderas y a los desgranamientos de una mezcla asfáltica compactada en laboratorio o de corazones de 10 pulgadas extraídos directamente del pavimento. Sirve para identificar problemas de adherencia de los materiales pétreos con el cemento asfáltico y para identificar una mezcla con estructura mineral deficiente, que sea susceptible de presentar baches o deformaciones permanentes.

La prueba consiste en dos ruedas de acero de 47mm que se mueven axialmente sobre una muestra producida en el laboratorio de 32 X 26cm o en un corazón extraído del campo de 250mm (10”). La carga en cada rueda es de 0.71kN (158lb) con una presión de contacto de 217psi. Los especímenes son probados típicamente a 50 0C y sumergidos

completamente en un baño de agua. El baño, así como se mantiene a temperatura de prueba, también determina la susceptibilidad de la mezcla al agua.

La velocidad de la rueda es de 30cm por segundo. La prueba se corre a 20,000 ciclos o a una deformación límite de 20mm. El criterio de falla en la especificación definida por la Ciudad de Hamburgo es de 4mm de deformación máxima en autopistas y 2.5mm en zonas industriales.

Adicional se realiza un análisis del contenido de asfalto, granulometría y % de vacíos de aire de la mezcla compactada.

APARATO DE PRUEBA

De acuerdo con lo especificado en la norma AASHTO se debe utilizar para efectuar la prueba la Rueda Cargada de Hamburgo con los periféricos necesarios para registrar y presentar los datos de la prueba. Los periféricos son la computadora, interfase de datos y el software necesario. Para tal caso la Dependencia deberá autorizar el equipo y el laboratorio que realizara las pruebas.

Para la determinación del contenido de asfalto se debe utilizar un horno de ignición que cumpla con los requerimientos establecidos en la norma AASHTO T308-99.

EXTRACCIÓN DE MUESTRAS EN CAMPO

La prueba de referencia se realiza directamente a especímenes extraídos de campo en las zonas y tramos determinados por la Dependencia, tomando un mínimo de 3 muestras por cada estación de trabajo, de acuerdo con lo especificado en la norma AASHTO T324-04 las muestras deben ser extraídas con una broca de 25.4 cm. (10'') de diámetro en todo el espesor de la carpeta asfáltica. Los especímenes deben ser transportados debidamente protegidos de la humedad y de los impactos hacia el laboratorio autorizado para las pruebas.

PRUEBAS A EFECTUAR POR ESTACIÓN DE TRABAJO

De los tres especímenes extraídos en la estación de trabajo, dos de ellos serán utilizados para la prueba de simulación de Hamburgo y el tercero será utilizado para la obtención de las propiedades siguientes:

- Contenido de asfalto (AASHTO T308-99)
- Granulometría de la mezcla (AASHTO T27-99)
- Gravedad Máxima de la mezcla (AASHTO T209-99)

Antes de colocar los especímenes en el aparato de Hamburgo se deben conocer su densidad compactada aplicando el procedimiento AASHTO T166-00 con el objetivo de conocer el % de vacíos de aire de la mezcla compactada.

CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DE LA PRUEBA DE SIMULACIÓN DE HAMBURGO

La prueba de simulación de Hamburgo debe ser efectuada de acuerdo al procedimiento AASHTO T324-04, considerando lo siguientes parámetros:

- Dos especímenes por cada prueba, que correspondan a la misma estación de trabajo
- Temperatura del baño de agua 50°C
- 20,000 ciclos
- Especímenes debidamente confinados con yeso o material similar para evitar su movimiento durante la prueba.
- Especímenes debidamente nivelados y centrados en el molde de prueba.
- Antes de colocar los especímenes en el aparato de Hamburgo se deberán conocer su densidad compactada aplicando el procedimiento AASHTO T166-00 con el objetivo de conocer el % de vacíos de aire de la mezcla compactada.

CRITERIO DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

La deformación máxima promedio permisible para considerar que la mezcla cumple con las expectativas de desempeño en cuanto a susceptibilidad a la humedad y

deformaciones permanentes debe ser de 10mm (diez milímetros) a 20,000 ciclos, sin presentar desprendimiento del agregado durante la prueba.



Rueda de Hamburgo. Fuente: <http://www.fhwa.dot.gov/pavement/asphalt/labs/mixtures/hamburg.cfm>

ANEXO 3. ENCUESTA DIRIGIDA A EMPRESAS CONSTRUCTORAS DE CARRETERAS PARA UN MEJOR CONOCIMIENTO DE SU FUNCIONAMIENTO.

El objetivo de esta encuesta es conocer el funcionamiento de la empresa para comprender mejor las operaciones para la realización de una obra carretera a nivel directivo.

Su propósito es buscar una mejor proyección de las empresas con experiencia en la construcción de carreteras y que se conozcan las ventajas que ofrece cada una de ellas.

Instrucción: Conteste las siguientes preguntas o, en su caso, marque con una cruz la opción que usted considere es la verdadera. No importa que usted no pertenezca a empresa alguna, conteste con su experiencia personal profesional. Las respuestas serán confidenciales.

1. Considera usted que la experiencia de esta empresa en la construcción de carreteras es:

Muy alta () Alta () Promedio () Baja ()

2. Mencione, en promedio, en cuántas obras de carreteras ha participado la empresa.

De 1 a 5 () De 6 a 15 () De 15 a 30 () Más de 30 ()

3. ¿A qué pruebas de laboratorio somete la empresa al material que utiliza para la construcción de carpetas asfálticas?

4. ¿Cree usted que el mantenimiento que se les da a las carreteras en el país es suficiente? ¿Por qué?

5. ¿Cuál cree usted que sea el motivo o los motivos por los cuales muchas de las carreteras del país se encuentran en mal estado?

6. ¿La empresa cuenta con aparatos o instrumental suficiente para realizar pruebas de control de calidad a los materiales que se utiliza en las obras de carreteras? ¿Cuáles?

No () Sí () _____

7. En la empresa, ¿emplean algún sistema de control de calidad? Si es así mencione por favor el nombre del mismo.

8. Indique si la siguiente afirmación es verdadera: La calidad en los materiales y en los procedimientos constructivos era mejor hace 30 años que actualmente.

Sí () No () ¿Por qué?

9. Mencione las dos principales deficiencias que, a su consideración, son las que más frecuentemente se observan en las carpetas asfálticas de acuerdo a:

La calidad de los materiales:

El procedimiento constructivo:

10. Aproximadamente, ¿qué porcentaje del presupuesto de un proyecto de pavimentación se asigna al aseguramiento de calidad?

11. Para usted, ¿qué importancia tiene el residente de obra en el aseguramiento de la calidad de la pavimentación?

Mucha () Poca () ¿Por qué?

12. ¿Cómo ha observado el desempeño de los laboratorios de materiales para asegurar la calidad de la obra?

Muy bueno () Bueno () Promedio () Malo () Muy malo ()

13. Enumere por favor del 1 al 6 de acuerdo al nivel de relevancia en el aseguramiento de la calidad, los siguientes aspectos:

- Trazo
- Diseño
- Construcción
- Supervisión externa
- Conservación
- Pruebas de laboratorio

14. Al igual que la pregunta anterior, enumere del 1 al 6 la capa de pavimento que generalmente presenta más problemas en el aseguramiento de calidad.

- Sello
- Carpeta
- Base
- Sub-base
- Sub-rasante
- Terracerías

15. ¿Cuál cree que es la principal causa de la falta de calidad en las carreteras? Enumere del 1 al 8.

- Negligencia
- Falta de conocimientos
- Pruebas de laboratorio deficientes.
- Presión por el cumplimiento del programa de obra
- No se otorga la licitación a la empresa adecuada

- Al licitante le interesa más la economía que la calidad
- Se sacrifica calidad por economía en la obra
- Otra:

16. ¿El personal de campo y laboratorio encargado de pavimentos en su empresa conoce la nueva normativa de la SCT?

Sí () No ()

17. ¿Cuál fue el último año en el que obtuvo la empresa las actualizaciones de las normas de calidad?

18. ¿Conoce el Sistema de Gestión de Calidad de la S.C.T.?

Sí () No ()

19. ¿Conoce el Sistema CASAA para la construcción de carpetas asfálticas? Si es así describa brevemente por favor de qué se trata.

20. Mencione la misión y la visión de la empresa.

Le agradezco su tiempo dedicado a la encuesta anterior, además de su amable atención.

BIBLIOGRAFÍA

A) Legislación consultada.

Artículo 1, fracción V, referido a la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas. 2007.

Artículo 4, referido a la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas. 2007.

Artículo 9, referido a la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas. 2007.

Artículo 76, referido a la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas. 2007.

Norma N-CTR-CAR-1-04-006/06, referida a Carpetas asfálticas con mezcla en caliente.

Norma N-CAL-1-01/05, referida a la Ejecución del control de calidad durante la construcción o conservación.

Norma N-CMT-4-04/03, referida a Materiales pétreos para mezclas asfálticas.

Norma N-CMT-4-05-002/06, referida a la Calidad de materiales asfálticos modificados.

B) Obras consultadas.

BRITO RAMÍREZ Rafael Pedro. *Curso Materiales Pétreos*. División de Educación Continua UNAM. Palacio de Minería.

CRESPO VILLALAZ. *Vías de comunicación*. Edit. Limusa, Primera edición, México, 1979.

CREMADES IGNACIO. *Curso "Los Asfaltos"*. Asociación Mexicana del Asfalto.

Curso Antecedentes y uso actual de los asfaltos. Asfaltos modificados. Asociación Mexicana del Asfalto.

Curso Construcción y Conservación de Pavimentos. División de Educación Continua UNAM. Palacio de Minería. 1998.

Curso Emulsiones Asfálticas. Asociación Mexicana del Asfalto A.C.

Enciclopedia de México Tomo II. Edición especial. Compañía editora de Enciclopedias de México. 1987.

GALINDO SOLÓRZANO, GUTIÉRREZ ROCHA. *La Importancia del Control de Calidad en la Modernización de la Industria de la Construcción*. Asociación Mexicana del Asfalto A.C.

Glosario especializado de terminología asfáltica. Asociación Mexicana del Asfalto A.C. 2008.

HAY WILLIAM. *Ingeniería del transporte*. Primera edición. Edit. Limusa. México. 1983.

Manual: Métodos de muestreo y prueba de materiales. Capítulo M-MMP-4-05-004, 005, 006, 007, 009, 010, 011, 022, 023, 024, 025, 026. Normativa SCT.

RICO RODRÍGUEZ. *La ingeniería de suelos en las Vías Terrestres tomos 1 y 2*. Edit. Limusa, Primera edición, México, 1978.

SALOMON Delmar. *Pavement Preservation Systems*.

SÁNCHEZ PULIDO Pedro. *Taller sobre emulsiones asfálticas, su mezcla en frío y riego de sello*. Facultad de Ingeniería UNAM, 2000.

SÁNCHEZ PULIDO Pedro. *Notas: Actualización en bacheo, renivelación y riego de sello*. CAPUFE, 1999.

SOTO GONZÁLEZ Ernesto. Curso “*Criterios de pavimentos flexibles y calidad de mezclas asfálticas, control de calidad durante la construcción*” Asociación Mexicana del Asfalto A.C.

The Asphalt Institute. “*Energy Requirements for Roadway Pavements*”.

VALENZUELA ÁVALOS Teodoro Alfredo. *Tesis: “Procesos Administrativos y procedimientos Técnicos aplicados en los Mantenimientos a las Infraestructuras ubicadas en los Caminos Pavimentados de la Región del Usumacinta, Subregion de los Pantanos del Estado Tabasco*”. México, 2006.

ZÁRATE AQUINO Manuel. *Curso: Construcción y conservación de pavimentos*. _Curso ICA, 1998.

D) Otras fuentes consultadas.

www.sct.gob.mx

www.technopave.com/publications/Conservacion-de-Pavimentos,Conservando-La-Inversion-del-Patrimonio-Vial.pdf

www2.nynas.com/start/article.cfm?Art_ID=2838&Sec_ID=180

es.wikipedia.org/wiki/Deformación