

Universidad de Matanzas Sede “Camilo Cienfuegos”
Facultad de Ciencias Técnicas
Departamento de construcciones



Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Civil

Propuesta de Guía Metodológica para la realización de mezclas asfálticas semidensas en la capa intermedia de la carpeta de hormigón asfáltico

Autor: Dayana Liset Rodríguez Muro

Tutor: Ing. Sarah Enríquez Guerra

Matanzas, 2020

PENSAMIENTO

“No hay obstáculo que no pueda vencerse ni problema sin solución posible”

Fidel Castro

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Por medio de la presente declare que **Dayana Liset Rodríguez Muro** soy el único autor de este trabajo de diploma y, en calidad de tal, autorizo a la Universidad de Matanzas a darle el uso que estime más conveniente.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Miembros del Tribunal:

_____ _____ _____
Presidente Secretario Vocal

DEDICATORIA

A mis padres, gracias por todo su amor y apoyo en estos cinco años, sin Uds. nada de esto hubiese sido posible a no ser por su compañía y soporte.

A mi hermano, por estar siempre a mi lado y ser mi guía pues en todo momento seguí sus pasos.

AGRADECIMIENTOS

- ❖ A mis padres: gracias por estar siempre a mi lado, y guiarme por el buen camino, son lo más importante en mi vida
- ❖ A mi hermano: por ayudarme en los momentos difíciles
- ❖ A Enrique Espinosa: por ser compañero, amigo y pareja durante gran parte de la carrera, y darme ánimos, comprenderme y apoyarme en cada momento, ya sea bueno o malo
- ❖ A mi familia: por comprenderme y apoyarme siempre
- ❖ A mi tutora Sarah: Por confiar en mí y ayudarme en todo momento con sus valiosas orientaciones y sugerencias
- ❖ A especialista Ing. Samuel Cabrera: por brindarme su apoyo en todo momento
- ❖ A Ing. Evelio Carrasca: por apoyarme y brindarme sus conocimientos
- ❖ A todos mis amigos y compañeros de aula por los grandes recuerdos que me han dejado en la trayectoria universitaria
- ❖ A mi claustro de profesores: por brindarme sus conocimientos a lo largo de la carrera

A todos los que me apoyaron y estuvieron a mi lado, muchas gracias.

RESUMEN

En los pavimentos una alternativa sustentable, económica, viable y que presenta un buen desempeño mecánico y funcional para la construcción de capas estructurales es el empleo de mezclas asfálticas en caliente fabricadas con emulsiones asfálticas y agregados pétreos. Las mezclas asfálticas se emplean en la construcción de firmes, ya sea en capas de rodadura o en capas inferiores y su función es proporcionar una superficie de rodamiento cómoda, segura y económica a los usuarios de las vías de comunicación, facilitando la circulación de los vehículos, aparte de transmitir las cargas provocadas por el tráfico a la explanada para que sean soportadas por ésta. Existen diversos métodos para el diseño de las mezclas asfálticas, diferenciados según el tipo que se requiera, sean densas o semidensas. En caso de las mezclas asfálticas semidensas el método más común utilizado en Cuba es el método Marshall, donde el diseño básico de las mismas se efectúa siguiendo las normas de ensayos INV E y las Normas Cubanas, donde son aplicados los procedimientos y criterios de cálculo establecidos en el Manual MS-2 del Instituto de Asfalto de Estados Unidos. Debido a que en Matanzas es inexistente la dosificación de estas mezclas para capas específicas de la carpeta de hormigón asfáltico de los pavimentos, se manifiesta la necesidad de un diseño específico por la Brigada Constructora 3(MICONS) mediante una guía metodológica para la capa intermedia de ésta, analizando las propiedades y características fundamentales requeridas.

Palabras claves: asfálticas, dosificación, guía, método, mezcla, pavimento, semidensas.

ABSTRACT

In pavements, a sustainable, economic, viable alternative that presents a good mechanical and functional performance for the construction of structural layers is the use of hot asphalt mixtures made with asphalt emulsions and stone aggregates. Asphalt mixtures are used in the construction of pavements, either in rolling layers or in lower layers, and their function is to provide a comfortable, safe and economical bearing surface for road users, facilitating the circulation of vehicles. , apart from transmitting the loads caused by traffic to the esplanade so that they are supported by it. There are different methods for the design of the mixtures, differentiated according to the type that is required, whether they are dense or semi-dense. In the case of semi-dense mixtures, the most common method used in Cuba is the Marshall method, where their basic design is carried out following the INV E test standards and the Cuban Standards, where the procedures and calculation criteria established in the MS-2 Manual of the United States Asphalt Institute. Since in Matanzas there is no dosage of these mixtures for specific layers of the asphalt concrete pavement folder, the need for a specific design is manifested by the Construction Brigade 3 (MICONS) using a methodological guide for the intermediate layer of This, analyzing the properties and fundamental characteristics required.

Key words: asphalt, dosage, guide, method, mix, pavement, semi-dense.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	1
Capítulo 1: Estado del Arte de las mezclas asfálticas en los pavimentos.	8
1.1: Antecedentes históricos de las Carreteras.....	8
1.1.1 Pavimentación de Carreteras.....	9
1.1.2 Pavimentación en el mundo	10
1.1.3 Pavimentación en Cuba.....	14
1.1.4 Pavimentos en Matanzas.....	18
1.2: Mezclas asfálticas para pavimentos.....	19
1.2.1 Mezclas asfálticas para pavimentos a nivel mundial	19
1.2.2 Mezclas asfálticas en Cuba	24
1.2.3 Mezclas asfálticas en Matanzas.	26
1.3. Términos y definiciones. Requisitos Normativos que deben cumplir las mezclas de hormigón asfáltico para la construcción de un pavimento flexible.	28
1.3.1 Términos y definiciones.....	28
1.3.2 Requisitos Normativos que deben cumplir las mezclas de hormigón asfáltico para la construcción de pavimentos flexibles.	30
Table 1.1: Normas de Ensayos. Fuente: Elaboración Propia.....	31
Capítulo 2 Análisis de propiedades fundamentales y guía metodológica de mezclas asfálticas semidensas.	33
2.1 Métodos de diseño de mezclas asfálticas.....	33
2.1.1 Evolución de los diseños de mezclas asfálticas en caliente.....	33
2.1.2 Método de diseño Marshall.....	35
2.2 Ensayos fundamentales para mezclas asfálticas semidensas en el Método Marshall.	40
2.2.1 Relaciones y Observaciones de los Resultados de los Ensayos.....	43
2.3 Propiedades fundamentales de mezclas asfálticas semidensas.....	43
2.3.1 Características de las mezclas asfálticas semidensas.....	43
2.3.2 Propiedades consideradas en el diseño de mezclas asfálticas semidensas	47
2.4 Propuesta de guía metodológica a partir de los requisitos a cumplirse para una mezcla asfáltica semidensa.	56
2.4.1 Descripción de las fases.....	57
2.4.2 Requisitos específicos para las plantas de tipo continuo	74
Conclusiones del Capítulo	76
Conclusiones	77
Recomendaciones	78

Referencias Bibliográficas 79

INTRODUCCIÓN

Desde los comienzos de la civilización humana, las calzadas o antiguos caminos fueron los primeros signos de progreso. Con el crecimiento de las poblaciones se hizo necesaria la comunicación con los demás poblados existentes con el fin de hacer llegar alimentos y otros materiales hacia otros pueblos o regiones lejanas, así nace la carretera.

La economía de un país necesita de la existencia de una red de carreteras adecuada para la transportación de la producción y de pasajeros. De una carretera la parte más importante, por su interacción directa con el tráfico y la influencia que tiene su estado en la explotación, es sin duda el pavimento. Es la parte más costosa de una carretera, representa entre un 40-60% del costo total de la obra. De ahí precisamente la importancia de estudiar las estructuras de pavimento más económicas, según los recursos que se dispongan. (Pedroso 2016)

El pavimento en arquitectura, es la base horizontal de una determinada construcción (o las diferentes bases de cada nivel de un edificio) que sirve de apoyo a las personas, animales o cualquier pieza de mobiliario. También se denomina pavimento a los conectores de vías de comunicación, atendiendo a todas las posibles situaciones en la ciudad como pueden ser las vías de comunicación de pesos ligeros, medios y pesados. (Cuervo 2018)

En Ingeniería se denomina pavimento a la estructura que recibe las solicitaciones de tránsito y clima y las traspassa a la subrasante, repartidas de manera que éste pueda soportar tales solicitaciones sin sufrir deformaciones, durante un período determinado de tiempo (vida útil). La estructura del pavimento está compuesta de diferentes capas, dispuestas en forma tal, que pueda realizar las funciones para lo cual fue diseñada de manera eficiente y económica. Por esta razón los pavimentos se definen como estructuraciones multicapas. (UNAIICC 1988)

El 90% de los pavimentos a nivel mundial están hechos de asfalto, lo que representa una cifra significativa y le da vital importancia a los pavimentos conformados por éste material. En Cuba también existe un porcentaje significativo de pavimentos asfálticos por lo que se hace necesario un estudio profundo de este tipo de pavimentos para lograr las características y calidad adecuada que alarguen su vida útil. (AMAAC 2015)

Las condiciones actuales de la infraestructura vial del país debido a la mala calidad de los materiales que en ocasiones intervienen en el diseño, la durabilidad de los pavimentos y también la falta de mantenimiento (prácticamente nula), han contribuido a que no progrese constantemente el desarrollo de la nación y la competitividad económica, dado que la mayor cantidad de mercancías se transportan por las vías nacionales y, por ende, existe un alto flujo de vehículos de carga que generan grandes daños y repercusiones negativas a las estructuras viales.(Cabrera 2020)

Las mezclas asfálticas son un componente esencial de la estructura del pavimento, éstas se emplean en la construcción de firmes, ya sea en capas de rodadura o en capas inferiores y su función es proporcionar una superficie de rodamiento cómoda, segura y económica a los usuarios de las vías de comunicación, facilitando la circulación de los vehículos, aparte de transmitir suficientemente las cargas debidas al tráfico a la explanada para que sean soportadas por ésta. (Segura 2016)

Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros. Sin olvidar que se utilizan en las capas inferiores de los firmes para tráfico pesado intenso. Están formadas por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonado. Se producen en centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y compactan. (Segura 2016)

La carpeta de mezcla asfáltica es dividida en varias capas para su correcta distribución y compactación, estas capas son superior o de rodadura, intermedia e inferior. Las propiedades de la mezcla asfáltica dependen de la posición de la capa en que va a ser utilizada y de las condiciones básicas de diseño según determinados factores como el tráfico, las condiciones ambientales, la resistencia de la subrasante y las propiedades de los materiales.

Matanzas, ciudad yumurina, también conocida como la Ciudad de los Puentes y la Atenas de Cuba es una de las provincias de mayor aporte a la economía del país debido a que es considerada como uno de los destinos más importantes del Caribe, por ello es de vital importancia la correcta construcción y mantenimiento de sus carreteras para que cumplan con las propiedades de confort y seguridad.

El organismo encargado en la provincia de llevar a cabo los servicios de Diseño, Ingeniería y Construcción del Sistema de Viviendas y Viales es el Ministerio de Construcción y Montaje (MICONS), el cual también dirige, ejecuta y controla las investigaciones ingeniero geológicas de las construcciones a realizar. Se encuentra dividido en varias brigadas que desempeñan las diferentes tareas de la organización.

La brigada Constructora número 3, ubicada en la Carretera San Juan, final Jaiba, Matanzas, es la encargada de ejecutar las mezclas asfálticas desde los últimos años 2018-2020 diseñadas por la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA), estos diseños son los utilizados en la construcción de los pavimentos de la provincia, y elaborados en la principal Planta de Asfalto de la provincia ubicada en Coliseo, "Abel Santamaría". Ante la extensiva red de carreteras de la provincia se llevan a cabo anualmente numerosas construcciones y reparaciones de caminos, utilizando gran cantidad de toneladas de mezclas asfálticas en caliente del tipo densa independientemente del tráfico y de las capas a realizarse.

Es por los elementos planteados con anterioridad que surge como **situación problemática**: dada la extensiva red de carreteras de la provincia de Matanzas existe un enorme gasto económico de materiales para la construcción y conservación de las vías de comunicación usándose el mismo tipo de mezcla asfáltica sin importar el uso específico donde será utilizada, aun cuando es posible el diseño de éstas individualmente en cada capa de la carpeta de hormigón asfáltico.

Planteándose entonces como **problema científico**: ¿Cómo elaborar una guía metodológica para el diseño de una mezcla asfáltica semidensa en caliente que sea capaz de cumplir con los requisitos necesarios requeridos por la Brigada Constructora 3, para la capa intermedia de la carpeta hormigón asfáltico?

Para lograr una respuesta al problema de la investigación se plantea la siguiente **hipótesis**: Si se cumplen con los requisitos necesarios para la elaboración de una guía metodológica que garantice el correcto diseño de una mezcla asfáltica semidensa en caliente se podrán utilizar los resultados obtenidos en el diseño de la capa intermedia de la carpeta de hormigón asfáltico.

El **objeto de estudio** de la investigación se afianza en la dosificación de la mezcla asfáltica utilizada en la provincia de Matanzas en toda la carpeta de hormigón asfáltico y tiene como **campo de estudio** las mezclas asfálticas semidensas.

Siendo entonces el **objetivo general** de la investigación:

1. Elaborar una guía metodológica para la dosificación de la mezcla asfáltica semidensa en caliente para la capa intermedia de la carpeta de hormigón asfáltico en los pavimentos de la provincia

El cual será desarrollado mediante los siguientes **objetivos específicos**:

1. Fundamentar el estado del arte sobre los pavimentos y mezclas asfálticas en caliente.
2. Analizar los métodos de diseño de mezclas de hormigón asfáltico y las propiedades que deben poseer las mezclas asfálticas en caliente, fundamentalmente las del tipo semidensa.
3. Proponer una guía metodológica para la dosificación de la mezcla asfáltica semidensa en caliente a utilizar en la capa intermedia de la carpeta de hormigón asfáltico en las vías de comunicación de la provincia.

Operacionalidad de las variables relevantes

Variable independiente: Diseño de mezclas asfálticas utilizado en el espesor total de la carpeta de hormigón asfáltico de los pavimentos de la provincia.

Variable dependiente: Metodología de diseño de mezclas asfálticas semidensas a utilizar en la capa intermedia de la carpeta de hormigón asfáltico de los pavimentos de la provincia.

Tareas principales de la investigación:

Fundamentación del estado del arte sobre los pavimentos y mezclas asfálticas en caliente teniendo como objeto las del tipo semidensa.

Análisis de los métodos de diseño de mezclas de hormigón asfáltico, las propiedades que deben poseer las mezclas asfálticas en caliente, fundamentalmente las del tipo semidensa así como sus características.

Elaboración de la propuesta de la guía metodológica para la dosificación de la mezcla asfáltica semidensa en caliente a utilizar en la capa intermedia de la carpeta de hormigón asfáltico en las vías de comunicación de la provincia.

Métodos de investigación

Para llevar a cabo el objetivo de esta investigación fueron empleados diferentes métodos de investigación siendo estos:

Teóricos:

Método histórico- lógico: se emplearán en el estudio de las mezclas asfálticas en caliente, permitiendo además el estudio específico del tipo semidensa.

Inducción - Deducción: se aplicará para generalizar los aspectos más relevantes obtenidos a partir de la documentación científico-técnica y las investigaciones ingenieras aplicadas.

Método de estudio documental: se utilizará para la revisión de documentos relacionados con los temas de diseño de mezclas asfálticas semidensas.

Empíricos:

Observación directa y levantamiento de campo: permitirá detectar la metodología general de diseños de mezclas asfálticas existentes para posteriormente elaborar una metodología específica para el diseño del tipo semidensa a emplear en la capa intermedia de la carpeta de hormigón asfáltico de los pavimentos.

Entrevista: será empleada a los especialistas que laboran en la Brigada Constructora 3 de la provincia de Matanzas.

Estructura de la tesis

El Capítulo I abarca el estado del arte asociado al tema, presentando los fundamentos conceptuales relacionados a los pavimentos y las mezclas asfálticas, además de presentar los antecedentes históricos del surgimiento de los diseños de las mismas dando por definido el protocolo de la investigación.

El Capítulo II se refiere a los métodos utilizados en el diseño y de las características y propiedades fundamentales que presentan las mezclas asfálticas semidensas en caliente. Además se elaborará la guía metodológica para el diseño de la este tipo de mezclas para la capa intermedia de la carpeta de hormigón asfáltico de los pavimentos.

Aportes

Práctico: Se obtendrá una guía metodológica para el diseño específico de las mezclas asfálticas semidensas en caliente para la capa intermedia de la carpeta de hormigón asfáltico de los pavimentos.

Económico: En función de detener el uso de un diseño general de mezclas asfálticas la guía metodológica ayudará a la racionalización de presupuestos y gastos determinándose las acciones concretas constructivas y materiales necesarios.

Social: Se manifiesta en el impacto positivo que aporta esta investigación debido a la importancia de carreteras factibles y fiables.

CAPÍTULO 1: ESTADO DEL ARTE DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN LOS PAVIMENTOS.

El capítulo expone sobre la fundamentación del estado del arte en cuanto a los antecedentes de las carreteras, la importancia de la pavimentación de los caminos, se da a conocer las principales carreteras a nivel mundial haciendo énfasis en los principales viales de Cuba. Se define el concepto de mezcla de hormigón asfáltico así como las características que éstas deben poseer para que cumplan con las exigencias requeridas durante su vida útil. Se abarca los conceptos fundamentales de la dosificación de mezclas asfálticas.

1.1: Antecedentes históricos de las Carreteras.

“La historia de la humanidad es la historia de los caminos y siempre éstos han cumplido análogas funciones en relación con el desarrollo y las tecnologías. Las civilizaciones y la barbarie se sirven de los caminos, sin los cuales no se concibe su expansión. Rastro del paso del hombre fueron los primeros caminos; rastro de la historia son al fin y al cabo todos los caminos” (Bañón 2012)

Es indudable la influencia que los caminos han tenido en la historia, así como recíprocamente el efecto que la historia ha tenido en la concepción y construcción de caminos. Algunos de los grandes imperios que han dominado el mundo antiguo basaban su proceso de expansión, conquista y posterior control en el intrincado entramado de vías y caminos.

Desde la antigüedad, la construcción de vías de comunicación ha sido uno de los primeros signos de civilización avanzada. Cuando las ciudades de las primeras civilizaciones empezaron a aumentar de tamaño y densidad de población, la comunicación con otras regiones se tornó necesaria para hacer llegar suministros alimenticios o transportarlos a otros consumidores. Entre los primeros constructores de carreteras se encuentran los mesopotámicos. (Bañón 2012)

Los primeros caminos fueron construidos en 4000 Ac. El transporte fluvial era mucho más rápido y más fácil que el transporte por carreteras pero con la aparición de las ruedas

todo cambio. Con el invento de las ruedas también llegaron los carruajes jalados por animales o humanos, por lo que las carreteras tuvieron que ser condicionadas para poder ser usadas por este tipo de transporte. Algunas literaturas manifiestan que los primeros constructores de carreteras fueron los mesopotámicos entre los años 4.000 y 3.500 AC, los arqueólogos han conseguido calles pavimentadas en la antigua ciudad de UR. En el año 3.000 AC se comenzaron a usar ladrillos para construir las calles en la India. Hacia el año 500 AC se construyó el Camino Real de Persia, el cual comenzaba en la ciudad de Susa y con una extensión de 2957 km. Otra carretera importante de la época la construyeron los chinos y se constituyó la carretera más larga del mundo, la llamada Ruta de la Seda por allá en el siglo XI AC. Aquellas vías eran muy amplias y su longitud abarcaba 2300 km pasando por ciudades importantes. (Jara 2013)

Los romanos fueron uno de los primeros en construir carreteras pavimentadas de piedras en el Norte de África y Europa para apoyar sus operaciones militares. Más tarde, los árabes construyeron carreteras que fueron cubiertas con alquitrán. Las técnicas de construcción de carreteras mejoraron gradualmente a lo largo de los siglos por el estudio de la circulación viaria, el espesor de la piedra, el trazado de la carretera, y los gradientes de pendientes. Los materiales de construcción de carreteras iniciales eran piedras que fueron puestas en un diseño regular, compacto, y cubiertas con piedras más pequeñas para producir una capa sólida. (Zorio 1987)

Las técnicas de construcción de carreteras eran sencillas pero eficaces, reducían considerablemente el tiempo de viaje y conectan un lugar a otro por tierra. La vía Apia en Roma sigue existiendo a pesar de que fue construida hace 2300 años. Si las vías romanas se consideran el comienzo de la construcción de carreteras, las aceras Telford son conocidas como la segunda etapa de esta evolución, seguido por las aceras Macadam que desembocan en las carreteras alquitranadas. Hoy en día las carreteras de hormigón han añadido otra dimensión a la estabilidad y la fuerza de las carreteras. (Jara 2013)

1.1.1 Pavimentación de Carreteras.

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y

adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el período para el cual fue diseñada la estructura del pavimento. (Montejo 2011)

Puesto que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, se deberán colocar los materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores, siendo de menor calidad los que se colocan en las terracerías, además de que son los materiales que más comúnmente se encuentran en la naturaleza, y por consecuencia resultan los más económicos.

La división en capas que se hace en un pavimento obedece a un factor económico, ya que cuando determinamos el espesor de una capa el objetivo es darle el grosor mínimo que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior. La resistencia de las diferentes capas no solo dependerá del material que la constituye, también resulta de gran influencia el procedimiento constructivo; siendo dos factores importantes la compactación y la humedad, ya que cuando un material no se acomoda adecuadamente, éste se consolida por efecto de las cargas y es cuando se producen deformaciones permanentes.

1.1.2 Pavimentación en el mundo

El mundo cuenta con 32 millones de carreteras o caminos transitables, según estima la CIA (la Agencia Central de Inteligencia Norteamericana) en su *The World Fact Book* (literalmente, Libro Mundial de Hechos), casi diez veces la distancia entre la tierra y la luna. Tanto es así, que a 100 km/h se tardaría 36 años en recorrerlos, sin comer, dormir, ni repostar combustible o ir al baño.

La red mundial de carreteras es muy variable, según la región del mundo y su desarrollo. Tanto es así que la diferencia entre países es grande y no siempre se corresponde con su extensión geográfica.

El país con mayor número de carreteras de todo tipo es Estados Unidos con 6.586.610 millones, seguido la India con 4.699.024 millones y China con 4.577.300 millones de

kilómetros de red viaria, según la clasificación *The World Fact Book*. Precisamente el país asiático de la famosa muralla ofrece la mayor red de autopistas y autovía a nivel mundial con 111.950 kilómetros, 9.597.000 km² de extensión, muy por encima de los 77.017 kilómetros de Estados Unidos, 9.162.000 km². Ambos países son los más grandes del mundo en extensión tras Rusia y Canadá. Detrás de estos dos gigantes se sitúa con 15.048 kilómetros de red de autovías y autopistas, España, que ocupa el puesto 52 del planeta por extensión con 505.000 km².

Aunque no todas las carreteras del mundo están pavimentadas, de ahí que salgan esos millones de kilómetros pues a las carreteras asfaltadas se suman los terraplenes y caminos transitables.

En el año 2019 se realizó un estudio de las carreteras a nivel mundial, cuyo estudio arrojó las 10 carreteras más espectaculares del mundo, las cuales son:

Transfagarasan, Rumanía: Se trata de 90 kilómetros que conectan las regiones de Transilvania y Valaquia. La parte norte es la más espectacular y está llena de curvas cerradas y cambios de altura de infarto. Entre octubre y junio suele estar cubierta de nieve y cerrada, así que el verano es la época ideal para disfrutarla, además, pasa por el castillo de Vlad Tepes, más conocido como el del conde Drácula.

Paso del *Stelvio*, Italia: Debe su fama mundial al hecho de que está situada a 2.757 metros de altitud, a las 48 curvas cerradas que hay en el recorrido entre Valtellina y Merano, a un par de rampas que quitan el hipo y a los tramos estrechísimos que añaden emoción a la conducción. Además, el paisaje es espectacular y hay muy poco tráfico en una de las carreteras más bonitas del mundo.

La escalera del *Troll*, Noruega: es una carretera de montaña muy estrecha con 11 curvas cerradas y una pendiente media del 9%. Es muy popular entre los turistas y los aficionados a la conducción. Es una de las principales atracciones de los fiordos de Noruega y con razón: en la cima de una de las mejores carreteras del mundo hay un mirador desde el que contemplar el asfalto y la cascada de Stigfossen de 320 metros de caída.

Túnel de *Guoliang*, China: Guoliang era un pueblo aislado de las montañas de Taihang, así que sus habitantes decidieron construir un túnel excavando la roca. Se dice que una de las mejores carreteras del mundo la construyeron 13 habitantes del pueblo, pico en mano, y que les llevó cinco años terminar el trayecto de 1.200 metros de longitud, 5 de alto y 4 de ancho. Está abierta al tráfico desde 1977 y ha sido bautizada como la «carretera que no permite error alguno».

El camino de la muerte, Bolivia: Esta carretera va de La Paz a Yungas en lo que son 80 kilómetros de auténtico infarto: no en vano recibió el título de carretera más peligrosa del mundo en 1995. Solo tiene un carril (que en algunos tramos no supera los tres metros de ancho) y carece de antepechos.

Overseas Highway, Estados Unidos: Esta autopista recorre los cayos de Florida y tiene 205 kilómetros de longitud. La mayoría de los cuales se encuentran sobre el agua. Se puede recorrer en unas cuatro horas y disfrutar del paisaje, el océano y las puestas y salidas de sol, si se va a la hora adecuada. Durante las vacaciones suele haber mucho tráfico y no es de conducción especialmente placentera.

Great Ocean Road, Australia: Otra de las mejores carreteras, con 400 kilómetros, recorre la costa australiana del estado de Victoria y el recorrido pasa por maravillas naturales tan espectaculares como el arco de Londres o los 12 apóstoles, 12 rocas creadas por la erosión constante de los acantilados de piedra caliza durante millones de años.

Hringvegur, Islandia: Esta es la carretera principal de Islandia, la que circunvala toda la isla. Tiene un solo carril por dirección, excepto en las zonas más pobladas, y hay tramos que aún están sin asfaltar, pero sigue siendo la vía principal de este país poco poblado.

Carretera del *Karakórum*, entre Pakistán y China: La ruta *Kerakórum* conecta la ciudad china de *Xinjiang* con el norte de Paquistán, atravesando la cordillera del mismo nombre. Es la carretera pavimentada más alta del mundo, ya que en uno de sus pasos llega a los 4.693 metros de altitud. Son 1,200 kilómetros de la antigua ruta de la seda acompañados de glaciares, poblados donde hacer una parada y picos helados.

Red Rock Scenic Road, Estados Unidos: es una autopista que va de norte a sur en el estado de Arizona y pasa por los montes rojos de Sedona, que han sido calificados como un «museo sin muros. La última de las mejores carreteras del mundo. (Orus 2019)

Las carreteras modernas se construyen en líneas casi rectas a través de campo abierto en lugar de seguir las viejas rutas establecidas, y se evitan las áreas congestionadas o se cruzan utilizando avenidas especiales, túneles o pasos elevados. La seguridad se ha incrementado separando el tráfico y controlando los accesos; en las autopistas y autovías se separan los vehículos que viajan en direcciones opuestas mediante una mediana. Las principales características de las autopistas y autovías modernas son la existencia de señales luminosas adecuadas para la conducción nocturna, de amplios arcenes para detenerse fuera del tráfico, carriles con distintas velocidades, carriles de subida, carriles reversibles, zonas de frenado de emergencia, carriles para autobuses, dispositivos y marcas reflectantes en el pavimento y señales de control automático del tráfico. (Bañón 2012)

La concepción, el diseño y la construcción de carreteras han ido evolucionando a lo largo de los siglos en consonancia con las circunstancias históricas y el progreso tecnológico experimentado por el hombre. Durante todo este tiempo, han variado tanto los materiales como las técnicas utilizados en su construcción, ha cambiado la concepción de diferentes sistemas que asegurasen una mayor calidad y durabilidad del firme e incluso se han sucedido diferentes políticas viarias; sin embargo, aquello que no ha cambiado desde el origen de la civilización hasta nuestros días es el decisivo papel que representan las carreteras como infraestructura viaria en el desarrollo económico de un país, en su cohesión e integración territorial, en el equilibrio regional y en la misma configuración del territorio nacional. (Bañón 2012)

En el futuro más próximo, más que referirse al desarrollo económico se deberá atender al desarrollo sostenible: el progreso debe ser compatible con la conservación del medio físico, de forma que se asegure su capacidad actual y futura. Las obras de carreteras deben insertarse en el medio ambiente con el menor costo ecológico, lo que supone la incorporación de la variable medioambiental en la toma de decisiones sobre proyectos,

mediante la evaluación de impacto ambiental como técnica generalizada de protección de los recursos naturales.

La carretera abre el paso al progreso, pero también a la degradación de la naturaleza, por lo que debe compatibilizarse la conservación del medio ambiente con el desarrollo económico y, en caso de no ser posible, determinar la prevalencia del principio económico sobre el ecológico o de éste sobre aquél. (Bañón 2012)

1.1.3 Pavimentación en Cuba.

La red vial de Cuba para el transporte automotor tiene una extensión de 52 202 km, de los cuales 17 212 km corresponden a carreteras pavimentadas, para una densidad de 157m de vías pavimentadas por cada km² de superficie. La red incluye 654 km de autopistas y 400 km de otras vías expresas multicarriles. Cuenta con 3 815 puentes, predominando los de hormigón armado (95%). (UNAICC 2019)

Desde el punto de vista legal y de su administración las vías en Cuba se clasifican en:

- ✓ De interés nacional: son las autopistas, vías expresas multicarriles, carreteras que vinculan provincias entre si y las que unen las cabeceras municipales con las capitales provinciales, los viales a centros turísticos importantes (incluyendo los pedraplenes a los cayos), a los aeropuertos, puertos, nudos ferroviarios, centrales azucareros y otros objetivos económicos importantes. Estas vías están bajo la administración del Ministerio del Transporte
- ✓ De interés provincial (de acuerdo a decisión de las Asambleas Provinciales)
- ✓ De interés municipal (de acuerdo a decisión de las Asambleas Municipales)

La red de vías de interés nacional tiene una extensión de 11 554 km² y se trata casi totalmente de vías pavimentadas (con la excepción de las vías en construcción). Esta red abarca todas las provincias del país y el Municipio Especial Isla de la Juventud. (UNAICC 2019)

Más del 75 % de las carreteras de Cuba está en regular o mal estado, según datos del Ministerio de Transporte, que ha puesto en marcha un programa para frenar el deterioro, con énfasis en La Autopista Nacional y La Carretera Central. La mayoría (39 %) de las arterias de la Isla necesita extensivo mantenimiento, mientras que el 37 % está en condiciones regulares.

Las malas condiciones de las carreteras cubanas han influido junto a las negligencias de los conductores y los desperfectos técnicos de los vehículos, en su mayoría con décadas de explotación en el aumento de los accidentes de tránsito en Cuba, que registró un promedio de 29 siniestros diarios en el primer trimestre de 2019. (Lenzano 2019)

El año pasado, el incremento de las muertes por accidentes masivos de tráfico y el deterioro de las vías llevó a la prensa oficial cubana a exigir agilidad en la reparación de las vías, sobre todo la inconclusa Autopista Nacional, para evitar que siga siendo un cementerio sobre el asfalto.

Según el Centro Nacional de Vialidad, hasta el 2030 mantendrá como inversiones prioritarias, las obras asociadas al desarrollo del polo turístico en los cayos al norte de la Isla y la Zona Especial de Desarrollo del Mariel, el proyecto estrella del Gobierno cubano para captar capital extranjero.

En total la red de carreteras cubanas abarca 71.138 kilómetros, de los que 10.997 kilómetros son de interés nacional y 2.303 caminos provinciales. Dada que la prioridad del país es mantener en buen estado las carreteras proporcionándoles comodidad a los usuarios se hace necesario explotar al máximo nuestros recursos ya sean recursos naturales renovables como no renovables que garanticen la seguridad de nuestras vías pero siempre se debe tener en cuenta el factor económico y aprovechar al máximo los recursos que se tiene.

Anualmente se utilizan millones de toneladas de mezclas asfálticas en función de construir, mantener y rehabilitar las carreteras cubanas, para de esta forma garantizar el transporte tanto de mercancías como de pasajeros durante todo el año.

Los principales viales de Cuba:

Aunque ninguna carretera de Cuba cumple con los estándares requeridos para clasificar como autopista, aquí se les llama de esa forma a las viales más importantes del país.

- ✓ La Carretera Central (N-1) con una extensión total de 1435 km, construida en 1931 abarca todas las provincias del país, atravesando sus capitales provinciales con la sola excepción de Cienfuegos. Es una vía de dos sendas y un ancho de 6.30 m en zonas rurales
- ✓ La Autopista Nacional (A-1 de La Habana hacia el este. A-4 de la capital hacia occidente) Cuenta en total con 597 km transitables y une a La Habana con las ciudades de Santa Clara y Sancti Spiritus hacia el este y con Pinar del Rio hacia el oeste Atraviesa también el territorio de las provincias de Mayabeque, Matanzas y Cienfuegos (hacia el este)) y de Artemisa (hacia el occidente). Otro tramo construido conecta a Palma Soriano con Santiago de Cuba y parcialmente a esta ciudad con Guantánamo. El proyecto inicial abarcaba toda la isla, pero fue detenido en los 90
- ✓ La Vía Blanca, carretera expresa de 4 sendas, con 138 km une La Habana con la ciudad de Matanzas y el polo turístico de Varadero, serpenteando junto a la costa norte. Concluida en 1960. Se considera la primera autopista cubana y es una de las carreteras más transitadas del país

Otras autopistas:

- ✓ El Primer Anillo de la Habana
- ✓ La Autopista de Pinar del Rio
- ✓ La Autopista a Melena del Sur
- ✓ Autopista del Mediodía, entre otras

Otros circuitos

- ✓ Circuito Norte hasta occidente (245 km)
- ✓ Circuito Norte hacia el Este. (732 km)

- ✓ Circuito Sur-Central (491 km)
- ✓ Carretera Las Tunas-Bayamo (77 km)
- ✓ Circuito Norte de Oriente. (245 km)
- ✓ Circuito Guacanayabo-Sur de Oriente (347 km)

Otras carreteras importantes en Cuba son los llamados pedraplenes, construidos a partir de los 90, que dan acceso a cayos de la costa norte, convertidos en importantes polos turísticos. Son varios construidos sobre un mar somero, con una base pétreo y puentes a intervalos. Los más importantes son el de Cayo Coco (35 km) y el de Caibarien-Cayo Santa María (48 km).

En la red de interés nacional se incluyen los sistemas de carreteras de montaña en los cuatro grandes macizos montañosos de la isla en el occidente la Cordillera de Guaniguanico (entre Guane y Artemisa, 337 km), en el Macizo de Guamuhaya o Escambray (enlaces entre Trinidad, Manicaragua, Cumanayagua y Fomento, 233 km), en la Sierra Maestra (340 km) y en el Macizo Nipe-Sagua-Baracoa (Vía Mulata, Sagua-Guantánamo, Maisí, 559km).

En cada provincia de Cuba existen organismos llamados Ministerio de la Construcción (MICONS) que es el rector de la política de desarrollo de los Servicios de Diseño, Ingeniería y Construcción, Producción de Materiales de construcción del Sistema de viviendas en Cuba, además de dirigir, ejecutar en lo que le compete y controlar la política del Estado y del Gobierno en cuanto a las investigaciones ingeniero- geológicas aplicadas a la construcción; la elaboración de diseños para las actividades de Construcción y Montaje; la Construcción Civil y el Montaje Industrial; el Mantenimiento y la Rehabilitación de las vivienda; las urbanizaciones; el mantenimiento Constructivo; la explotación de obras de interés Estatal; Civiles; Industriales ; Viales; atraques y Dragado; la fabricación industrial de hormigones hidráulicos y asfálticos y elementos de hormigón

Este sector cuenta con una fuerza laboral de aproximadamente 100 mil trabajadores, de los cuales el 41% son técnicos y el 45% son operarios. El número de profesionales

sobrepasa la cifra de 12 mil, distribuidos en las especialidades de Ingeniería Civil, Arquitectura, Ingeniería Mecánica, entre otras. El sector cuenta con un Sistema de Gestión de la Calidad certificado en 136 organizaciones, para un 72% del total. (UNAICC 2018)

1.1.4 Pavimentos en Matanzas

Matanzas es la segunda provincia de mayor extensión de Cuba y una de las que más ha contribuido al desarrollo económico de la Isla. Se encuentra en la región occidental de Cuba y, exceptuando las tierras altas del noroeste y centro de la provincia, toda la superficie de Matanzas es llana. Con un clima tropical casi todo el año, atrae a muchos turistas que llegan en busca de sol y playa, ya que Matanzas contiene una de las perlas más preciadas de Cuba, Varadero.

Económicamente Matanzas despuntó en casi todos los sectores y aportó ganancias a Cuba desarrollando todo tipo de actividades: energética, industrial, ganadera, agrícola, etc. La joya de Matanzas, la que más aporta a la provincia, es la rutilante ciudad de Varadero, con su interminable extensión de playas, su apabullante cadena de hoteles y su lujoso estilo de vida. No obstante Matanzas tiene muchos lugares hermosos que no desmerecen a su lado.

Debido a la importancia que representa la provincia de Matanzas para la economía del país se hace necesario conservar en buen estado las vías del corredor turístico de Matanzas, es la principal misión de los trabajadores pertenecientes al Centro Provincial de Vialidad del territorio Yumurino.

La SEDE del MICONS en la provincia Matanzas se encuentra en la Calzada de San Luis 13 esquina San Francisco, Pueblo Nuevo, Matanzas; esta constituido por varias Unidades Empresariales de Base (UEB) donde cada una es la encargada de llevar a cabo actividades en específico que realiza este organismo en general. En la carretera San Juan se encuentra la Unidad Empresarial de Base, Brigada Constructora 3, Civil e Ingeniería Matanzas, la cual es la encargada de las actividades de ingeniería como son la

construcción y rehabilitación de viales, movimiento de tierras y construcción de obras de defensa.

La correspondiente misión de la Brigada Constructora 3 correspondiente al organismo del MICONS de la provincia es brindar servicios de construcciones, sustentados en la profesionalidad y experiencia, ofertando un producto de alta calidad, comprometidos con la preservación del medio ambiente y la relación contractual con los clientes.

La visión de la brigada correspondiente es ser una Empresa que se desarrolle de forma confiable, segura, sólida, flexible y rentable, construyendo el cambio en la era del conocimiento, con la audacia, experiencia, sentido de pertenencia, y calidad humana, con una gestión que se anticipe y adapte al cambio, aprenda de la experiencia e innove permanentemente sin obviar la calidad y el cuidado ambiental.

1.2: Mezclas asfálticas para pavimentos

1.2.1 Mezclas asfálticas para pavimentos a nivel mundial

Durante las últimas décadas, se ha desatado un aumento considerable de los volúmenes de tráfico, dando paso al incremento de las cargas que llegan al pavimento. La producción y extendido de las mezclas asfálticas ha evolucionado durante los últimos 130 años, pasando de la mezcla y extensión a mano con palas, a las plantas de alimentación informatizadas, con equipos de compactación, mezclas y extendido altamente automatizados. Durante este periodo, ha sido ampliamente aceptado el hecho de que el control de la temperatura es crucial para la envuelta del árido, la estabilidad de la matriz durante la producción y el transporte, facilidad de extendido, y en última instancia para el rendimiento del asfalto. (Alonso et al. 2013)

Una mezcla asfáltica en general es una combinación de asfalto y agregados minerales pétreos en proporciones exactas que se utilizan para construir firmes. Las proporciones relativas de estos minerales forman el esqueleto de la mezcla y la trabazón de las partículas de diferentes tamaños determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el rendimiento de la misma como mezcla terminada para un determinado uso. (Arias 2018)

La mismas deben cumplir con determinados estándares tales como:

- ✓ la mezcla asfáltica debe ser duradera, es decir , debe ser resistente a las acciones tales como el despegue de la película de asfalto del agregado por efectos del agua y abrasión del tránsito
- ✓ debe ser resistente a las sollicitaciones de tránsito a través de su estabilidad
- ✓ debe ser impermeable para que sus componentes no estén bajo la acción directa de los agentes atmosféricos
- ✓ debe ser trabajable para su fácil colocación y compactación en el terreno

Aunque el consumo de mezclas asfálticas de un país a otro varía significativamente se muestra que se ha incrementado en un 33% a nivel mundial entre los años 2002 y 2005, centrando en este período la producción en América y Europa.

Se resalta que el continente americano ha tenido un incremento en el consumo de mezclas asfálticas del 31% y los países que contribuyen a dicho aumento son Estados Unidos en primer lugar y después se ubican México, Brasil, Canadá y Argentina. Aunque, se expresa la posibilidad de que países como Chile, Colombia y Venezuela contribuyan con un porcentaje significativo por su alta influencia europea pero por falta de control no cuentan con un adecuado registro de cantidades.

Para los años 2007 al 2009 la *International Bitumen Emulsion Federation* (IBEF) publica las estadísticas del consumo anual de mezclas asfálticas para la industria vial donde la variación total de este periodo no alcanza el 2%, por lo tanto se puede decir que en estos años el consumo mundial se mantuvo constante permaneciendo América y Europa los mayores consumidores. (Alonso et al. 2013)

Las mezclas asfálticas se emplean en la construcción de firmes, ya sea en capas de rodaduras o en capas inferiores y su función es proporcionar una superficie de rodamiento cómoda, segura y económica a los usuarios de las vías de comunicación, facilitando la circulación de los vehículos, aparte de transmitir suficientemente las cargas debidas al tráfico a la explanada para que sean soportadas por ésta.

Existen varios parámetros de clasificación para establecer las diferencias entre las distintas mezclas de hormigón asfáltico y las clasificaciones pueden ser diversas:

- a) Por Fracciones de agregado pétreo empleado
- b) Por la Temperatura de puesta en obra

✓ Mezclas asfálticas en Frío

✓ **Mezclas asfálticas en Caliente:** Constituye el tipo más generalizado de mezcla asfáltica y se define como mezcla asfáltica en caliente la combinación de un ligante hidrocarbonado, agregados incluyendo el polvo mineral y, eventualmente, aditivos, de manera que todas las partículas del agregado queden muy bien recubiertas por una película homogénea de ligante. Su proceso de fabricación implica calentar el ligante y los agregados (excepto, eventualmente, el polvo mineral de aportación). Se emplean tanto en la construcción de carreteras, como de vías urbanas y aeropuertos, y se utilizan tanto para capas de rodadura como para capas inferiores de los firmes. Existen a su vez subtipos dentro de esta familia de mezclas con diferentes características. Se fabrican con asfaltos aunque en ocasiones se recurre al empleo de asfaltos modificados, las proporciones pueden variar desde el 3% al 6% de asfalto en volumen de agregados pétreos. (Crespín et al. 2012)



Figura 1.1 Mezcla asfáltica en Caliente. Fuente: Brigada de Construcción 3

c) Por la proporción de Vacíos en la mezcla asfáltica

Este parámetro suele ser imprescindible para que no se produzcan deformaciones plásticas como consecuencia del paso de las cargas y de las variaciones térmicas.

- ✓ Mezclas Cerradas o Densas: La proporción de vacíos no supera el 5%
- ✓ **Mezclas Semi-cerradas o Semi-densas:** La proporción de vacíos está entre el 5 % y el 8 %
- ✓ Mezclas Abiertas: La proporción de vacíos supera el 9 %
- ✓ Mezclas Porosas o Drenantes: La proporción de vacíos es superior al 20 %

d) Por el Tamaño máximo del agregado pétreo

e) Por la Estructura del agregado pétreo

f) Por la Granulometría

Aunque los primeros avances significativos de mezclas semidensas, en pos del desarrollo sostenible, aparecieron durante los años '90 en Europa, en 1956, el *profesor Ladis H. Csanyi*, doctor en *Iowa State University*, investigó acerca del potencial del betún espumado para uso como ligante de suelos. Esta técnica se consiguió a partir de la inyección de vapor caliente en el betún. Este método ha tenido variaciones, particularmente sustituyendo el vapor por agua fría inyectada en el asfalto. (Alonso et al. 2013)

El primer proceso desarrollado fue *Aspha-min* (producida por *Mitteldeutsche Hartsteinindustrie AG, Eurovia*) en 1995, en Alemania, donde se empleó una zeolita sintética. Al año siguiente *Shell and Kolo Veidekke* iniciaron experimentos en estas mezclas usando asfalto espumado. El primer tramo de prueba fue puesto en obra en 1997 (en Hamburg, Alemania) con ceras de *Fischer Tropsch (Sasobit)* y en 1999 con *WAM-Foam* y *Aspha-min*. Luego de estas experiencias, se han llevado a cabo diferentes desarrollos de estas técnicas principalmente en Europa.

A partir del año 2007 se prueban nuevos aditivos para mezclas semidensas, como la utilización de otro tipo de zeolita sintética (*Advera*) y continúan las pruebas de campo para validar las tecnologías existentes, por los grupos de trabajo en Europa y América del Norte fundamentalmente. (Alonso et al. 2013)

En el año 2008, se lleva a cabo un amplio proyecto de investigación por un grupo de especialistas, de la Administración Federal de Carreteras, del Departamento de Transportes de los EEUU (*FHWA, Federal Highway Administration U.S. Department of Transportation*) en coordinación con la Asociación Americana del Estado de Carreteras y Transportes (*AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials*) y el Programa Nacional de Cooperación de Investigación de Carreteras (*NCHRP, National Cooperative Highway Research Program*). El mismo perseguía como objetivo evaluar el surgimiento y desarrollo, incluyendo recomendaciones para futuros proyectos, de las tecnologías de mezclas semidensas desarrolladas y de los tramos de pruebas colocados.

En el año 2009, Vaitkus et al. presentan una comparación entre diferentes tecnologías de WMA, empleando diferentes aditivos. En sus resultados se observan las mayores diferencias entre las mezclas para la densidad como se puede observar en la figura 1.2. (Alonso et al. 2013)

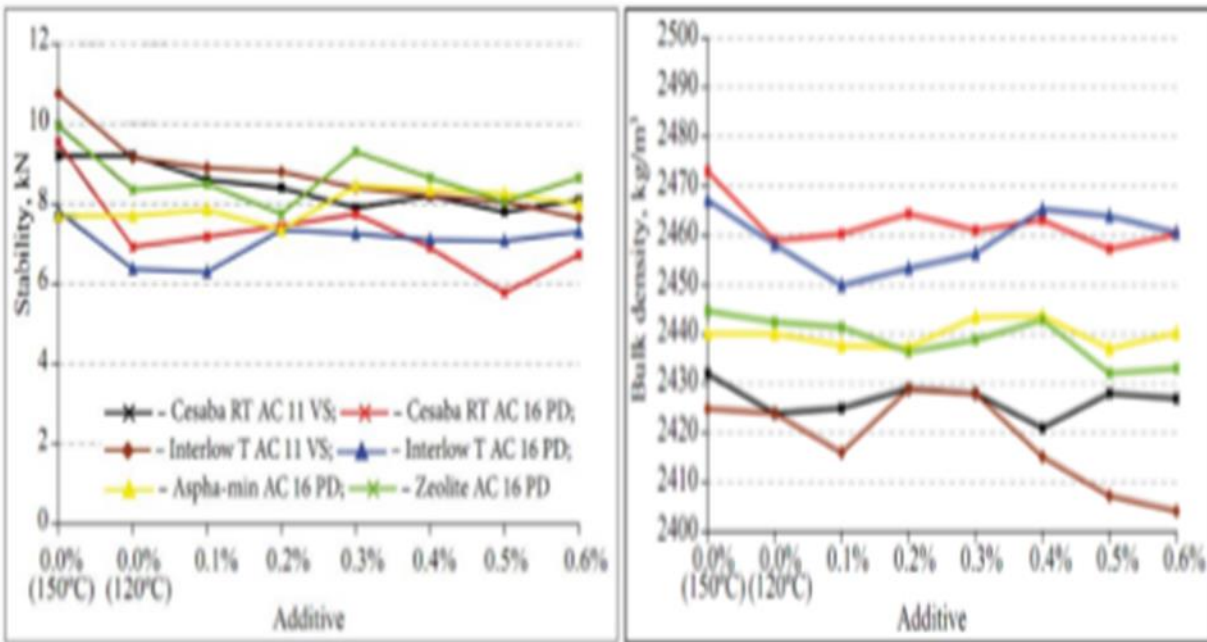


Figura 1.2. Resultados comparativos de diferentes mezclas Semidensas. Fuente: Alonso et al. 2013

1.2.2 Mezclas asfálticas en Cuba

La recuperación gradual de la economía cubana desde fines de la pasada década, ha demandado la revitalización del transporte como estrategia para garantizar el traslado de cargas y pasajeros, que se incrementan a lo largo y ancho del país.

Desde el 2004 el MICONS inició la reanimación de su industria de materiales como fuente de materia prima para el desarrollo de ese y otros programas. El financiamiento para la pavimentación fundamentalmente asciende a más de 40 millones de euros, con lo cual se han adquiridos más de 500 equipos y medios. Esto permite crear en cada provincia una brigada especializada en esta tarea.

En el país existen diferentes empresas destinadas a la producción y diseño de mezclas asfálticas, tales como:

- ✓ Empresa Construcción Obras Especiales y Mantenimiento Vial, Santiago de Cuba
- ✓ EPIM, Camagüey
- ✓ Mantenimiento Constructivo, Matanzas
- ✓ Planta de Asfalto, Sagua la Grande, Villa Clara
- ✓ Planta de Asfalto, Santa Clara, Villa Clara
- ✓ Planta Manzanillo, Granma
- ✓ Planta Santa Rita, Granma
- ✓ Planta de Asfalto, Ciego de Ávila
- ✓ Planta de Asfalto, Sancti Spíritus
- ✓ Planta de Asfalto, Coliseo, Matanzas

En la actualidad se ha comprado cuatro nuevas plantas de avanzada tecnología, que producirán mezcla asfáltica de máxima calidad. De estas dos garantizarán la demanda en la pavimentación de calles y avenidas de la capital cubana, y otras dos móviles estarán al servicio de las regiones central y oriental.

También se introducen novedosas tecnologías como reciclado en situ y en planta, y se trabaja en la recuperación de dos buques para transportar líquido asfáltico, a la vez que se activan cuatro terminales portuarias para la recepción de estos fluidos, que permitirán agilizar y elevar la eficiencia en el proceso productivo al acercar este recurso a las plantas donde se obtendrán las mezclas. Se adquieren además nuevos equipos para seis brigadas especializadas en movimientos de tierra que trabajaran en la recuperación vial del oriente cubano.

Una de las novedades en el país la adquiere la Planta de Asfalto de San José sin polvo, ni humo y muy poco ruido, ubicada en la Autopista Nacional, donde antes estuviera una Industria similar pero de atrasada tecnología, cuya actividad fabril ocasionaba entonces el malestar de los vecinos afectados por el hollín que despedían su chimenea y molinos.

La Unidad Empresarial de Base Osvaldo Herrera de Santa Clara, dedicada a la elaboración de mezclas asfáltica, se encuentra en fase de prueba, tras ser sometida a un proceso de recuperación, se encuentra en condiciones de aportar unas 300 toneladas diarias de ese componente. En esta unidad también se instaló una minindustria de materiales constructivos, dedicada a la confección de bloques con perspectivas de incorporar otros renglones, como viguetas y tabletas.

1.2.3 Mezclas asfálticas en Matanzas.

La Planta de Asfalto Caliente “Abel Santamaría Cuadrado”, perteneciente a la Empresa de Construcción y Montaje en especial a la Brigada 3 de la ECMM, Contingente. “Julio Antonio Mella” se localiza en Coliseo, Municipio Jovellanos, Provincia Matanzas; en las coordenadas geográficas $22^{\circ} 55' 10''$ y $81^{\circ} 18' 56''$, a una altura de 90 m sobre el nivel medio del mar. La Planta se encuentra ubicada en el kilómetro 138 de la Carretera Central en el tramo Limonar-Coliseo a 1,5 km. Al Noroeste del poblado de Coliseo. Colinda al Norte con la Cantera Antonio Maceo, al Sur con la Planta de Asfalto Frío del Poder Popular y salida a la Carretera Central, al Este un terreno yermo, al Oeste con los Molinos e Instalaciones socioeconómicas de la Cantera “Antonio Maceo” y en la parte Norte y Noroeste está rodeada por lomas de la que se extrae la materia prima para los molinos de la cantera.



Figura 1.3: Planta de Asfalto Abel Santamaría Cuadrado, en la actualidad. Fuente: Brigada Constructora 3

El proceso de elaboración del hormigón asfáltico caliente tiene dos fases o etapas bien definidas, que se producen en un proceso continuo.

- ✓ 1era etapa: Tratamiento, secado y calentamiento de los áridos y calentamiento del cemento asfáltico.
- ✓ 2da etapa: Mezclado de estos productos para la conformación del hormigón asfáltico caliente y su vaciado en el camión transportador.

Los áridos se trasladan del patio de acopio (dovelas) a las tolvas de almacenamiento en frío mediante un cargador de goma que los abastece según la demanda de producción, de estas tolvas, mediante bandas transportadoras pasan al secador rotatorio donde ocurre el calentamiento y secado de los áridos ,al aplicarse llama directa, la cual se produce en la entrada de este, el secador rotatorio funciona con un quemador de combustible de fuel oíl y un soplador de aire, del secador rotatorio el árido pasa al transportador elevador, los gases de combustión, vapores y el polvo que se genera en el proceso de secado son extraídos y pasados por una batería de 3 ciclones los cuales tienen la función de separar de los gases la mayor cantidad de polvo y material particulado y reincorporarlo al proceso productivo como vía de recuperación de materia prima, los gases de combustión y las partículas más finas son expulsados por la chimenea. El transportador elevador, descarga en las zarandas clasificadoras, enviándose a los vines en caliente y después de pesadas las fracciones son descargadas en el mezclador, donde se produce el hormigón asfáltico caliente. (IDICT 2013)



Figura 1.4:

Planta de Asfalto Abel Santamaría Cuadrado, en la actualidad. Fuente: Brigada Constructora 3

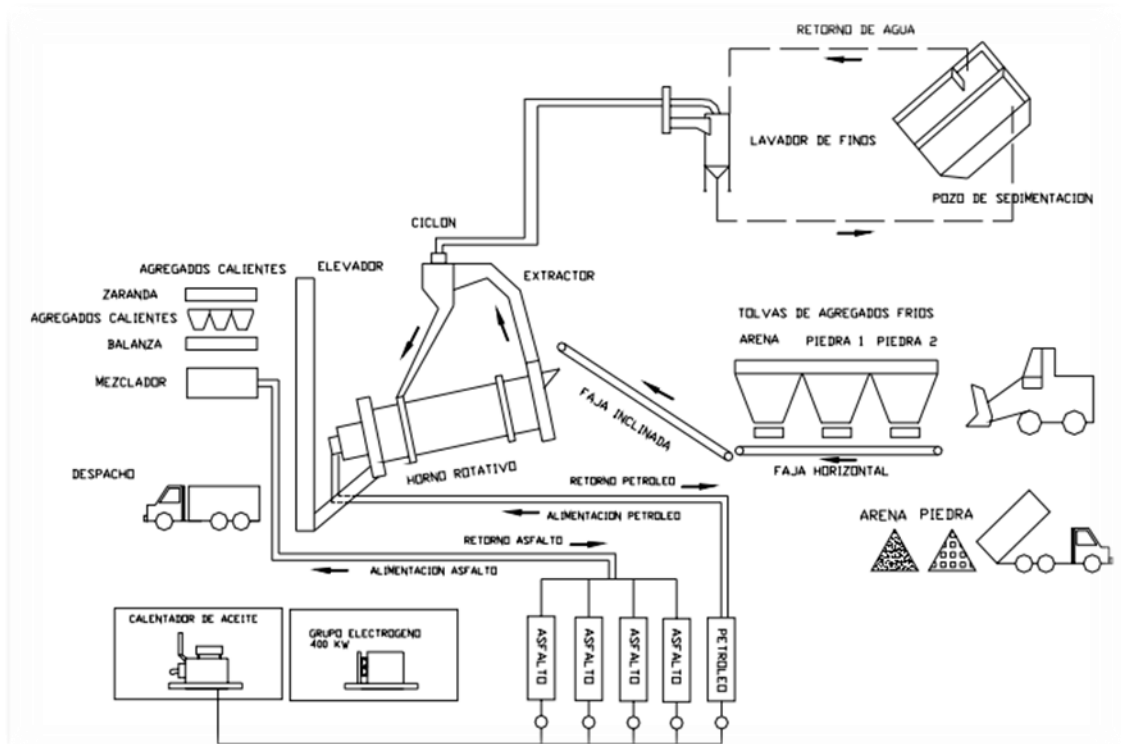


Figura 1.5. Proceso de elaboración de mezcla asfáltica. Fuente: Brigada Constructora 3

1.3. Términos y definiciones. Requisitos Normativos que deben cumplir las mezclas de hormigón asfáltico para la construcción de un pavimento flexible.

1.3.1 Términos y definiciones.

✓ **Hormigón asfáltico caliente (HAC)**

Producto resultante de la combinación en caliente con un ligante asfáltico de una estructura pétreo previamente establecida, ambos se dosifican en proporciones definidas y constantes bajo estrictas regulaciones de temperatura y tiempos de mezclado.

✓ **Esqueleto mineral**

Estructura pétreo formada por la combinación de áridos graduados y secados por calentamiento en función de lograr el esqueleto resistente exigido en el conglomerado para satisfacer con ello los requerimientos mínimos de vacíos especificados según el tipo de HAC y fijados de acuerdo con el tamaño máximo del árido utilizado y con la función que tendrá la mezcla en el pavimento.

✓ **Tamaño máximo absoluto**

Tamaño expresado en milímetros y correspondiente a la menor abertura del tamiz por la cual pasa la totalidad (100%) de los agregados que componen el esqueleto mineral del HAC

✓ **Criterios de Diseño**

Parámetros que para cada HAC se establecen y rigen los valores máximos o mínimos a obtener según el caso, o los rangos donde ubicar los resultados característicos requeridos, tales como estabilidad, deformación, vacíos, densidad, permeabilidad, rigidez y el % de pérdida

✓ **Proyecto de mezcla**

Conjunto de gráficos y documentos que avalan la dosificación de materiales propuesta por el laboratorio, que utilizando el método Marshall garantiza el logro de las características especificadas para la mezcla y asegura el cumplimiento de los criterios de diseño establecidos. Sirven de base estos resultados para la obtención

✓ **Fórmula de Trabajo (FT)**

Combinación granulométrica obtenida a partir del proyecto de mezcla y según las características tecnológicas de la instalación, a la que se le aplica determinadas tolerancias con las cuales se conforma un huso de control que no debe exceder la especificación establecida.

✓ **Pavimento Flexible**

Es el que en su estructura resistente está integrado por 3 elementos sobre el nivel de la subrasante, éstos son la sub-base, la base y la capa de rodadura.

- Capa de sub-base

Capa secundaria distribuidora de esfuerzos sobre el nivel de sub-rasante.

- Capa de base

Capa principal distribuidora de los esfuerzos procedentes de las cargas actuantes en la capa de rodadura.

- Capa de rodadura

Capa superior del pavimento compuesta por 1 o más carpetas de mezcla asfáltica compactada y que resiste los esfuerzos cortantes y tangenciales, transmitiendo en forma directa las cargas impuestas por el tráfico.

1.3.2 Requisitos Normativos que deben cumplir las mezclas de hormigón asfáltico para la construcción de pavimentos flexibles.

La buena preparación de una mezcla asfáltica es de gran importancia en la construcción de un pavimento flexible pues esta forma parte de la carpeta encargada de resistir los efectos del tráfico y de los cambios ambientales durante todo el año ofreciendo de esta forma la estabilidad de la estructura en su conjunto. Su dosificación depende de una serie de características y propiedades que deben corresponder a los materiales que la conforman y la calidad de la misma se evalúa mediante determinadas técnicas de ensayos recogidas en normativas nacionales e internacionales.

En la siguiente tabla se relacionan las normas de ensayos que se utilizan para la dosificación de las mezclas de hormigón asfáltico.

No.	Código de la norma		Título
	NC	ASTM	
1	NC-160: 2002	C29/C29M-97	Carreteras. Hormigón asfáltico caliente. Colocación en obra.

2	NC-253: 2005	C136-96a	Carretera. Materiales Bituminosos. Hormigón asfáltico caliente. Especificaciones. Cuba.
3	NC-261: 2005		Determinación del contenido óptimo de asfalto empleando el equipo Marshall. Cuba.
4	NC-759: 2010		Áridos para mezclas asfálticas. Requisitos. Cuba
5	NC 413 2005	C29/29M-97	Mezclas asfálticas contenido asfalto por extracción.
6	RC 2004(1983)	C117-95	Hormigón asfáltico caliente. Elaboración.

Table 1.1: Normas de Ensayos. Fuente: Elaboración Propia.

Conclusiones del capítulo

1. En el mundo es una necesidad la pavimentación de los caminos para garantizar el transporte de mercancías y pasajeros, haciéndose notable la importancia del correcto diseño y ejecución de los mismos para garantizar la calidad requerida y la comodidad necesaria al usuario.
2. La mezcla asfáltica constituye la capa de aporte estructural o rodamiento de un pavimento, por ello es fundamental la calidad de la misma para que esta pueda ofrecer una superficie cómoda y segura a los usuarios de las vías de comunicación terrestre.
3. Matanzas, al ser una de las provincias de mayor potencial económico y productivo de Cuba, requiere de carreteras cómodas y de calidad para el transporte de mercancías y pasajeros, por ello es de gran importancia el correcto diseño y ejecución de las mezclas asfálticas que son el componente fundamental de los pavimentos.

CAPÍTULO 2 ANÁLISIS DE PROPIEDADES FUNDAMENTALES Y GUÍA METODOLÓGICA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMIDENSAS.

En el capítulo se especificarán los diversos métodos para la creación y diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles usados para determinar las proporciones adecuadas de asfalto y agregados, así como las características y el comportamiento de las mezclas asfálticas bajo el diseño de Marshall. También se abordará acerca de las propiedades y los elementos fundamentales para el diseño, además de la elaboración una guía metodológica para los casos específicos de mezclas asfálticas semidensas.

2.1 Métodos de diseño de mezclas asfálticas.

Un pavimento de hormigón asfáltico está bien diseñado cuando posee una capa resistente al tránsito y al intemperismo que proteja al resto de las capas y a la subrasante de esfuerzos excesivos y de la filtración del agua superficial, además de proporcionar una superficie de rodadura cómoda y segura. (Morciago 2016)

Existen una serie de métodos de diseño de mezclas de hormigón asfáltico, pero los métodos más conocidos y empleados en el mundo son: Método Marshall y Método SuperPave. Es importante que la mezcla sea diseñada de tal forma que pueda ser colocada con facilidad, evitando segregaciones. Previo al diseño de la mezcla se deben analizar tanto los agregados como el asfalto para decidir si son aptos para la construcción del pavimento.

Actualmente el método que se utiliza en EEUU es el método SUPERPAVE ya que se considera que la metodología de diseño está basada en pruebas más reales y científicas y no empíricas como las del método Marshall pero dadas las condiciones económicas en países como Cuba se sigue utilizando el método Marshall.

2.1.1 Evolución de los diseños de mezclas asfálticas en caliente.

Los métodos de diseños de mezclas asfálticas en caliente han evolucionado con el paso del tiempo, ejemplo de ello es:

- ✓ *The Hubbard-Field* (1920's). Método de diseño de mezclas asfálticas, fue uno de los primeros métodos en evaluar contenidos de vacíos en la mezcla y en el agregado mineral. Usaba una estabilidad como prueba para medir la deformación. Funcionó adecuadamente para evaluar mezclas con agregado pequeño o granulometrías finas, pero no para mezclas con granulometrías que contenían agregados gruesos
- ✓ **Método Marshall (1930's)**. Método de diseño de mezclas asfálticas, desarrollado durante la 2da. Guerra Mundial y después fue adaptado para su uso en carreteras. Utiliza una estabilidad y porcentaje de vacíos como pruebas fundamentalmente. Excepto cambios en las especificaciones, el método no ha sufrido modificación desde los años 40's
- ✓ Método *Hveem* (1930's). Método de diseño de mezclas asfálticas, desarrollado casi en el mismo tiempo que el método Marshall. Evalúa una estabilidad pseudotriaxial. El Método de Hveem solo se aplica a mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación que usan cemento asfáltico clasificado por viscosidad o penetración, y que contienen agregados con tamaños máximos de 25 mm o menos. El método puede ser usado para el diseño en laboratorio, como para control de campo de mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación. El método Hveem utiliza una serie de pruebas para determinar el contenido óptimo de asfalto
- ✓ Método de la *Western Association of State Highway on Transportation Officials*. WASHTO (1984). Este método de diseño de mezclas recomendó cambios en los requerimientos del material y especificaciones de diseño de mezclas para mejorar la resistencia al ahuellamiento (efectos de deformación acumulada)
- ✓ Método de *Asphalt Aggregate Mixture Analysis System*. AAMAS (1987). La necesidad de cambios en el diseño de mezclas fue reconocida, tardaron 2 años para desarrollar un nuevo proyecto para el diseño de mezclas, que incluía un nuevo método de compactación en laboratorio y la evaluación de las propiedades volumétricas, desarrolló pruebas para identificar las deformaciones permanentes, grietas de fatiga y resistencia de grietas a baja temperatura

- ✓ Método SUPERPAVE (1993). El método AAMAS, sirvió como punto de inicio del método SUPERPAVE, que contiene un nuevo diseño volumétrico completo de mezcla, con funcionamiento basado en predicción a través de modelos y métodos de ensayo en laboratorio, grietas por fatiga y grietas por baja temperatura. Los modelos de predicción de funcionamiento fueron completados satisfactoriamente hasta el año 2000. El diseño volumétrico de mezclas en el SUPERPAVE es actualmente implementado en varios estados de los EUA, debido a que ha sido reconocida una conexión entre las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica caliente y su correcto funcionamiento. Ahora la aceptación en el control de calidad ha sido cambiada a propiedades volumétricas. SUPERPAVE promete un funcionamiento basado en métodos o ensayos de laboratorio que pueden ser usados para identificar la resistencia a las deformaciones plásticas de los pavimentos

En la investigación se hará énfasis en el método utilizado en Cuba (Método Marshall) y se abordará la metodología del mismo así como cada paso a cumplir en la dosificación de mezclas asfálticas semidensas en caliente.

2.1.2 Método de diseño Marshall

Este método de diseño fue desarrollado por *Bruce Marshall* siendo *US Army Corps of Engineers* quien depuró y adicionó ciertos aspectos a las propuestas de Marshall al punto de que el ensayo fue normalizado como ASTM D1559. Se originó como un experimento de laboratorio dirigido al diseño de una adecuada mezcla asfáltica por medio del análisis de su estabilidad, fluencia, densidad y vacíos.

Una de las virtudes del método de Marshall es la importancia que se asigna a las propiedades densidad/vacíos del material asfáltico. Este análisis garantiza que las importantes proporciones volumétricas de los componentes de la mezcla estén dentro de los rangos adecuados para asegurar una mezcla durable. Desafortunadamente una de sus grandes desventajas es el método de compactación de laboratorio por impacto el cual no simula la densificación de la mezcla que ocurre bajo tránsito en un pavimento real.

Descripción general

Este método es aplicable sólo a mezclas en caliente con cementos asfálticos que contengan agregados con tamaño máximo igual o inferior a 25 mm, también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento. (Zúñiga, 2015)

Consiste en muestras normalizadas de pruebas (probetas) de 64mm (2.5in) de espesor por 102mm (4 in) de diámetro. Una serie de probetas, cada una con la misma combinación de agregados pero con diferentes contenidos de asfaltos, es preparada usando un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas asfálticas de agregado. El diseño básico de estas mezclas se efectúa siguiendo las normas de ensayos INV E y aplicando los procedimientos y criterios de cálculo establecidos en el Manual MS-2 del Instituto de Asfalto de Estados Unidos.

Los dos aspectos más importantes del diseño de mezclas del Método Marshall son: un análisis de la relación de vacíos-densidad, y una prueba de estabilidad-flujo de las muestras compactadas. La selección de una curva granulométrica para el diseño de una mezcla asfáltica abierta o semidensa, está en función de dos parámetros: el tamaño máximo nominal del agregado y el de las líneas de control (superior e inferior), las líneas de control son puntos de paso obligado para la curva granulométrica. (Crespín et al 2012)

A continuación se presenta una descripción general de los procedimientos seguidos en el diseño Marshall.

1. Preparación para Efectuar los Procedimiento Marshall AASHTOT245

Diferentes agregados y asfaltos presentan diferentes características. Estas características tienen un impacto directo sobre la naturaleza misma del pavimento. El primer paso en el método de diseño, entonces, es determinar las cualidades (estabilidad, durabilidad, trabajabilidad, resistencia al deslizamiento, etc.) que debe tener la mezcla de pavimentación, y seleccionar un tipo de agregado y un

tipo compatible de asfalto que puedan combinarse para producir esas cualidades. Una vez efectuado lo anterior, se procede con la preparación de los ensayos.

2. **Selección de las Muestras de Material.** La primera preparación para los ensayos consta de reunir muestras del asfalto y del agregado que van a ser usados en la mezcla de pavimentación. Es importante que las muestras de asfalto tengan características idénticas a las del asfalto que va a ser usado en la mezcla final. Lo mismo debe ocurrir con las muestras de agregado. La razón es simple: los datos extraídos de los procedimientos de diseño de mezclas determinan la fórmula para la mezcla de pavimentación. La receta será exacta solamente si los ingredientes ensayados en el laboratorio tienen características idénticas a los ingredientes usados en el producto final. Una amplia variedad de problemas graves, que van desde una mala trabajabilidad de la mezcla hasta una falta prematura del pavimento, son el resultado histórico de variaciones ocurridas entre los materiales ensayados en el laboratorio y los materiales usados en la realidad.
3. **Preparación del Agregado.** La relación viscosidad-temperatura del cemento asfáltico que va a ser usado debe ser ya conocida para poder establecer las temperaturas del mezclado y compactación en el laboratorio. En consecuencia, los procedimientos preliminares se enfocan hacia el agregado, con el propósito de identificar exactamente sus características. Estos procedimientos incluyen secar el agregado, determinar su peso específico, y efectuar un análisis granulométrico por lavado.
4. **Secado del Agregado.** El Método Marshall requiere que los agregados ensayados estén libres de humedad, tan práctico como sea posible. Esto evita que la humedad afecte los resultados de los ensayos. Una muestra de cada agregado a ser ensayado se coloca en una bandeja, por separado, y se calienta en un horno a temperatura de 110 ° C (230 O F). Después de cierto tiempo, la muestra caliente se pesa, se registra su valor. La muestra se calienta por segunda vez, y se vuelve a pesar y a registrar su valor. Este procedimiento se repite hasta que el peso de la muestra permanezca constante después de dos calentamientos consecutivos, lo

cual indica que la mayor cantidad posible de humedad se ha evaporado de la muestra.

5. **Análisis Granulométrico por Vía Húmeda.** El análisis granulométrico por vía húmeda es un procedimiento usado para identificar las proporciones de partículas de tamaño diferente en las muestras del agregado. Esta información es importante porque las especificaciones de la mezcla deben estipular las proporciones necesarias de partículas de agregado de tamaño diferente, para producir una mezcla en caliente final con las características deseadas.

El análisis granulométrico por vía húmeda consta de los siguientes pasos:

1. Cada muestra de agregado es secada y pesada.
2. Luego cada muestra es lavada a través de un tamiz de 0.075mm (No. 200), para remover cualquier polvo mineral que este cubriendo el agregado.
3. Las muestras lavadas son secadas siguiendo el procedimiento de calentado y pesado descrito anteriormente.
4. El peso seco de cada muestra es registrada. La cantidad de polvo mineral puede ser determinada si se comparan los pesos registrados de las muestras antes y después del lavado.
6. **Determinación del Peso Específico.** El peso específico de una sustancia es la proporción peso-volumen de una unidad de esta sustancia comparada con la proporción peso-volumen de una unidad igual de agua. El peso específico de una muestra de agregado es determinado al comparar el peso de un volumen dado de agregado con el peso de un volumen igual de agua, a la misma temperatura. El peso específico del agregado se expresa en múltiplos peso específico del agua (la cual siempre tiene un valor de 1). Por ejemplo una muestra de agregado que pese dos y media veces más que un volumen igual de agua tiene un peso específico de 2.5.

El cálculo del peso específico de la muestra seca de agregado establece un punto de referencia para medir los pesos específicos necesarios en la determinación de las proporciones agregados, asfalto, y vacíos que van a usarse en los métodos de diseño.

7. **Preparación de las Muestras de Ensayo.** Las probetas de ensayo de las posibles mezclas de pavimentación son preparadas haciendo que cada una contenga una ligera cantidad diferente de asfalto. El margen de contenido de asfalto usado en las briquetas de ensayo está determinado con base en experiencia previa con los agregados de la mezcla. Este margen le da al laboratorio un punto de partida para determinar el contenido exacto de asfalto en la mezcla final. La proporción de agregado en las mezclas está formulada por los resultados del análisis granulométrico.

Las mezclas se preparan de la siguiente manera:

- 1) El asfalto y el agregado se calientan y mezclan completamente hasta que todas las partículas de agregado estén revestidas. Esto simula los procesos de calentamiento y mezclado que ocurren en la planta.
- 2) Las mezclas asfálticas calientes se colocan en moldes pre-calentado Marshall como preparación para la compactación, en donde se usa el martillo Marshall de compactación, el cual también es calentado para que no enfríe la superficie de mezcla al golpearla.
- 3) Las briquetas son compactadas mediante golpes del martillo Marshall de compactación. El número de golpes del martillo (35, 50, O 75) depende de la cantidad de tránsito para la cual la mezcla está siendo diseñada.

Ambas caras de cada biqueta reciben el mismo número de golpes. Así, una probeta Marshall de 35 golpes recibe, realmente, un total de 70 golpes. Una probeta de 50 golpes recibe 100 impactos. Después de completar la compactación las probetas son enfriadas y extraídas de los moldes.

8. **Determinación del Contenido de Asfalto.** El contenido de diseño de asfalto en la mezcla final de pavimentación se determina a partir de los resultados descritos anteriormente. Primero, se determina el contenido de asfalto para el cual el contenido de vacíos es de 4%. Luego, se evalúa todas las propiedades calculadas y medidas para este contenido de asfalto, y se compara con los criterios de diseño. Si se cumplen todos los criterios, es el contenido de diseño de asfalto. Si no se cumplen todos los criterios será necesario hacer algunos ajustes o volver a diseñar la mezcla. (Garnica et al. 2004)

2.2 Ensayos fundamentales para mezclas asfálticas semidensas en el Método Marshall.

Existen tres procedimientos de ensayo en el método Marshall siendo estos:

1. **Determinación del peso específico total.**

El peso específico total de cada probeta se determina tan pronto como las probetas recién compactadas se hayan enfriado a la temperatura ambiente. Esta medición de peso específico es esencial para un análisis preciso de densidad-vacíos.

2. **Medición de la estabilidad y la fluencia Marshall.**

El ensayo de estabilidad está dirigido a medir la resistencia a la deformación de mezcla. La fluencia mide la deformación, bajo carga, que ocurre en la mezcla.

El procedimiento de los ensayos es el siguiente:

- 1) Las probetas son calentadas en un baño de agua a 60 ° C (140 O F). Esta temperatura representa, normalmente, la temperatura más caliente que un pavimento en servicio va a experimentar.
- 2) La probeta es removida del baño, secada, y colocada rápidamente en el aparato Marshall. El aparato consiste en un dispositivo que aplica una carga sobre la probeta, y de unos medidores de carga y deformación (fluencia).

3) La carga del ensayo es aplicada a la probeta a una velocidad constante de 51 mm (2 in) por minuto hasta que la muestra falle. La falla está definida como la carga máxima que la briqueta pueda resistir.

4) La carga de falla se registra como el valor de estabilidad Marshall y la lectura del medidor de fluencia se registra como la fluencia.

Valor de Estabilidad Marshall

El valor de estabilidad Marshall es una medida de la carga bajo la cual una probeta cede o falla totalmente. Durante un ensayo, cuando la carga es aplicada lentamente, los cabezales superior e inferior del aparato se acercan, y la carga sobre la briqueta aumenta al igual que la lectura en el indicador de cuadrante. Luego se suspende la carga una vez que se obtiene la carga máxima.

Debido a que la estabilidad Marshall indica la resistencia de una mezcla a la deformación, existe una tendencia a pensar que si un valor de estabilidad es bueno, entonces un valor más alto será mucho mejor.

Para muchos materiales de ingeniería, la resistencia del material es, frecuentemente, una medida de su calidad; sin embargo, éste no es necesariamente el caso de las mezclas asfálticas en caliente. Las estabilidades extremadamente altas se obtienen a costa de durabilidad.

Valor de Fluencia Marshall

La fluencia Marshall, medida en centésimas de pulgada, representa la deformación de la briqueta. La deformación está indicada por la disminución en el diámetro vertical de la briqueta.

Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad Marshall son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas, y tienen tendencia a deformarse fácilmente bajo las cargas del tránsito.

3. Análisis de la densidad y el contenido de vacíos de las probetas

Una vez que se completan los ensayos de estabilidad y fluencia, se procede a efectuar un análisis de densidad y vacíos para cada serie de probetas de prueba. El propósito del análisis es el de determinar el porcentaje de vacíos en la mezcla compactada.

Análisis de Vacíos

Los vacíos son las pequeñas bolsas de aire que encuentran entre las partículas de agregado revestidas de asfalto. El porcentaje de vacíos se calcula a partir del peso específico total de cada probeta compactada y del peso específico teórico de la mezcla de pavimentación (sin vacíos). Este último puede ser calculado a partir de los pesos específicos del asfalto y el agregado de la mezcla, con un margen apropiado para tener en cuenta la cantidad de asfalto absorbido por el agregado; o directamente mediante un ensayo normalizado (AASHTO T 209) efectuado sobre la muestra de mezcla sin compactar. El peso específico total de las probetas compactadas se determina pesando las probetas en aire y agua.

Análisis de Peso Unitarios.

El peso unitario promedio para cada muestra se determina multiplicando el peso específico total de la mezcla por los kg/m^3 (62.4 lb/ft^3).

Análisis de Vacíos en el Agregado Mineral (VMA) y Vacíos Llenos de Asfalto (VFA)

Los vacíos en el agregado mineral, VMA, están definidos por el espacio intergranular de vacíos que se encuentran entre las partículas de agregado de la mezcla de pavimentación compactada, incluyendo los vacíos de aire y el contenido efectivo del asfalto, y se expresan como un porcentaje del volumen total de la mezcla. El VMA es calculado con base en el peso específico total del agregado y se expresa como un porcentaje del volumen total de la mezcla compactada. Por lo tanto, el VMA puede ser calculado al restar el volumen de agregado (determinado mediante el peso específico total del agregado) del volumen total de la mezcla compactada.

Los vacíos llenos de asfalto, VFA, son el porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de agregado (VMA) que se encuentran llenos de asfalto. El VMA abarca asfalto y aire, y por lo tanto, el VFA se calcula al restar los vados de aire del VMA, y luego dividiendo por el VMA, y expresando el valor final como un porcentaje.

2.2.1 Relaciones y Observaciones de los Resultados de los Ensayos

Cuando los resultados de los ensayos se trazan en gráficas, usualmente revelan ciertas tendencias en las relaciones entre el contenido de asfalto y las propiedades de la mezcla. A continuación se enuncian ciertas tendencias que pueden observarse al estudiar las gráficas.

1. El porcentaje de vacíos disminuye a medida que aumenta el contenido de asfalto.
2. El porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA) generalmente disminuye hasta un valor mínimo, y luego aumenta con aumentos en el contenido de asfalto.
3. El porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA) aumenta con aumentos en el contenido de asfalto.
4. La curva para el peso unitario (densidad) de la mezcla es similar a la curva de estabilidad, excepto que el peso unitario máximo se presenta a un contenido de asfalto ligeramente mayor que el que determina la máxima estabilidad
5. Hasta cierto punto, los valores de estabilidad aumenta a medida que el contenido de asfalto aumenta. Más allá de este punto, la estabilidad disminuye con cualquier aumento en el contenido de asfalto.
6. Los valores de fluencia aumentan con aumentos en el contenido de asfalto.

2.3 Propiedades fundamentales de mezclas asfálticas semidensas.

2.3.1 Características de las mezclas asfálticas semidensas.

Una muestra de mezcla de pavimentación preparada en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis está

enfocado hacia cinco características de la mezcla, y la influencia que estas puedan tener en el comportamiento de la mezcla. Las características son:

Densidad de la mezcla. La densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de la mezcla). La densidad es una característica muy importante debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero. En las pruebas y el análisis del diseño de mezclas, la densidad de la mezcla compactada se expresa, generalmente, en kilogramos por metro cúbico. La densidad es calculada al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua (1000 kg/m³). La densidad obtenida en el laboratorio se convierte la densidad patrón, y es usada como referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es, o no, adecuada. Las especificaciones usualmente requieren que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad del laboratorio. Esto se debe a que rara vez la compactación in situ logra las densidades que se obtienen usando los métodos normalizados de compactación de laboratorio.

Vacíos de aire, o simplemente vacíos. Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, o bolsas de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios donde pueda fluir el asfalto durante su compactación adicional. El porcentaje permitido de vacíos (en muestras de laboratorio) para capas de base y capas superficiales está entre 3 y 5 por ciento, dependiendo del diseño específico.

La durabilidad de un pavimento asfáltico es función del contenido de vacíos. La razón de esto es que entre menor sea la cantidad de vacíos, menor va a ser la permeabilidad de la mezcla. Un contenido demasiado alto de vacíos proporciona pasajes, a través de la mezcla, por los cuales puede entrar el agua y el aire, y causar deterioro. Por otro lado, un contenido demasiado bajo de vacíos puede producir exudación de asfalto; una condición en donde el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie.

La densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados. Entre más alta la densidad menor es el porcentaje de vacíos en la mezcla, y viceversa. Las especificaciones de la obra requieren, usualmente, una densidad que permita acomodar el menor número posible (en la realidad) de vacíos: preferiblemente menos del 8 por ciento.

Vacíos en el agregado mineral. Los vacíos en el agregado mineral (VMA) son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compactada de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto. El VMA representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto (todo el asfalto menos la porción que se pierde en el agregado) y el volumen de vacíos necesario en la mezcla. Cuando mayor sea el VMA más espacio habrá disponible para las películas de asfalto. Existen valores mínimos para VMA los cuales están recomendados y especificados como función del tamaño del agregado. Estos valores se basan en el hecho de que cuanto más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durables será la mezcla.

Para que pueda lograrse un espesor durable de película de asfalto, se debe tener valores mínimos de VMA. Un aumento en la densidad de la graduación del agregado, hasta el punto donde se obtengan valores de VMA por debajo del mínimo especificado, puede resultar en películas delgadas de asfalto y en mezclas de baja durabilidad y apariencia seca. Por lo tanto, es contraproducente y perjudicial, para la calidad del pavimento, disminuir el VMA para economizar el contenido de asfalto.

Contenido de asfalto. La proporción de asfalto en la mezcla es importante y debe ser determinada exactamente en el laboratorio, y luego controlada con precisión en la obra. El contenido de asfalto de una mezcla particular se establece usando los criterios (discutidos más adelante) dictados por el método de diseño seleccionado.

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, en gran parte, de las características del agregado tales como la granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo del asfalto. Entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total, y, mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir,

uniformemente, todas las partículas. Por otro lado las mezclas más gruesas (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total.

La relación entre el área superficial del agregado y el contenido óptimo de asfalto es más pronunciada cuando hay relleno mineral (fracciones muy finas de agregado que pasan a través del tamiz de 0.075 mm (N° 200)). Los pequeños incrementos en la cantidad de relleno mineral, pueden absorber, literalmente, gran parte el contenido de asfalto, resultando en una mezcla inestable y seca. Las pequeñas disminuciones tienen el efecto contrario: poco relleno mineral resulta en una mezcla muy rica (húmeda).

Cualquier variación en el contenido o relleno mineral causa cambios en las propiedades de la mezcla, haciéndola variar de seca a húmeda. Si una mezcla contiene poco o demasiado, relleno mineral, cualquier ajuste arbitrario, para corregir la situación, probablemente la empeorará. En vez de hacer ajustes arbitrarios, se deberá efectuar un muestreo y unas pruebas apropiadas para determinar las causas de las variaciones y, si es necesario, establecer otro diseño de mezcla.

La capacidad de absorción (habilidad para absorber asfalto) del agregado usado en la mezcla es importante para determinar el contenido óptimo de asfalto. Esto se debe a que se tiene que agregar suficiente asfalto a la mezcla para permitir absorción, y para que además se puedan cubrir las partículas con una película adecuada de asfalto. Los técnicos hablan de dos tipos de asfalto cuando se refieren al asfalto absorbido y al no absorbido: contenido total de asfalto y contenido efectivo de asfalto.

El contenido total de asfalto es la cantidad de asfalto que debe ser adicionada a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla. El contenido efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre la superficie de los agregados. El contenido efectivo de asfalto se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto.

La capacidad de absorción de un agregado es, obviamente, una característica importante en la definición del contenido de asfalto de una mezcla. Generalmente se conoce la

capacidad de absorción de las fuentes comunes de agregados, pero es necesario efectuar ensayos cuidadosos cuando son usadas fuentes nuevas.

Vacíos llenos de asfalto. Son el porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de agregado (VMA) que se encuentran llenos de asfalto. El VMA abarca asfalto y aire, y por lo tanto, el VFA se calcula al restar los vacíos de aire del VMA, y luego dividiendo por el VMA, y expresando su valor como un porcentaje.

2.3.2 Propiedades consideradas en el diseño de mezclas asfálticas semidensas

Las buenas mezclas asfálticas en caliente trabajan bien debido a que son diseñadas, producidas y colocadas de tal manera que se logra obtener las propiedades deseadas. Hay varias propiedades que contribuyen a la buena calidad de pavimentos de mezclas en caliente:

- ✓ Estabilidad
- ✓ Durabilidad
- ✓ Flexibilidad
- ✓ Resistencia a la Fatiga
- ✓ Resistencia al Deslizamiento
- ✓ Impermeabilidad
- ✓ Trabajabilidad

El objetivo primordial del procedimiento de diseño de mezclar es el de garantizar que la mezcla de pavimentación posea cada una de estas propiedades. Por lo tanto, hay que saber que significa cada una, cómo es evaluada, y que representa en términos de rendimiento del pavimento.

Estabilidad

La estabilidad de un asfalto es su capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas, un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos (canales), ondulaciones (corrugación) y otras señas que indican cambios en la mezcla.

Los problemas clásicos debido a una estabilidad baja se detallan a continuación:

- ✓ Ahuellamiento: consiste en una depresión continua a lo largo de la capa de rodadura. Las cargas repetitivas de tránsito conducen a deformar permanentemente cualquier capa que componen la estructura del pavimento, sin embargo cuando la carpeta asfáltica recién colocada presenta ahuellamiento es debido al exceso de asfalto en la mezcla, es decir el óptimo de asfalto se ha sobrepasado y genera por consiguiente pérdida de cohesión
El ahuellamiento también es producido por la forma redondeada de la partícula, por la falta de textura áspera, falta de adherencia y absorción del agregado. Es decir, si una mezcla tiene un óptimo de asfalto y sus agregados no cumplen con las siguientes propiedades: graduación, limpieza, dureza, textura superficial, capacidad de absorción, afinidad con el asfalto, peso específico, también generará ahuellamiento y una serie de problemas
- ✓ Corrimiento: desplazamiento de la mezcla asfáltica provocando distorsiones en la superficie de la carpeta asfáltica. Acompañado a veces por levantamiento de material formando “cordones” principalmente laterales. Estos desplazamientos son ocasionados por las cargas de tránsito y son debido al exceso de asfalto, falta de vacíos o bien por falta de confinamiento lateral. La corrugación son una serie de ondulaciones constituidas por crestas y depresiones, perpendiculares a la dirección del tránsito, siendo próximas unas de otras, por lo general menores a 1.0 m entre ellas
- ✓ Exudación del asfalto: es el afloramiento del asfalto o ligante asfáltico hacia la superficie de la carpeta asfáltica. Formando una película continua de ligante, creando una superficie brillante, reflectante, resbaladiza y pegajosa durante las altas temperaturas. Es causado específicamente por un excesivo contenido de asfalto. Ocurre en mezclas con un porcentaje de vacíos deficiente, durante épocas calurosas. El proceso de exudación no es reversible durante el tiempo frío, por tal motivo el asfalto se acumula en la superficie

Los requisitos de estabilidad solo pueden establecerse después de un análisis completo del tránsito, debido a que las especificaciones de estabilidad para un pavimento dependen

del tránsito esperado. Las especificaciones de estabilidad deben ser lo suficiente altas para acomodar adecuadamente el tránsito esperado, pero no más altas de lo que exijan las condiciones de tránsito. Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, menos durable que lo deseado.

La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna en las partículas de agregado (fricción entre partículas) está relacionada con características del agregado tales como forma y textura superficial. La cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto. Un grado propio de fricción y cohesión interna, en la mezcla, previene que las partículas de agregado se desplacen unas respecto a otras debido a las fuerzas ejercidas por el tráfico.

En términos generales, entre más angular sea la forma de las partículas de agregado y más áspera sea su textura superficial, más alta será la estabilidad de la mezcla. Cuando no hay agregados disponibles con características de alta fricción interna, se pueden usar mezclas más económicas, en lugares donde se espere tráfico liviano, utilizando agregados con valores menores de fricción interna.

La fuerza ligante de la cohesión aumenta con aumentos en la frecuencia de carga (tráfico). La cohesión también aumenta a medida que la viscosidad del asfalto aumenta, o a medida que la temperatura del pavimento disminuye. Adicionalmente, y hasta cierto nivel, la cohesión aumenta con aumentos en el contenido de asfalto. Cuando se sobrepasa este nivel, los aumentos en el contenido de asfalto producen una película demasiado gruesa sobre las partículas de agregado, lo cual resulta en pérdida de fricción entre partículas. Existen muchas causas y efectos asociados con una estabilidad insuficiente en el pavimento.

Durabilidad

La durabilidad de un pavimento es su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades de asfalto, y separación de las películas de asfalto. Estos factores pueden ser el resultado de la acción del clima, el tránsito, o una combinación de ambos.

Generalmente, la durabilidad de una mezcla puede ser mejorada en tres formas. Estas son: usando la mayor cantidad posible de asfalto, usando una graduación densa de agregado resistente a la separación, y diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad.

La mayor cantidad posible de asfalto aumenta la durabilidad porque las películas gruesas de asfalto no se envejecen o endurecen tan rápido como lo hacen las películas delgadas. En consecuencia, el asfalto retiene, por más tiempo, sus características originales. Además el máximo contenido posible de asfalto sella eficazmente un gran porcentaje de vacíos interconectados en el pavimento, haciendo difícil la penetración del aire y del agua. Por supuesto, se debe dejar un cierto porcentaje de vacíos en el pavimento para permitir la expansión del asfalto en los tiempos cálidos.

Una graduación densa de agregado firme, duro, a la separación, contribuye, de tres maneras, a la durabilidad del pavimento. Una graduación densa proporciona un contacto más cercano entre las partículas del agregado, lo cual mejora la impermeabilidad de la mezcla. Un agregado firme y duro resiste la desintegración bajo las cargas del tránsito. Un agregado resistente a la separación resiste la acción del agua y el tránsito, las cuales tienden a separar la película de asfalto de las partículas de agregado, conduciendo a la desintegración del pavimento. La resistencia de una mezcla a la separación puede ser mejorada, bajo ciertas condiciones, mediante el uso de compuestos adhesivos, o rellenos como la cal hidratada.

La intrusión del aire y agua en el pavimento puede minimizarse si se diseña y compacta la mezcla para darle al pavimento al máximo impermeabilidad posible. Existen muchas causas y efectos con una poca durabilidad del pavimento.

Causas	Efectos de la Carpeta
Bajo contenido de asfaltos	Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida de agregado.

Alto contenido de vacíos debido al diseño o a la falta de compactación	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración.
---	---

Agregados susceptibles al agua (Hidrofilitos)	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado, o desintegrado
--	---

Tabla 2.1– Causas y efectos de la poca durabilidad Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente, MS 22, Asphalt Institute

Impermeabilidad

La impermeabilidad de un pavimento es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior, o a través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada, y es así como gran parte de las discusiones sobre vacíos en las secciones de diseño de mezcla se relaciona con impermeabilidad. Aunque el contenido de vacíos es una indicación del paso potencial de aire y agua a través de un pavimento, la naturaleza de estos vacíos es muy importante que su cantidad.

El grado de impermeabilidad está determinado por el tamaño de los vacíos, sin importar si están o no conectados, y por el acceso que tienen a la superficie del pavimento.

Aunque la impermeabilidad es importante para la durabilidad de las mezclas compactadas, virtualmente todas las mezclas asfálticas usadas en la construcción de carreteras tienen cierto grado de permeabilidad. Esto es aceptable, siempre y cuando la permeabilidad esté dentro de los límites especificados.

Causas

Efectos en la carpeta

Bajo contenido de asfalto	Las películas delgadas de asfalto causarán
----------------------------------	--

	tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla
Alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación Y desintegración de la mezcla.
Compactación inadecuada.	Resultará en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a la infiltración de agua y baja estabilidad.

Tabla 2.2. Causas y efectos de mezcla demasiado permeable. Fuente: Principios de Construcción de Mezcla Asfáltica en Caliente, MS 22, Asphalt Institute

Trabajabilidad

La trabajabilidad está descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. La trabajabilidad puede ser mejorada modificando los parámetros de la mezcla, el tipo de agregado, y/o la granulometría.

Las mezclas gruesas (mezclas que contienen un alto porcentaje de agregado grueso) tienen una tendencia a segregarse durante su manejo, y también pueden ser difíciles de compactar. A través de mezclas de prueba en el laboratorio puede ser posible adicionar agregado fino, y tal vez asfalto, a una mezcla gruesa, para volverla más trabajable. En tal caso se deberá tener cierto cuidado para garantizar que la mezcla modificada cumpla con los otros criterios de diseño, tales como contenido de vacíos y estabilidad.

Un contenido demasiado alto de relleno también puede afectar la trabajabilidad. Puede ocasionar que la mezcla se vuelva muy viscosa, haciendo difícil su compactación. La trabajabilidad es especialmente importante en sitios donde se requiere colocar y rastrillar

a mano cantidades considerables de mezcla, como por ejemplo alrededor de tapas de alcantarillados, curvas pronunciadas y otros obstáculos similares. Es muy importante usar mezclas trabajables en dichos sitios.

Las mezclas que son fácilmente trabajables o deformables se conocen como mezclas tiernas. Las mezclas tiernas son demasiado inestables para ser colocadas y compactadas apropiadamente. Usualmente son el producto de una falta de relleno mineral, demasiada arena de tamaño mediano, partículas lisas y redondeadas de agregado, y/o demasiada humedad en la mezcla.

Aunque el asfalto no es la principal causa de los problemas de trabajabilidad, si tienen algún efecto sobre esta propiedad. Debido a que la temperatura de la mezcla afecta la viscosidad el asfalto, una temperatura demasiado baja hará que la mezcla sea poco trabajable, mientras que una temperatura demasiado alta podrá hacer que la mezcla se vuelva tierna. El grado y el porcentaje de Asphalt también pueden afectar la trabajabilidad de la mezcla.

Causas

Efectos en la carpeta

Tamaño máximo de partícula: grande	Superficie áspera, difícil de compactar.
---	--

Demasiado grueso	agregado Puede ser difícil de compactar
-------------------------	--

Temperatura muy baja de mezcla	Agregado sin revestir, mezcla poco durable superficie áspera, difícil de compactar.
---------------------------------------	---

Demasiada arena de tamaño medio	La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna o blanda.
--	---

Bajo contenido de relleno mineral Mezcla tierna, altamente permeable

Alto contenido de relleno mineral Mezcla muy viscosa, difícil de manejar, poco durable.

Tabla 2.3. Causas y efectos de la mala trabajabilidad. Fuente: Principios de Construcción de Mezcla Asfáltica en Caliente, MS 22, Asphalt Institute.

Flexibilidad

Flexibilidad es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que se agriete, a movimientos y asentamientos graduales de la subrasante. La flexibilidad es una característica deseable en todo pavimento asfáltico debido a que virtualmente todas las subrasantes se asientan (bajo cargas) o se expanden (por expansión del suelo).

Una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfalto es, generalmente, más flexible que una mezcla densamente graduada de bajo contenido de asfalto. Algunas veces los requerimientos de flexibilidad entran en conflicto con los requisitos de estabilidad, de tal manera que se debe buscar el equilibrio de los mismos.

Resistencia a la fatiga

La resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. A medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento disminuye. Así mismo, un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga.

Las características de resistencia y espesor de un pavimento, y la capacidad de soporte de la subrasante, tienen mucho que ver con la vida del pavimento y con la prevención del agrietamiento asociado con cargas de tránsito. Los pavimentos de gran espesor sobre

subrasantes resistentes no se flexionan tanto, bajo las cargas, como los pavimentos delgados o aquellos que se encuentran sobre subrasantes débiles.

Causas	Efectos de una mala resistencia a la fatiga
Bajo contenido de asfalto	Agrietamiento por fatiga
Vacíos altos de diseño	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Falta de compactación	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Espesor inadecuado de pavimento	Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga.

Tabla 2.4 Causas y efectos de una mala resistencia a la fatiga Fuente: Principios de Construcción de Mezcla Asfáltica en Caliente, MS 22, Asphalt Institute

Resistencia al deslizamiento.

Resistencia al deslizamiento es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie este mojada. Para obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento (hidroplaneo). La resistencia al deslizamiento se mide en terreno con una rueda normalizada bajo condiciones controladas de humedad en la superficie del pavimento, y a una velocidad de 65 km/hr (40 mi/hr).

Una superficie áspera y rugosa de pavimento tendrá mayor resistencia al deslizamiento que una superficie lisa. La mejor resistencia al deslizamiento se obtiene con un agregado de textura áspera, en una mezcla de gradación abierta y con tamaño máximo de 9.5 mm (3/8 pulgadas) a 12.5 mm (1/2 pulgada). Además de tener una superficie áspera, los agregados debe resistir el pulimiento (alisamiento) bajo el tránsito. Los agregados calcáreos son más susceptibles al pulimiento que los agregados silíceos. Las mezclas inestables que tienden a deformarse o a exudar (flujo de asfalto a la superficie) presentan problemas graves de resistencia al deslizamiento.

Causas	Efectos en la carpeta
Exceso de asfalto	Exudación, poca resistencia al deslizamiento
Agregado mal graduado o con mala textura	Pavimento liso, posibilidad de hidroneo
Agregado pulido en la mezcla	Poca resistencia al deslizamiento

Tabla 2.5 – Causas y efectos de la poca resistencia al deslizamiento. Fuente: Principios de Construcción de Mezcla Asfáltica en Caliente, MS 22, Asphalt Institute

2.4 Propuesta de guía metodológica a partir de los requisitos a cumplirse para una mezcla asfáltica semidensa.

Después del análisis de cada uno de los parámetros fundamentales en la preparación y diseño de mezclas asfálticas semidensa ha sido elaborada la siguiente guía siguiendo la necesidad existente en la Unidad Empresarial de Base, Brigada número 3, MICONS de tener un documento técnico capaz de ser utilizado en el diseño de la capa intermedia de la carpeta de hormigón asfáltico, estableciéndose las siguientes fases:

Fase 1- Caracterización de los Materiales. Esta fase incluye los ensayos con los cuales se pueden caracterizar los materiales necesarios para la realización de la mezcla asfáltica, entre ellos los agregados gruesos, los agregados finos y el asfalto para garantizar que se cumpla con la normatividad.

Los agregados gruesos y finos se someterán a los siguientes ensayos:

- ✓ Desgaste Máquina De Los Ángeles (INV E 218-13)
- ✓ Partículas Fracturadas (INV E 227-13)
- ✓ Gravedad Específica y Absorción de Agregados Finos (INV E 222-13)
- ✓ Gravedad Específica y Absorción de Agregados Gruesos (INV E 223-13)
- ✓ Límite Líquido (INV E 125-13)
- ✓ Límite Plástico e Índice De Plasticidad (INV E 126-13)
- ✓ Equivalente De Arena (INV E 133-13)

Fase 2- Realización Diseño de Mezcla Asfáltica por el Método Marshall. Después de tener los datos de la caracterización de los materiales obtenidos de la Fase 1 la segunda fase consiste en realizar el diseño de la mezcla asfáltica mediante la metodología Marshall.

Fase 3- Ensayos a la Mezcla Asfáltica. Después de elaborar las mezclas, a cada una se le analizará su comportamiento dinámico y control del cumplimiento de cada uno de los porcentajes propuestos.

2.4.1 Descripción de las fases

2.4.1.1 Fase 1. Caracterización de los Materiales.

Criterio de aceptación de los materiales a utilizar en un diseño de mezclas asfálticas semidensas:

Los requisitos que se exigen para garantizar la calidad de los materiales son el conjunto de propiedades que buscan garantizar un adecuado desempeño a lo largo de la vida útil de los viales construidos. La evaluación de los materiales no se centrará en un único parámetro; por tal motivo, la aprobación de los materiales a ser empleados deberá ser sustentada mediante un informe técnico desarrollado por el especialista de geotecnia y/o

pavimentos, donde se consigne cuál será el desempeño de la capa construida relacionando los resultados obtenidos de la caracterización de los materiales con sus posibles cambios en el proceso de construcción, y la durabilidad y desempeño en el período de diseño, proponiendo las estrategias necesarias a nivel constructivo para garantizar el cumplimiento de las exigencias del diseño.

1. Agregados pétreos y llenante mineral

Los agregados pétreos empleados para el diseño de la mezcla asfáltica en caliente deberán poseer una naturaleza tal, que al aplicársele una capa de material asfáltico a utilizar en el trabajo, ésta no se desprenda por la acción combinada del agua y del tránsito. Cuando se emplee en agregados con características hidrófilas, se deberá comprobar la adhesividad con el asfalto cumpliendo el requisito de resistencia conservada de la mezcla.

El constructor es el responsable de los materiales que suministre para la ejecución de las mezclas asfálticas semidensas en caliente, y deberá realizar todos los ensayos físicos, químicos, mecánicos, y petrológicos que sean necesarios para asegurar la calidad e inalterabilidad de los agregados que pretende utilizar, independiente y complementariamente de todos los que de manera taxativa se exigen.

1.1. Agregado grueso

Se denominará agregado grueso a la porción del agregado retenida en el tamiz de 4.75 mm (No. 4). Dicho agregado deberá proceder de la trituración de piedra de cantera o de grava natural, o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrable. Estará exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan impedir la adhesión completa del asfalto o afecten adversamente la durabilidad de mezcla compactada.

Límites fracción (equivalente) (mm)	Abertura de malla (mm) (pulg) % pasado										
	No.	50,8 (2")	38,1 (1 ½")	25,4 (1")	19,1 (¾")	12,7 (½")	9,52 (3/8")	4,76 No.4	2,38 No.8	1,19 No.16	0,59 No.50
38 - 19	1	100	90-100	20-25	0-15	-	0-5				
38 - 5	2	100	95-100	-	35-70	-	10-30	0-5			
25 - 13	3		100	90-100	20-25	0-10	0-5				
25 - 10	4		100	90-100	40-85	10-40	0-15	0-5			
25 - 5	5		100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5		
19 - 10	6			100	90-100	20-55	0-15	0-5			
19 - 5	7			100	90-100	-	20-55	0-10	0-5		
19 - 2,38	8			100	90-100	-	30-65	5-25	0-10	0-5	
13 - 5	9				100	90-100	40-70	0-15	0-5		
13 - 2,38	10				100	90-100	40-75	5-25	0-10	0-5	
10 - 2,38	11					100	85-100	10-30	0-10	0-5	
10 - 1,19	12					100	90-100	20-55	5-30	0-10	0-5

Tabla 2.6 Áridos gruesos para hormigones asfálticos. Requisitos granulométricos.

Fuente: Norma Cubana 759: 2010 Áridos Especificaciones de Hormigón Asfáltico.

Capa pavimento	Propiedades	Norma ensayo	UM	Valores
Intermedia	Abrasión Los Ángeles (valor máx)	NC 188:2002	(%)	35
	Partículas planas y alargadas (4:1) (valor máx)	NC 189:2002	(%)	15
	Absorción de Agua	NC 186:2002 NC 187: 2002	(%)	0.8 – 2.5
	Partículas de arcilla (valor máx.)	NC 179: 2002	(%)	0
	Material más fino que el tamiz 200, (valor máx.)	NC 200: 2002	(%)	4

Tabla 2.7. Áridos gruesos. Requisitos de conformidad en función del lugar que ocupa la mezcla en el pavimento. Fuente: Elaboración propia, con datos tomados de la Norma Cubana 759: 2010. Áridos Especificaciones de Hormigón Asfáltico.

Capa pavimento	Propiedades	Norma ensayo	UM	Valores
Intermedia	Abrasión Los Ángeles (valor máx.)	NC 186: 2002	(%)	35
	Absorción de agua	NC 185:2002	(%)	15
	Equivalente de arena (min.)	EN 933-8 ASTM D 2419	(%)	0.8 – 2.5
	Plasticidad del fino	NC 58:2000	(%)	0

Tabla 2.8 Árido grueso. Requisitos de conformidad en función del lugar que ocupa la mezcla en el pavimento. Fuente: Elaboración propia, con datos tomados de la Norma Cubana 759: 2010 Áridos. Especificaciones de Hormigón Asfáltico.

1.2. Agregado fino

Se denominará agregado fino a la porción comprendida entre los tamices de 4.75 mm (No. 4) y 75 µm (No. 200). El agregado fino deberá proceder en su totalidad de la trituración de piedra de cantera o de grava natural, o parcialmente de fuentes naturales de arena.

Los granos del agregado fino deberán ser duros, limpios y de superficie rugosa y angular. El material deberá estar libre de cualquier sustancia que impida la adhesión del asfalto y deberá satisfacer los requisitos de calidad indicados en la tabla para la capa de mezcla asfáltica en correspondencia.

Límites de fracción (equivalente) (mm)	Abertura de malla (mm) (pulg) % pasado								
	No.	9,52 3/8"	4,76 No.4	2,38 No.8	1,19 No.16	0,59 No.30	0,297 No.50	0,149 No.100	0,074 No.200
5-1,19	13	100	85-100	10-40	0-10	-	0-5	-	-
5-0	14	100	85-100	-	-	-	-	10-30	-
5-0	15	100	95-100	70-100	40-80	20-65	7-40	0-20	0-10
5-0	16	100	80-100	65-100	40-80	20-65	7-40	0-20	0-10
5-0	17		100	75-100	50-74	28-52	8-30	0-12	0-5
2-0	18		100	95-100	85-100	65-90	30-60	5-25	0-5

Tabla 2.9 Áridos finos para hormigones asfálticos. Requisitos granulométricos.

Fuente: Norma Cubana 759: 2010 Áridos. Especificaciones de Hormigón Asfáltico.

Límites de fracción (equivalente) (mm)	Abertura de malla (mm) (pulg) % pasado			
	0,59	0,297	0,149	0,074
	No.30	No.50	No.100	No.200
0,3 - 0	100	95-100	-	70-100

Tabla 2.10 Filler (relleno mineral). Requisitos granulométricos. Fuente: Norma

Cubana 759: 2010 Áridos. Especificaciones de Hormigón Asfáltico.

1.3. Llenante mineral

El llenante mineral es la porción del agregado que pasa el tamiz de 75 μm (No. 200), la cual podrá provenir de los procesos de trituración y clasificación de los agregados pétreos o del colector de polvo de la planta mezcladora, o podrá ser un producto comercial, generalmente cal hidratada o cemento Portland, que cumpla con la norma ASTM D-242.

CAPA PAVIMENTO	PROPIEDADES	NORMA ENSAYO	UM	VALORES
INTERMEDIA	Absorción de agua	NC 186: 2002	(%)	0,8 – 2,5
	Impurezas orgánicas	NC 185: 2002	(%)	≤ Placa 3
	Equivalente de arena (min)	EN 933-8 ASTM D 2419	(%)	50
	Plasticidad del fino	NC 58:2000		IP < 6 y LL < 25

Tabla 2.11 Árido fino (polvo de piedra). Requisitos de conformidad en función del lugar que ocupa la mezcla en el pavimento. Fuente: Norma Cubana 759: 2010 Áridos. Especificaciones de Hormigón Asfáltico.

PROPIEDADES	NORMA DE ENSAYO	UM	VALOR
Superficie específica Blaine	NC EN 196-6: 2007	cm ² /g	3000 – 6000 normal
Densidad aparente en queroseno	NC 523: 2007	g/cm ³	0,5 – 0,9 normal
Impurezas orgánicas*	NC 185: 2002	-	≤ Placa 3
Índice de plasticidad *	NC 58: 2000	-	≤ 4
Absorción al azul metileno*	EN 933-9	g/100 g	AM<1
*No aplicables al cemento o hidrato de cal			

Tabla 2.12 Filler (relleno mineral). Requisitos de conformidad. Fuente: Norma Cubana 759: 2010 Áridos. Especificaciones de Hormigón Asfáltico.

1.4. Agregados combinados

Granulometría

La mezcla de los agregados grueso y fino, y el llenante mineral, deberá ajustarse, en cuanto a su granulometría. Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos, el material que produzca el Constructor deberá dar lugar a una curva granulométrica uniforme, sensiblemente paralela a los límites de la franja por utilizar, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior del tamiz adyacente y viceversa.

Los documentos del proyecto indicarán cuál deberá ser la granulometría a aplicar en el diseño de mezcla semidensa de acuerdo a la granulometría de agregados combinados definidos en la siguiente tabla para el diseño de la capa intermedia de mezcla semidensa.

Tipo de mezcla		Tamiz (mm / U.S. Standard)									
		37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.425	0.180	0.075
		1 ½"	1"	¾"	½"	⅜"	No.4	No.10	No.40	No.80	No.200
		% Pasa									
Semidensa	MS12			100	80- 95	67- 83	40- 56	23-39	10-20	6-13	3-8
	MS20		100	80- 95	66- 82	55- 71	35- 51	23-39	10-20	6-13	3-8
	MS25	100	80- 95	73- 89	60- 76	53- 69	33- 49	23-39	10-20	6-13	3-8

Tabla 2.13 Granulometría de agregados combinados para mezclas asfálticas en caliente Fuente: Elaboración propia, con datos tomados de la Norma Cubana 759: 2010 Áridos. Especificaciones de Hormigón Asfáltico.

Tipo de Capa	Espesor Compacto (mm)	Tipo de Mezcla
Intermedia	50 – 75	MS20
	75 – 100	MS20/MS25

Tabla 2.14 Tipo de mezcla en función de la ubicación y el espesor de la capa. Fuente: Elaboración propia, con datos tomados de la Norma Cubana 759: 2010 Áridos. Especificaciones de Hormigón Asfáltico.

La provincia de Matanzas cuenta con una Empresa de Materiales de Construcción que es la encargada de producir los áridos necesarios para satisfacer la demanda de la provincia. Cuenta con cinco canteras donde se producen materiales pétreos, polvo de piedra, gravilla, piedra de hormigón, macadam, rajón y arena calcárea. Estas canteras son:

- ✓ Cantera Planta Libertad
- ✓ Cantera Antonio Maceo
- ✓ Cantera: 5 de Diciembre
- ✓ Cantera: Mártires de Bolivia
- ✓ Cantera: Arenas de Minas.

Es importante reflejar que la cantera Antonio Maceo es la más moderna de la empresa, es la cantera que abastece la demanda de materia prima de la Planta de Asfalto Caliente de la provincia de Matanzas.

1.5. Proporción de finos y Actividad

La Proporción de finos se determinará sobre el agregado finalmente obtenido mediante la combinación de las distintas fracciones, incluido el llenante mineral, y deberá cumplir los requisitos que se exigen en la Tabla 2.15

Ensayo	Norma de Ensayo	Requisitos por Categoría de Tránsito		
		T0-T1	T2-T3	T4-T5
Índice de Plasticidad, % máximo	INV E-126-07	No plástico	No plástico	No plástico
Equivalente de Arena, % mínimo	INV E-133-07	40	40	40
Valor de Azul de Metileno, mg/g máximo	INV E-235-07	8	8	8

Tabla 2.15 Requisitos de Proporción de Finos y Actividad para el agregado combinado. Fuente: Norma de ensayo INV E-748-07.

Relación llenante/ligante

La relación ponderal recomendable entre los contenidos de llenante mineral y de ligante asfáltico deberá encontrarse dentro de los límites indicados. En ningún caso, la concentración del llenante podrá superar el valor crítico, definido según la norma INV E-745-07.

1.6. Ligante asfáltico

El ligante asfáltico para elaborar la mezcla asfáltica en caliente deberá ser el establecido en los documentos técnicos del proyecto en función de las condiciones de operación de la vía, la composición de la estructura del pavimento y la posición de la capa asfáltica; en siguiente tabla se presenta una guía para la selección del mismo

Capa	Categoría de Tránsito
------	-----------------------

	T0-T1	T2 – T3	T4	T5
Intermedia	80 -100	80 -100	60 – 70 80 -100	60-70 Tipo II, Tipo III

Tabla 2.15 Tipo de ligante asfáltico por emplear. Fuente: Norma de ensayo INV E-748-07.

1.7. Aditivos mejoradores de adherencia entre agregados y asfalto

Cuando se requieran, deberán ser propuestos por el Constructor, y su tipo y dosificación deberán asegurar el cumplimiento del requisito de resistencia conservada de la mezcla que se indique. Así mismo, el Constructor deberá garantizar que su incorporación no producirá ningún efecto nocivo a los agregados, al ligante asfáltico, o a la mezcla.

2.4.1.2 Fase 2: Diseño de Mezcla Asfáltica

Antes de iniciar el acopio de los agregados, estos deben ser avalados por medio de ensayos de laboratorio que garanticen la conveniencia de emplearlos en la mezcla. Una vez comprobada la calidad de los materiales se procederá al diseño de la mezcla que se pretende colocar en la obra, incluyendo la evaluación de los agregados y del asfalto, y la fórmula de trabajo.

En la fórmula de trabajo se consignarán la granulometría de cada uno de los agregados pétreos y las proporciones en que ellos deben mezclarse, junto con el llenante mineral, para obtener la granulometría establecida para la capa intermedia de la carpeta de hormigón asfáltico.

Además de las proporciones de mezcla de los agregados, se deberá indicar el porcentaje del ligante asfáltico residual en relación con el peso de la mezcla, y los porcentajes de aditivos respecto del peso del ligante asfáltico, cuando su incorporación resulte necesaria.

También deberán señalarse:

- ✓ Los tiempos requeridos para la mezcla de los agregados en seco y para la mezcla de los agregados con el ligante bituminoso
- ✓ Las temperaturas máximas y mínima de calentamiento previo de los agregados y del ligante
- ✓ Las temperaturas máximas y mínimas al salir del mezclador, las cuales dependerán del tipo de mezcla y de la planta en la cual ésta se elabore
- ✓ La temperatura mínima de la mezcla en el momento de la descarga desde el equipo de transporte
- ✓ Las temperaturas máxima y mínima aceptables de la mezcla al inicio y terminación de la compactación.

1. Diseño de las mezclas asfálticas

El diseño básico de las mezclas asfálticas semidensa en caliente para la capa intermedia de la carpeta de hormigón asfáltico de los pavimentos se efectuará siguiendo el método Marshall (norma de ensayo INV E-748-07) y aplicando los criterios indicados en la siguiente tabla:

Característica	Norma de Ensayo	Mezclas Semidensas			Mezcla Alto Módulo
		Categoría de Tránsito			
		T0 - T1	T2 – T3	T4-T5	
Compactación (golpes/cara)	INV E-748-07	50	75	75	75
Estabilidad mínima (kg)	INV E-748-07	600	750	900	1500

Flujo (mm)		INV E-748-07	2- 4	2- 4	2-3.5	2-3
Vacíos con aire (%)	Intermedia	INV E-736-07 Manual MS-2	4-6	4-6	4-6	4-6
Vacíos en agregados (%)	Mezclas 10	Manual MS-2	≥ 16			
	Mezclas 12		≥ 15			
	Mezclas 20		≥ 14			
	Mezclas 25		≥ 13			
Vacíos llenos de asfalto (%): volumen de asfalto efectivo / vacíos en agregados (capas intermedia)			70-80	65-78	65-75	63-75
Relación llenante / ligante efectivo, en Peso			0.8 – 1.2			1.2 – 1.4
Concentración de Llenante, valor máximo			Valor Crítico			

Tabla 2.16 Criterios de diseño de la mezcla Fuente: Norma de ensayo INV E-748-07.

2. Comprobación del Diseño

El diseño de la fórmula de trabajo deberá ser comprobado con base en los criterios establecidos en la tabla que se muestra a continuación:

Características	Norma de Ensayo	Mezclas Semidensas			Mezcla Alto Módulo
		Categoría de Tránsito			
		T0 - T1	T2 - T3	T4-T5	
Relación Estabilidad / Flujo	INV E-748-07	200 a 400	300 a 500	300 a 600	
Índice de película de asfalto, μm	INV E-741-07	7.5			

Tabla 2.17 Criterios de comprobación del diseño volumétrico de la fórmula de trabajo. Fuente: Norma de ensayo INV E-748-07.

El Índice de Película de Asfalto (IPA) se determina de la siguiente manera (procedimiento de cálculo INV E-741-07):

$$IPA = \frac{P_{be}}{100 - P_{bt}} \frac{G_{sg}}{2.65 \cdot S_e} \frac{10^3}{G_{sb}}$$

Dónde:

- ✓ IPA = Índice de película de asfalto.
- ✓ Pbe = asfalto efectivo, % en peso de la mezcla.
- ✓ Pbt = asfalto total, % en peso de la mezcla.
- ✓ Gsy= peso específico aparente del agregado combinado.
- ✓ Gsb= peso específico del asfalto.

- ✓ Se= Superficie específica del agregado, m²/kg.

La superficie específica (S_e) del agregado se determina de la siguiente manera:

$$S_e = (2 + 0.02a + 0.04b + 0.08c + 0.14d + 0.30e + 0.60f + 1.60g) \cdot 0.20482$$

Dónde:

- ✓ a = % pasa tamiz 4.75 mm.
- ✓ b = % pasa tamiz 2.36 mm.
- ✓ c = % pasa tamiz 1.18 mm.
- ✓ d = % pasa tamiz 0.60 mm.
- ✓ e = % pasa tamiz 0.30 mm.
- ✓ f = % pasa tamiz 0.15 mm.
- ✓ g = % pasa tamiz 0.075 mm.

Los valores anteriores de porcentaje que pasa pueden ser interpolados con base en la curva granulométrica del material obtenida mediante la serie de tamices.

2.4.1.3 Fase 3- Ensayos Dinámicos a la Mezcla Asfáltica Semidensa.

Después de elaborar las mezclas asfálticas semidensa, es necesaria la comprobación de su comportamiento dinámico, para ello serán realizadas la verificación de las siguientes propiedades.

1. Comprobación de la adhesividad

En todos los casos, se deberá comprobar la adhesividad entre el agregado pétreo y el ligante asfáltico, caracterizando la mezcla con el contenido óptimo de ligante de acuerdo con el ensayo de tracción indirecta, para verificar su sensibilidad al agua. La resistencia promedio a tracción indirecta de las probetas sometidas a curado húmedo deberá ser, cuando menos, ochenta por ciento (80 %) del valor promedio alcanzado por las probetas curadas en condición seca. Si no se alcanza este valor, se deberá incrementar la adhesividad empleando un aditivo mejorador de adherencia apropiado y/o llenante mineral especial.

2. Resistencia a la Deformación Plástica

Para la capa intermedia en vías de tránsito T4 y T5 y mezclas de alto módulo, la mezcla definida como óptima al efectuar el diseño Marshall deberá ser verificada con la medida de su resistencia a la deformación plástica mediante la pista de ensayo de laboratorio, según la norma de ensayo INV E-756-07.

La velocidad de deformación en el intervalo comprendido entre ciento cinco (105) y ciento veinte (120) minutos no podrá ser mayor de 15 $\mu\text{m}/\text{minuto}$ para mezclas que se vayan a emplear en pavimentos sometidos a un tránsito equivalente a la clase T5, ni mayor de 20 $\mu\text{m}/\text{minuto}$ para mezclas que vayan a servir tránsitos T4.

Si este requisito no se cumple, se deberán efectuar los ajustes necesarios en el diseño de la mezcla. Para tránsitos del nivel T0 y T3 no se requerirá la ejecución de esta prueba, a no ser que sea solicitada en las especificaciones particulares. Se podrán emplear otros métodos de pista de ensayo de laboratorio contemplados en la norma EN-12697-22, caso en el cual los criterios de aceptación deberán definirse con base en especificaciones internacionales de comprobada efectividad.

3. Módulo Resiliente

Para las mezclas de alto módulo, la mezcla definida como óptima al efectuar el diseño Marshall deberá ser verificada con la medida de su módulo resiliente. El valor del módulo a veinte grados Celsius (20°C), según la norma INV E-749-07, deberá ser mínimo de diez mil megapascuales (10,000 MPa), a la frecuencia de 10 Hz, para probetas compactadas con 75 golpes por cara. Las probetas que se sometan a este ensayo deberán ser elaboradas con una mezcla sometida a envejecimiento previo, según la norma de ensayo AASHTO R30. Si este valor de módulo no se cumple, será necesario rediseñar la mezcla hasta lograr su cumplimiento.

Alternativamente, el módulo podrá ser medido mediante alguno de los procedimientos de ensayo definidos en la norma EN-12697-26, caso en el cual el valor obtenido debe ser equivalente al de diez mil megapascuales (10,000 MPa), definido para la norma INV E-74907; en este caso, se deberán utilizar equivalencias comprobadas entre ensayos.

Para tránsitos T4 y T5 se deberán medir y reportar los módulos resilientes correspondientes a la mezcla definida como óptima al efectuar el diseño Marshall para todas las mezclas que se empleen en el proyecto. La temperatura de ensayo será veinte grados Celsius (20° C) y la frecuencia será de 10 Hz; las probetas se compactarán con 75 golpes por cara. Se podrá utilizar la norma de ensayo INV E-749-07 o alguno de los procedimientos de ensayo definidos en la norma EN-12697-26.

4. Módulo Dinámico

La mezcla óptima diseñada con el método Marshall, para la capa intermedia en vías de tránsito T2 a T5, deberá ser verificada con la medida de su módulo dinámico de acuerdo con las hipótesis de diseño y los criterios de fatiga.

Para esto se elaborarán tres probetas por cada quinientos metros cúbicos (500 m³) de mezcla asfáltica en caliente colocada, para verificar en el laboratorio la medida de su módulo dinámico, según la norma INV E-754-07.

El módulo promedio de las tres (3) probetas (M_m) no podrá exceder en más del quince por ciento (15%) el valor considerado en la hipótesis de diseño (M_d), ni encontrarse por debajo en más del cinco por ciento (5%) de este valor.

$$0.95M_d \leq M_m \leq 1.15M_d$$

Si este valor del módulo no se cumple, será necesario rediseñar la mezcla hasta lograr su cumplimiento.

5. Leyes de Fatiga

Se establecen dos instancias para la verificación de la condición de fatiga de la mezcla asfáltica, la primera corresponde a la aprobación de la mezcla en concordancia con las hipótesis de diseño, y la segunda corresponde al control de calidad para la aprobación de la misma, con el fin de garantizar la conformidad del producto durante la ejecución de la obra.

La medida de la ley de fatiga en la mezcla asfáltica se realizará para capas de rodadura e intermedia en vías de tránsito T2 a T5 y mezclas de alto módulo, de acuerdo con el método de ensayo y la instancia correspondiente que se establecen en la tabla 2.18. Para obtener la aprobación del uso de la mezcla, el Constructor deberá presentar, adicionalmente al diseño Marshall, el histórico del último año de los registros del ensayo de fatiga, realizados para ese tipo de mezcla en la planta seleccionada para el suministro. El especialista de pavimentos, mediante concepto técnico, analizará el comportamiento y la variabilidad en la producción de la mezcla y su aproximación a las hipótesis de diseño.

Instancia	Método de Ensayo	Mezcla asfáltica a ensayar
Diseño	Deformación controlada	Óptima diseñada con el método Marshall
Control de Calidad	Deformación controlada o Esfuerzo controlado (1)	Suministrada en la vía por la planta

(1) Una vez adoptado un método de ensayo en el procedimiento de control, éste no se debe variar.

Tabla 2.18 Método de Ensayo para la medida de la ley de fatiga. Fuente: Norma de ensayo INV E-748-07.

Los ensayos de fatiga se realizarán bajo condiciones de densidad, temperatura y frecuencia representativas de las condiciones reales de operación del pavimento. Las probetas que se sometan a este ensayo deberán ser elaboradas con una mezcla sometida a envejecimiento previo según la norma de ensayo AASHTO R-30.

Se deberá asegurar que las leyes de fatiga de las mezclas que se elabore sean adecuadas para las necesidades de tránsito del proyecto donde se utilizará, por cuanto será de su entera y única responsabilidad cualquier deterioro prematuro atribuible exclusivamente a la fatiga de las capas asfálticas, durante el período de garantía de estabilidad de la obra.

2.4.2 Requisitos específicos para las plantas de tipo continuo

La Empresa de Construcción y Montaje de Matanzas tiene como una de sus principales fuentes de ingreso a la planta productora de hormigón asfáltico caliente (HAC), de origen italiano, “Abel Santamaría Cuadrado” ubicada en Coliseo. Esta planta es continua por el tipo de equipo que contiene y tiene ya varios años de explotación, a pesar de ser moderna.

En las plantas de tipo continuo, como es el caso de las de tipo tambor secador mezclador, donde la dosificación definitiva de los agregados pétreos se realiza en frío, el sistema de dosificación de los agregados deberá ser ponderal y deberá tener en cuenta su humedad para corregir la dosificación en función de ella. En aquellas plantas de tipo continuo que no sean del tipo tambor-secador-mezclador, las tolvas de agregados clasificados calientes deberán estar provistas de dispositivos de salida que puedan ser ajustados exactamente y mantenidos en cualquier posición; estos dispositivos deberán ser calibrados antes de iniciar la fabricación de cualquier tipo de mezcla, en condiciones reales de funcionamiento.

El sistema dosificador deberá estar sincronizado con la alimentación de los agregados pétreos y el llenante mineral, de manera de asegurar la dosificación correcta de la mezcla. Los agregados serán transportados por bandas desde las tolvas hasta el mezclador, que será de tipo de ejes gemelos, donde se incorporarán con el ligante bituminoso. El tambor deberá calentar, cubrir y mezclar uniformemente los materiales, evitando cualquier sobrecalentamiento que pueda afectar adversamente las características y el comportamiento de la mezcla. El dispositivo medidor del asfalto deberá controlar adecuadamente la cantidad de ligante que se incorpora a la mezcla y responder instantáneamente a cualquier variación en la cantidad de alimentación de los agregados. La difusión del asfalto deberá ser homogénea y de manera que no exista ningún riesgo de contacto con la llama ni de someter al ligante a temperaturas inadecuadas.

Se deberá instalar un pirómetro en el extremo de descarga del mezclador para verificar la temperatura de la mezcla. La producción de la planta se deberá limitar a la velocidad requerida para obtener una envuelta correcta de los agregados, cumpliendo con los

requisitos de temperatura del ligante según se haya determinado al establecer la fórmula de trabajo.

Conclusiones del Capítulo

1. La práctica de diseño de mezclas asfálticas en caliente ha utilizado diferentes métodos para establecer un diseño óptimo en laboratorio, el empleado en la provincia de Matanzas es el Método Marshall que le atribuye importancia significativa a la propiedad densidad vacíos de la mezcla asfáltica, por ello se ha explicado la metodología del método en cuestión, así como la evaluación de cada propiedad durante el proceso de diseño.
2. Se describió los ensayos a realizar en las mezclas asfálticas semidensas en caliente durante el proceso de diseño por el Método Marshall, donde se comprueban las propiedades de cada probeta sometida a los ensayos correspondientes y se determina mediante los resultados su correcta elaboración.
3. Se analizó las características de las mezclas asfálticas semidensas, así como las propiedades que éstas deben poseer para brindar una calidad máxima al pavimento correspondiente y evitar efectos perjudiciales al mismo. También se describen las causas de las deformaciones que producen efectos negativos en la estructura y como evitar estos daños en muchas ocasiones irreparables para el pavimento.
4. Se elaboró una guía con el procedimiento a seguir para la realización del diseño de mezclas asfálticas semidensas, dividida en tres fases fundamentales en las cuales fueron descritos detalladamente los pasos a seguir para un correcto diseño de la misma siguiendo la metodología del Método Marshall, donde se muestran tablas con datos extraídos de las Normas Cubanas de Hormigón Asfáltico en Caliente y la Norma de ensayo INV E-748-07.

CONCLUSIONES

1. Los pavimentos son imprescindibles para el desarrollo político, económico y social de un país, de ahí la importancia de conocer sus características fundamentales. Es por ello que surgió la necesidad de la creación de mezclas asfálticas que aseguren que cada capa de este elemento estructural cumpla con los requisitos necesarios para que sea garantizado su confort y seguridad.
2. Mediante el análisis de los métodos de diseño utilizados y de las propiedades que deben poseer las mezclas asfálticas semidensas en caliente, en función de la capa correspondiente a ser utilizada, fue elaborada una propuesta de guía metodológica mediante la cual se pueden lograr dosificaciones para la capa intermedia de la carpeta de hormigón asfáltico de los pavimentos, contribuyendo al ahorro considerable de materiales, ya sean renovables como no renovables.

RECOMENDACIONES

1. Luego de realizarse el análisis pertinente y presentar la guía metodológica para la elaboración de dosificaciones de mezclas asfálticas semidensas en caliente se le recomienda a las entidades interesadas como la Brigada Constructora 3 la utilización de la guía para la elaboración de dosificaciones.
2. A la Universidad de Matanzas se le recomienda darle continuidad a este trabajo de investigación con la realización de dosificaciones de mezclas asfálticas semidensas en caliente desarrollando los ensayos pertinentes a cada material como se estipula en la guía metodológica dada.
3. Debido a las condiciones económicas existentes y el asedio político por parte del gobierno de los Estados Unidos de América, en el país hay insuficiencia técnica en el número de ensayos existente a realizar en la mezclas asfálticas semidensas, por ello se recomienda a la ENIA y Brigada Constructora 3 de Matanzas que realicen los estudios pertinentes para la realización de estos ensayos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alonso, A. (2013). "Estado del arte sobre mezclas asfálticas semicalientes."
2. Álvarez Acevedo, L. P; Arcila Carrasco, D. F. 2009. "Estado del arte en formulación de mezclas asfálticas". Trabajo de Diploma. Universidad Industrial de Santander. Colombia.
3. Arias, R., 2018. Mezclas asfálticas en caliente. s.l.:s.n.
4. Arencibia, E. E. (2013). "Análisis de la contaminación atmosférica de la planta de asfalto caliente "Abel Santamaría", de Coliseo. ." **Vol. 16 No. 3**
5. Bañón, L. y. B., José (2012). "Manual de Carreteras." **1.**
6. Cabrera, S. 2020. Entrevista realizada al Ingeniero Samuel Cabrera de la Brigada Constructora 3 de Matanzas.
7. Cole, L. 1994. "*Designing Whitetopped Parking Lots to Last*". *Concrete Construction*. Abril N° 39, 343 - 345.
8. Colocaciones, HAC. 2012. "Historia del asfalto". [Online]. Available: <http://www.haccolocaciones.com/?pag=historia-asfalto>. [Accessed: Miércoles, 12 de febrero de 2014].
9. Crespín, L. P; 2012. "Estado del arte en formulación de mezclas asfálticas en caliente". Trabajo de Diploma.
10. Cuervo, Pedro, 2018. "Historia del pavimento". [Online].Available: <http://www.arkiplus.com/historia-delpavimento>.
11. DE LAS CUEVAS TORAYA, J. 2001. "500 Años de Construcciones en Cuba", D.V. Chavín, Servicios Gráficos y Editoriales, S.L.
12. Erazo Carrión, D. M. 2009. "Evaluación y mejoramiento del proceso de producción y colocación de mezcla asfáltica que produce la planta de asfalto del ilustre municipio de Loja". Trabajo de Diploma, Universidad Técnica Particular de Loja. Ecuador.
13. Garnica Enderica, N., SÁNCHEZ ZAMORA, J. E. & FLORES, J. 2004. "Control De Calidad En Obra Para Hormigones Asfálticos". Tesis de Maestría. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Ecuador.

14. Garnica Enderica, N., SÁNCHEZ ZAMORA, J. E. & FLORES, J. 2009. "Control De Calidad En Obra Para Hormigones De Alto Desempeño". Tesis de Doctorado. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Ecuador.
15. Hurd, M. K. 1997. "*Ultra-Thin Whitetopping. What is it? How is it done?*". *Concrete Construction*, febrero, 184 - 191.
16. Jara, D. 2013. Historia de los pavimentos en el mundo. www.google.com
17. Jiménez Valdivia, N. (2013). "Proyecto de Organización de Obra Autopista Sur de Varadero. Los Tainos, III Tramo."
18. Lenzano, F. 2019. Condiciones de las carreteras en Cuba. La Habana: Pueblo y Educación.
19. Lopez Prieto, C. P. (2012). "Estado de la práctica de las mezclas asfálticas en frío para capas estructurarles usando materiales nuevos."
20. Martin, J. R. & Wallace, H. A. 1963. "Design and construction of asphalt pavements".
21. Montejo Fonseca, A. 2008. "Ingeniería de Pavimentos", Tomo I y II. Universidad Católica de Colombia. Colombia.
22. Montejo, A., 2011. Ingeniería de pavimentos. La Habana.
23. Morciego, H., 2016. "Conservación Vial de la Calzada. Tecnologías para pavimentos flexibles y rígidos. Matanzas. Cuba, s.n.
24. Narvéz González, J. C. & PÉREZ PUENTES, J. S. 2010. "Estudio del comportamiento de mezclas asfálticas frías con granulometrías colombianas". Tesis de Maestría. Universidad Militar Nueva Granada. Colombia.
25. NC: 160, 2002. "Carreteras. Hormigón Asfáltico Caliente. Colocación en obra". Vedado, Ciudad de La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.
26. NC: 178, 2002. "Áridos. Análisis granulométrico". Vedado, Ciudad de La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.
27. NC: 179, 2002. "Áridos. Determinación del contenido de partículas de arcilla. Método de ensayo". Vedado, Ciudad de La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.

28. NC: 187, 2002. Áridos gruesos. Peso específico y absorción de agua. Método de ensayo. Vedado, Ciudad de La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.
29. NC: 188, 2002. “Áridos gruesos. Abrasión. Método de ensayo”. Vedado, Ciudad de La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.
30. NC: 189, 2002. “Áridos gruesos. Determinación de partículas planas y alargadas. Método de ensayo”. Vedado, Ciudad de La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.
31. NC: 190, 2002. “Áridos gruesos. Determinación del índice de triturbilidad. Método de ensayo”. Vedado, Ciudad de La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.
32. NC: 253, 2005. “Carreteras. Materiales Bituminosos. Hormigón Asfáltico Caliente- Especificaciones”. Vedado, Ciudad de La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.
33. NC: 254, 2005. “Carreteras. Emulsión Asfáltica Aniónica. Requisitos”. Vedado, Ciudad de La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.
34. NC: 259, 2005. “Carreteras. Pavimentos de Hormigón Hidráulico – Losa – Código de Buenas Prácticas”. Vedado, Ciudad de La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.
35. NC: 261, 2005. “Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto Empleando el Método Marshall”. Vedado, Ciudad de La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.
36. NC: 334, 2004. “Carreteras. Pavimentos Flexibles. Método de Cálculo”. Vedado, Ciudad de La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.
37. NC: 401, 2005. “Materiales Bituminosos. Métodos de Ensayo. Penetración”. Vedado, Ciudad de La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.
38. NC: 759, 2010. “Áridos para Mezclas Asfálticas. Requisitos”. Vedado, Ciudad de La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.
39. NC: 830, 2011. “Carreteras –Código de Buenas Prácticas para el Diseño y Construcción de Tratamientos Superficiales Asfálticos”. Vedado, Ciudad de La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.

40. Orta Amaro, P. A. 2007. “Tecnologías de pavimentación de carreteras”. Editorial “Samuel Feijoo”. Cuba
41. Orta Amaro, P. A. 2007. “Valoración de Nuevas Técnicas de Construcción y Reparación de Pavimentos de Carreteras para su empleo en Cuba”. Monografías.
42. Orta Amaro, P. A. 2009. “Pavimentación con Adocreto, una tecnología amistosa con el medio ambiente”. Tecnología y Construcción Vol. 25 N° III, 47 - 58.
43. Orus, P. A. 2009. “Las 10 carreteras más espectaculares del mundo”.
44. Pedroso, M. (2016). Pavimento. Definiciones y conceptos. Tipos de pavimentos. Materiales para la construcción de pavimentos
45. Revista de Ingeniería de la Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de Cuba. UNAICC.1988
46. Revista de Ingeniería de la Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de Cuba. UNAICC.2018
47. Revista de Asociación Mexicana de Asfalto. AMAAC, 2015.
48. Revista del Instituto de Información Científica y Tecnología De La Habana. 2013.
49. Risser, B. & Johnston, M. 1996. “*Tips for Reconstructing Concrete Intersections*”. *Concrete Construction*, Vol. 42 febrero, 160 - 164.
50. Rolland, D. L. (2018). "Pavimentos aeronáuticos".
51. Segura, O., 2016. Historia de los pavimentos en el mundo. www.google.com
52. Torres Vila, J. A. 1989. “Diseño de pavimentos para carreteras y aeropuertos”, Tomo I y II. Ministerio de Educación Superior. Cuba.
53. Velázquez, M., 1973. Manual del asfalto. Bilbao (España): Artes Gráficas.
54. Yoder, E. J. 1967. “*Principles of Pavement Design*”.
55. Zorio, O., 1987. Historia de los pavimentos en el mundo. www.google.com
56. Zuñiga, R., 2015. Mezclas Asfálticas en Caliente, Chile: Ministerio de Obras Públicas.

