

DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

MÉTODO MARSHALL

**Cátedra: CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO**

**Ing. Gustavo O. Prieto
Año 2006**

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE – METODO MARSHALL

GENERALIDADES

La metodología Marshall para el diseño de mezclas asfálticas, fue desarrollada originalmente por el Ingeniero Bruce Marshall, del Departamento de Carreteras de Mississippi en los Estados Unidos.

La forma actual del método, responde a un desarrollo del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE UU a partir de 1943. La ventaja de esta metodología era la de poder realizarla con equipos portátiles. Posteriormente se siguió desarrollando el procedimiento a través de extensas pruebas en las que se vinculaban los distintos tránsito con numerosas pruebas de laboratorio.

El propósito del método, es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. Provee también la información necesaria para controlar los principales parámetros de las mezclas preparadas en caliente, tales como, Estabilidad, fluencia, densidad, vacíos de la mezcla, etc.

El método se desarrolló principalmente para mezclas elaboradas en caliente con tamaño máximo 25 mm (1") y sirve tanto para diseño de mezclas como para control de mezclas construidas.

CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

Una mezcla diseñada y construida de concreto asfáltico, puede ser estudiada a través de 4 de sus características principales, estas son:

- *Densidad de la mezcla*
- *Vacíos de la mezcla compactada*
- *Vacíos en el agregado mineral VAM*
- *Contenido de asfalto*

Densidad de la mezcla

Está definida como el peso unitario de la mezcla compactada. La densidad está directamente relacionada con la durabilidad y resistencia de la mezcla.

Generalmente se expresa en kg/m³ ó tn/m³ con valores entre 2.30 a 2.38 tn/m³ en mezclas de concreto convencionales.

La densidad de la mezcla se mide en obra y se compara con la obtenida en laboratorio para determinar la calidad de la capa construída

Vacíos de la mezcla compactada (V)

Se expresa generalmente como vacíos o vacíos de aire de la mezcla. Son espacios ocupados por aire, los que pueden estar conectados o no. Los vacíos permiten que el asfalto de la mezcla pueda expandirse por efecto de la temperatura y del tránsito, evitando que el mismo migre hacia el exterior de la capa construida. Los vacíos colaboran en el efecto de sobrecompactación que sufren las capas asfálticas por efecto del tránsito.

La cantidad de vacíos de la mezcla, expresada en porcentaje del volumen total de la misma, define el tipo de mezcla a diseñar y el tipo de capa asfáltica a construir. En función de esto se tiene:

- *vacíos (V) entre 3 y 5 % → mezcla densa para carpeta de rodamiento*
- *vacíos (V) entre 5 y 10 % → mezcla semi-densa para bases asfálticas.*

Los vacíos de la mezcla, serán determinantes en la calidad y durabilidad de la mezcla. Un contenido alto de vacíos darán como resultado una mezcla muy permeable permitiendo la entrada de agua y la posterior oxidación del asfalto que recubre las partículas de agregados. En caso de ser muy bajo el porcentaje de vacíos, es posible que la mezcla presente exudación de asfalto.

La densidad está íntimamente relacionada con el porcentaje de vacíos, a mayor densidad, menor porcentaje de vacíos y viceversa. Las especificaciones de la mezcla requieren usualmente una densidad que permita tener el menor porcentaje de vacíos compatible con la capa a construir.

Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)

Los vacíos en el agregado mineral son los vacíos de aire a los que se suman los espacios intergranulares ocupados por asfalto.

Representa el espacio que tiene la mezcla para acomodar el asfalto efectivo (asfalto que forma película sobre los agregados) y los espacios de aire que quedan en la mezcla luego de ser colocada y compactada.

El valor del VAM está directamente relacionado con el tamaño máximo del agregado. Cuanto mayor sea el VAM, mayor espesor tendrá la película de asfalto que recubre los agregados, dando una mezcla más durable. Por el contrario cuando el VAM es muy bajo ésta película asfáltica es muy delgada y da como resultado mezclas con tendencia a oxidarse y por lo tanto menos durables.

La figura N°1 ilustra el concepto de VAM y en la tabla N° 1 se indican los valores mínimos dados por la ASTM en función del tamaño máximo del agregado a utilizar en la mezcla.

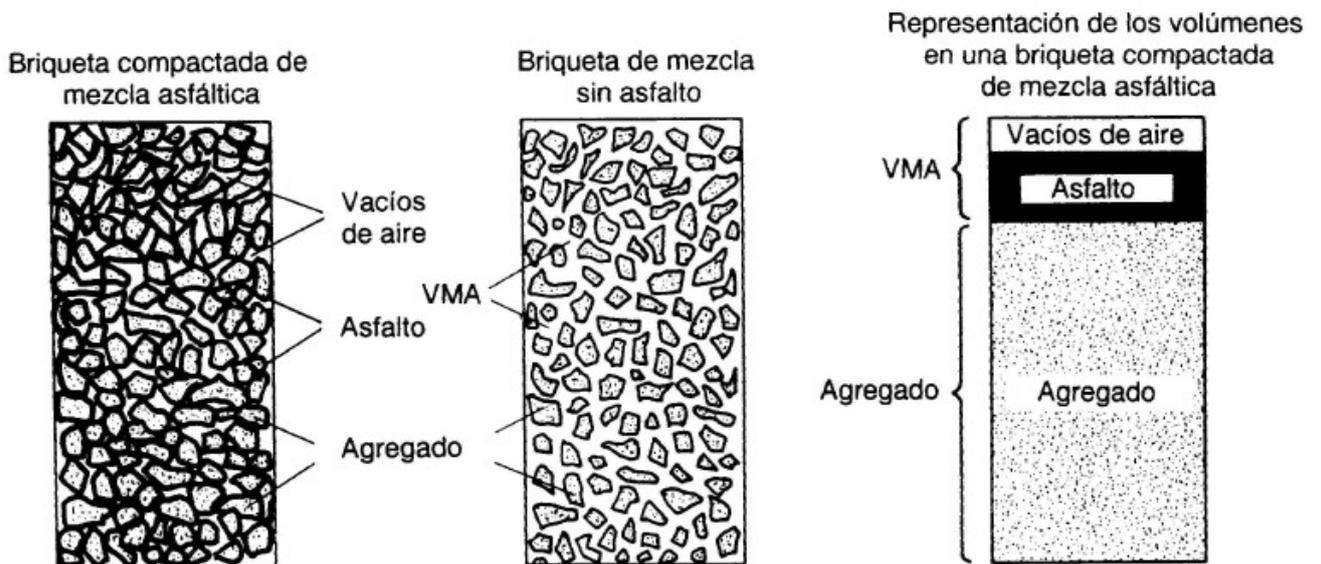


Figura N°1 – Representación del VAM en una mezcla compactada

Tamaño máximo en mm		VAM mínimo, por ciento		
porcentaje		Vacíos de diseño, por ciento ³		
mm	inc.	3.0	4.0	5.0
1.18	Nº. 16	21.5	22.5	23.5
2.36	Nº. 8	19.0	20.0	21.0
4.75	Nº. 4	16.0	17.0	18.0
9.5	3/8	14.0	15.0	16.0
12.5	1/2	13.0	14.0	15.0
19.0	3/4	12.0	13.0	14.0
25.0	1.0	11.0	12.0	13.0
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0
50	2.0	9.5	10.5	11.5
63	2.5	9.0	10.0	11.0

¹ Especificación Normal para Tamices usados en Pruebas ASTM E 11 (AASHTO M 92).

² El tamaño máx. nominal de partícula es un tamaño más grande que el primer tamiz que retiene más de 10 % del material.

³ Interpole el VAM mínimo para los valores de vacíos de diseño que se encuentren entre los que están citados.

Tabla Nº 1 – Valores mínimos de VAM

Contenido de asfalto

La proporción de asfalto en una mezcla es importante, y debe ser determinada lo más exactamente posible en laboratorio y luego controlada en obra.

El contenido óptimo de asfalto está determinado en gran medida por el agregado de la mezcla asociados a dos características fundamentales, granulometría y capacidad de absorción.

El contenido de asfalto dependerá de la granulometría del agregado, ya que a medida que la mezcla contenga mayor proporción de agregados finos, requerirá una cantidad de asfalto mayor que la que se necesitaría para agregados más gruesos. Esta situación está asociada al concepto de superficie específica de los agregados, esta superficie es mayor cuanto más fino es el agregado y por lo tanto para que la película de asfalto recubra todas la superficie de las partículas, es necesaria una dotación mayor del mismo.

Esto tiene mayor importancia, cuando la mezcla incorpora en su granulometría, material fino bajo tamiz Nº200, al que llamaremos relleno mineral o filler. Las pequeñas variaciones de este relleno mineral, tendrán efectos importantes en el contenido de asfalto y posteriormente en el comportamiento de la mezcla.

El aumento del contenido de filler, puede absorber parte del contenido de asfalto y dar como resultado, una mezcla inestable y seca. Por el contrario la disminución del relleno mineral podría traducirse en una mezcla húmeda.

La capacidad de absorción del agregado, determina que un cierto volumen de asfalto sea absorbido por los poros del mismo, esto significa que se debe agregar a la mezcla asfalto suficiente para poder formar una adecuada película de ligante.

Se definen entonces los siguientes conceptos:

- asfalto absorbido (asfalto absorbido por el agregado)
- asfalto efectivo (asfalto de constituye la película ligante)
- asfalto total (la suma de los anteriores)

Por lo tanto se deberá conocer el poder de absorción de los agregados, a los efectos de poder determinar las cantidades reales de asfalto necesarias. Se deberá hacer el ensayo de absorción, fundamentalmente cuando se trabaje con agregados provenientes de canteras o yacimientos no conocidos.

La figura Nº 2 ilustra sobre los distintos conceptos antes mencionados.

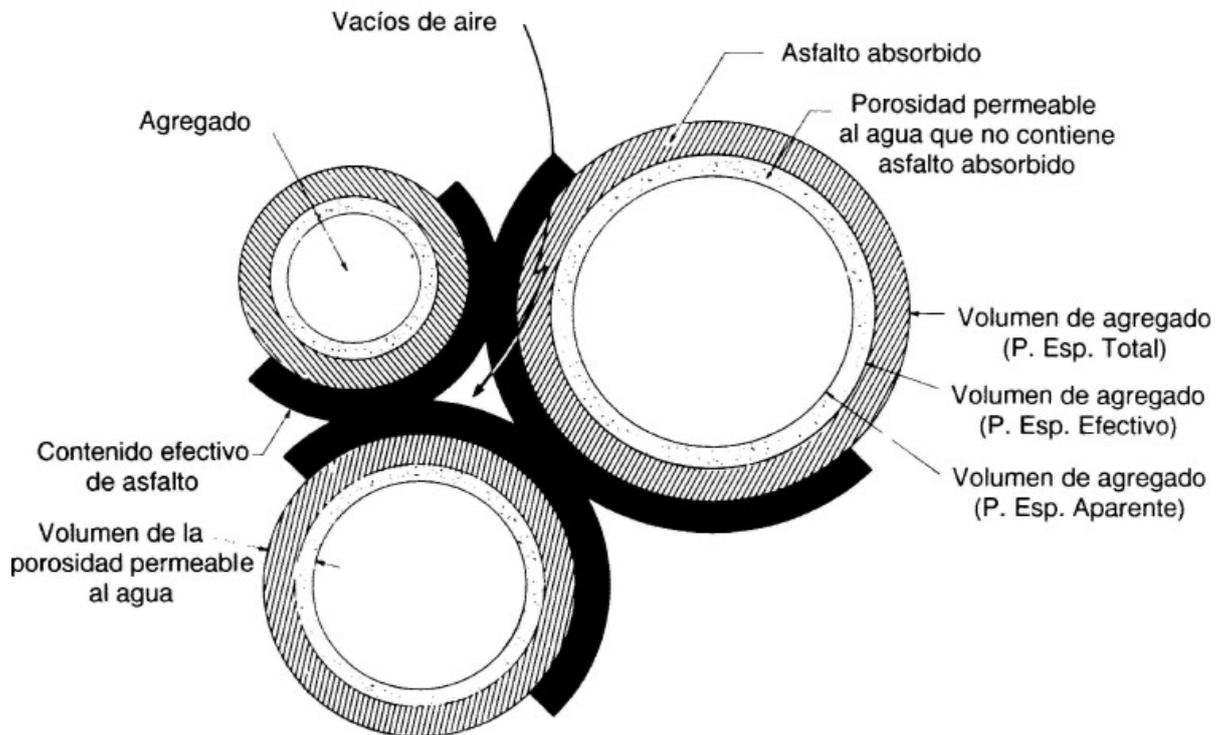


Figura Nº 2 – Distintos pesos específicos de agregados

PRINCIPALES PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

Estabilidad

La estabilidad de una mezcla asfáltica, es la capacidad que tiene la misma para resistir deformaciones y desplazamientos bajo la acción de las cargas. Un pavimento estable, mantiene sus propiedades resistentes y superficiales cuando es solicitado a un ciclo de repeticiones de carga producido por el tránsito que lo solicita.

Por el contrario, un pavimento inestable, se deforma por las solicitaciones, produciendo ahuellamientos, desplazamientos y fisuras que evidencian fallas en la mezcla asfáltica.

Los valores de estabilidad, deberán ser lo suficientemente altos como para resistir las cargas de tránsito, pero un exceso en las exigencias de la estabilidad, puede resultar en una mezcla muy rígida con tendencia a fisurarse bajo las solicitaciones de tránsito.

La estabilidad de una mezcla, está asociada a dos características fundamentales, fricción y cohesión. La primera de ellas dependerá de la granulometría de los agregados y de su forma. Cuando los agregados son producto de trituración, las caras de estos presentan superficies y texturas irregulares, de esta manera aumenta el rozamiento entre partículas favoreciendo la fricción del conjunto. El fenómeno de cohesión se le atribuye al asfalto, el que debe formar una película ligante que envuelva las partículas de agregado. La cohesión de la mezcla tenderá a aumentar a medida que el asfalto se hace más viscoso (baja temperatura) y disminuirá con un aumento de temperatura de la mezcla. Adicionalmente la cohesión podrá aumentar con el aumento del contenido de asfalto hasta un cierto límite, superado el mismo, el asfalto producirá una película demasiado gruesa que separará las partículas de agregado disminuyendo la fricción entre ellas.

La tabla siguiente, indica algunas de las causas y efectos que podrían producir una estabilidad insuficiente.

ESTABILIDAD BAJA

Causas	Efectos
Exceso de asfalto en la mezcla	Ondulaciones, ahuellamiento y exudación
Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente durante un cierto tiempo, dificultad para la compactación
Agregado redondeado sin o con pocas superficies trituradas	Ahuellamiento y canalización

Durabilidad

La durabilidad de un pavimento asfáltico es su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto (polimerización y oxidación), 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 de 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, y resistente a la separación, contribuye, de tres maneras, a la durabilidad del pavimento. Una graduación densa proporciona un contacto más cercano entre las partículas de 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 minerales como la cal hidratada, cemento o arena de médano.

La intrusión de aire y agua en el pavimento puede minimizarse si se diseña y compacta la mezcla para darle al pavimento la máxima impermeabilidad posible (ver Impermeabilidad en la sección siguiente). Existen muchas causas y efectos asociados con una poca durabilidad del pavimento. La Figura siguiente presenta una lista de algunas de estas causas y efectos.

POCA DURABILIDAD

Causas	Efectos
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 (hidrofílicos)	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado, o desintegrado

Impermeabilidad

La impermeabilidad de un pavimento asfáltico 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 relacionan 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 más 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. La Figura a continuación cita ciertas causas y efectos relacionados con valores bajos de impermeabilidad para pavimentos asfálticos de graduación densa.

MEZCLA DEMASIADO PERMEABLE

Causas	Efectos
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 infiltración de agua y baja estabilidad

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; por el contrario aquellas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. La trabajabilidad puede ser mejorada modificando los parámetros del diseño 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 mineral 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 alcantarillado, 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, sí tiene algún efecto sobre esta propiedad. Debido a que la temperatura de la mezcla afecta la viscosidad del 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 asfalto también pueden afectar la trabajabilidad de la mezcla.

La tabla siguiente cita algunas causas y efectos relacionados con la trabajabilidad de mezclas de pavimentación.

MALA TRABAJABILIDAD

Causas	Efectos
Tamaño máximo de partícula: grande	Superficie áspera, difícil de colocar
Demasiado agregado grueso	Puede ser difícil de compactar
Temperatura muy baja de mezcla	Agregado sin revistir, 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

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. Se ha demostrado, por medio de la investigación, que los vacíos (relacionados con el contenido de asfalto) y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga. 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 (el periodo de tiempo durante el cual un pavimento en servicio es adecuadamente resistente a la fatiga) 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.

La siguiente tabla presenta una lista de las causas y los efectos que conducen a una mala resistencia a la fatiga.

MALA RESISTENCIA A LA FATIGA

Causas	Efectos
Bajo contenido de asfalto	Agrietamiento por fatiga
Vacios altos de diseño	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido de 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

Resistencia al Deslizamiento (Rugosidad superficial)

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 esta 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/h (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 pulgada) a 12.5 mm (1/2 pulgada). Además de tener una superficie áspera, los agregados deben resistir el pulimento (alisamiento) bajo el tránsito. Los agregados calcáreos son más susceptibles al pulimento 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.

La tabla indicada a continuación presenta una lista de las causas y los efectos relacionados con una mala resistencia al deslizamiento.

POCA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO

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

EVALUACION Y AJUSTES EN EL DISEÑO DE LA MEZCLA

En el proceso de evaluación de un diseño para una mezcla, es necesario preparar varias mezclas de prueba para encontrar una que cumpla con todos los criterios del método de diseño que se esta usando. El análisis de cada mezcla de prueba sirve como guía para poder hacer ajustes en las demás mezclas de prueba.

Las mezclas de prueba usadas para establecer la fórmula de mezcla de la obra deben tener una granulometría de agregado dentro de las especificaciones de la obra. Cuando las mezclas iniciales de prueba no cumplan con los criterios del diseño, será necesario modificar la mezcla o, en algunos casos, volver a diseñarla usando diferente granulometría de agregado.

Las curvas granulométricas son de gran ayuda al hacer los ajustes necesarios en los diseños de

mezclas. Por ejemplo, las curvas obtenidas de la ecuación de densidad máxima de Fuller representan condiciones de densidad máxima y valores mínimos de vacíos en el agregado mineral (VAM). Las mezclas asfálticas que poseen dichas curvas presentan contenidos de vacío que pueden ser demasiado bajos. Generalmente, cualquier desviación de estas curvas resulta en densidades menores y valores más altos de VAM. La magnitud del cambio en la densidad y en el VMA depende de la cantidad de ajustes hechos en el contenido de agregado grueso o fino de la mezcla encuentran conveniente la gráfica del FHWA para hacer ajustes en la granulometría del agregado. Las curvas en la gráfica del FHWA pueden hallarse usando la ecuación de densidad máxima de Fuller, o dibujando una línea recta desde el origen, en la parte inferior izquierda de la gráfica, hasta el tamaño máximo nominal de partícula deseado, en la parte superior. Para agregados procesados, el tamaño máximo nominal de partícula es el tamaño más grande de tamiz, citado en la especificación, sobre el cual se retiene alguna cantidad de material. Las granulometrías que se acercan a las líneas rectas tienen, generalmente, valores bajos de VMA, y deben ser ajustadas alejándolas de estas líneas. Dichos ajustes aumentan los valores de VAM, permitiendo así el uso de suficiente asfalto para poder obtener máxima durabilidad sin causar exudación en la mezcla.

A continuación se presenta una guía general para hacer ajustes en la mezcla de prueba y así poder cumplir con los criterios de diseño. El encabezado de cada sub-sección describe la condición, en la mezcla, que necesita ser corregida. Las sugerencias enunciadas podrán no aplicarse en todos los casos.

Bajo Contenido de Vacíos, Baja Estabilidad

El nivel de vacíos puede aumentarse de varias maneras. Una de ellas consiste en aumentar el VMA mediante la adición de agregado grueso o agregado fino. El aumento de VMA proporciona más espacio, en la mezcla, para una mayor cantidad de vacíos.

Otra manera de aumentar la cantidad de vacíos es la de disminuir el contenido de asfalto. Esto puede hacerse solamente si hay exceso de asfalto en la mezcla, y si no se reduce el contenido de asfalto por debajo del límite donde el espesor de la película, y eventualmente la durabilidad del pavimento, se encuentra en un nivel aceptable.

El aumento de la cantidad de materiales triturados en la mezcla proporciona texturas superficiales ásperas y formas angulares de partícula, las cuales mejoran el VMA y la fricción entre partículas. Sin embargo, sucede que en algunos agregados (cuarzo y tipos similares de roca) las caras fracturadas son muy lisas, y por consiguiente, no se logra un aumento apreciable en la estabilidad.

Bajo Contenido de Vacíos, Estabilidad Satisfactoria

Un contenido bajo de vacíos puede causar exudación después de que el pavimento ha sido expuesto al tránsito por un periodo determinado de tiempo. Un contenido insuficiente de vacíos también puede resultar en inestabilidad y exudación cuando ocurre degradación en el agregado. Por estas razones, las mezclas con contenidos bajos de vacíos deben ser modificadas usando uno de los métodos descritos anteriormente, aun cuando la estabilidad sea satisfactoria.

Contenido Satisfactorio de Vacíos, Baja Estabilidad

Una estabilidad baja, cuando los vacíos y la graduación del agregado son satisfactorios, puede indicar deficiencias en el agregado. Se debe considerar mejorar la calidad.

Contenido Alto de Vacíos, Estabilidad Satisfactoria

Los contenidos altos de vacíos están frecuentemente asociados, aunque no siempre, con altas permeabilidades. Por lo tanto, aun cuando la estabilidad de la mezcla sea satisfactoria, se debe disminuir el contenido excesivo de vacíos. Esto puede lograrse, usualmente, si se aumenta el

contenido de polvo mineral en la mezcla. Sin embargo, en algunos casos, la graduación del agregado debe ser modificada para aumentar la densidad (disminuir los vacíos).

Contenido Alto de Vacíos, Baja Estabilidad

Cuando el contenido de vacíos es alto y la estabilidad es baja, el contenido de vacíos debe ser disminuido usando los métodos descritos anteriormente. Si esta modificación no mejora ni el contenido de vacíos o la estabilidad, entonces se debe revisar el tipo de agregado usado.

AGREGADOS PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS

Fuentes de agregados

Los agregados para pavimentación asfáltica son generalmente clasificados de acuerdo a la fuente o medios de obtención. Incluyen los agregados procedentes de minas o de los agregados procesados y los agregados sintéticos o artificiales.

- **Agregados procedentes de canteras o yacimientos**

El ripio y la arena son agregados naturales; materiales típicos que pueden obtenerse directamente en minas o bancos. El ripio se define como un agregado de partículas de 75mm (3") a 4,75mm (Nº 4). La arena está constituida por partículas de 4,75mm (Nº 4) a 75 µm (Nº 200). Los tamaños menores de 75 µm (Nº 200) incluyen las fracciones limosas.

Las rocas expuestas son desgastadas y degradadas por muchos procesos de la naturaleza tanto físicos como químicos. Los productos de los procesos de la degradación son generalmente transportados por el viento, agua o hielos deslizantes y depositados como material del suelo en diversas formas.

Los rípios están distribuidos extensamente pero sus depósitos raramente se encuentran sin alguna proporción de arena y posiblemente limo. Las arenas de mar, alguna de las cuales se han extendido a gran distancia tierra adentro, son materiales de tamaño uniforme y las arenas de río casi siempre contienen grandes cantidades de ripio, limo y arcilla.

Los agentes naturales de transporte influyen además en la forma de las partículas. Los cantos redondeados de los guijarros de los depósitos en áreas glaciares son un ejemplo. Otro es el del ripio redondeado y pulido y las partículas de arena en corrientes acuosas.

Los depósitos de grava y arena son tamizados generalmente en tamaños apropiados y lavados para remover partículas extrañas, antes de ser utilizados en pavimentos asfálticos.

- **Agregados Producidos**

Los agregados procesados incluyen al ripio natural o rocas que han sido trituradas y tamizadas. El ripio natural es a veces triturado para hacerlo más apropiado para su uso en mezclas asfálticas para pavimentación. La calidad puede ser mejorada por medio de la trituración, al cambiar la textura superficial de las partículas redondeadas en partículas angulosas con mejoras además en la distribución o rangos de tamaño de las partículas.

La piedra partida proviene de la trituración de los fragmentos extraídos de los yacimientos o de grandes piedras, teniendo todas las partículas sus caras fracturadas. En la producción de la piedra triturada se rompen sólidos escalones de la roca sana de una cantera mediante un dinamitado y posteriormente se los reduce en trituradoras de piedra. El producto triturado puede ser tamizado para obtener el tamaño del agregado deseado. Algunas veces, por razones de economía, el material triturado es usado tal como se lo produce con un ligero tamizado o sin él. Este agregado se lo denomina agregado "triturado sin cribar", y en muchas oportunidades puede ser usado en la construcción de pavimentos asfálticos, especialmente si la graduación de los tamaños de las partículas es razonablemente bueno.

En la trituración de la piedra caliza, el polvo de roca producido en la operación, es separado ge-

neralmente del material de 6mm (1/4"), o mayor. Este material puede ser usado como arena triturada o procesarlo aún más hasta llegar a un tamaño máximo nominal de 0,6mm (0,025") para su uso como relleno mineral ("filler") en mezclas para pavimentación.

- **Agregados sintéticos o artificiales**

Los agregados resultantes de la modificación o cambios tanto físicos como químicos de algunos materiales, son llamados comúnmente agregados sintéticos o artificiales. Estos pueden tomar la forma de "subproductos" como los obtenidos en el refinamiento de minerales, o ser especialmente producidos o procesados a partir de materiales en crudo, para ser usados finalmente como agregados.

Las escorias de altos hornos son los agregados artificiales más comúnmente usados, son un subproducto de la fusión del mineral de hierro en altos hornos. No es material metálico y flota en el hierro derretido. Se lo extrae a intervalos y se lo reduce de tamaño tanto por enfriamiento como por inmersión en agua o por medio de la trituración después que ha sido enfriado al aire.

Los agregados artificiales son relativamente nuevos en la pavimentación asfáltica. Por lo común son livianos y tienen una resistencia extraordinaria al desgaste. Frecuentemente son preferidos en la pavimentación de las cubiertas de puentes y en las capas superficiales de pavimentos asfálticos donde se requiere un alto grado de resistencia al deslizamiento. Otros agregados son producidos mediante procesos de coacción o fusión y proceden de las arcillas, pizarras, lutitas, tierras de diatomeas ,etc.; son cenizas volcánicas, arcillas expandidas y materiales similares. Se producen y se venden bajo una variedad de nombres comerciales.

Evaluación de los agregados

La selección de los agregados para su uso en la pavimentación depende de la disponibilidad, costo y calidad del material, tanto como del tipo de construcción proyectada. La conveniencia de un agregado se determina por medio de su evaluación en términos de:

1. Tamaño y granulometría.
2. Limpieza
3. Resistencia al desgaste
4. Textura superficial
5. Forma de las partículas
6. Absorción
7. Afinidad con el asfalto

- **Tamaño y Granulometría**

El tamaño máximo y la granulometría de los agregados son invariablemente controlados por las especificaciones, las cuales indican la distribución por tamaño de partículas que deberá cumplir un agregado en particular. La Figura 4 muestra una especificación típica que controla el tamaño y granulometría del agregado de una capa superficial de concreto asfáltico. Los agregados son descritos a veces en base a su granulometría. Algunos ejemplos son (a) granulometría cerrada, (b) granulometría abierta, (c) tamaño uniforme, (d) granulometría gruesa, (e) granulometría fina y (f) granulometría discontinua.

FIGURA DE GRADACION DE POTENCIA 0.45

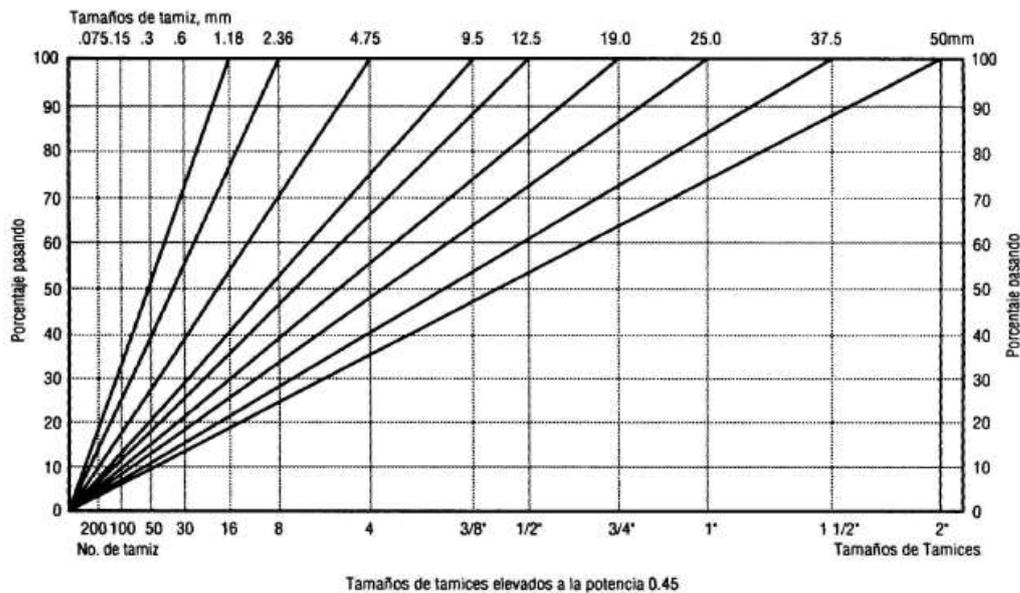


Figura N° 4 – Distintas granulometrías de agregados para mezclas

- **Limpieza**

Algunos agregados contienen ciertas sustancias extrañas que los hacen inadecuados para mezclas asfálticas de pavimentación, a menos que la cantidad de materias extrañas sea reducida. Los materiales típicos objetables son, sustancias orgánicas, esquistos, partículas livianas, terrones de arcilla y arcilla recubriendo las partículas de agregado grueso.

La limpieza del agregado frecuentemente puede ser determinada por inspección visual, pero un tamizado por vía húmeda generalmente da un valor al respecto. El ensayo de Equivalente de Arena, es un método de determinación de la proporción relativa de polvo fino no conveniente o de materiales similares a la arcilla, en la porción que pasa el tamiz de 4,75mm (N°4). Este ensayo responde a la norma VN-E-10/82 de la D.N.V.

- **Resistencia al desgaste**

El agregado pétreo está sujeto a una rotura adicional y a un desgaste por abrasión durante la elaboración, colocación y compactación de la mezcla asfáltica para pavimentación. El agregado sufre además la abrasión debido a las cargas del tránsito. Deben tener por lo tanto, en cierto grado, capacidad de resistir la trituración, degradación y desintegración. El agregado de la superficie del pavimento o cerca de ella requiere una dureza mayor que el agregado de las capas inferiores donde las cargas resultan disipadas o no son tan concentradas.

El ensayo de abrasión o desgaste "Los Angeles" mide la resistencia al uso o abrasión del agregado mineral. El equipo y procedimiento para este ensayo se detalla en AASHTO T96 y ASTM C 131.

Una resistencia relativamente alta al desgaste, indicada por un bajo porcentaje de pérdida por abrasión, es una característica deseable para los agregados a utilizar en capas superficiales de pavimentos asfálticos. Los agregados que tienen mayores pérdidas por abrasión, dentro de ciertos límites generalmente pueden ser usados en capas inferiores de pavimentos, donde no serán objeto de las altas tensiones superficiales causadas por el tránsito.

- **Textura del agregado**

Al igual que la forma de las partículas, la textura superficial influye en la trabajabilidad y resistencia de las mezclas asfálticas para pavimentación. La textura superficial ha sido frecuentemente considerada más importante que la forma de las partículas del agregado. Una textura superficial rugosa, tiende a incrementar la resistencia de la mezcla y requiere un

porcentaje adicional de asfalto para compensar la pérdida de trabajabilidad. Los vacíos en el agregado mineral compactado son además casi siempre mayores, lo cual provee un espacio extra para el aumento necesario de asfalto.

Las gravas naturales, tales como las de río, generalmente tienen una textura superficial, lisa y partículas de formas redondeadas. La trituración, sin embargo, produce frecuentemente una textura superficial rugosa (especialmente a lo largo de la cara fracturada) y cambia la forma de las partículas. Los agregados de superficie lisa pueden ser fácilmente recubiertos con una película de asfalto pero la película se adherirá de modo más efectivo a las superficies rugosas.

No existe un método establecido para la medición de la textura superficial pero, al igual que la forma de las partículas esta característica se refleja en ensayos de resistencia y en la trabajabilidad de muchas mezclas asfálticas.

- **Forma de la Partícula**

La forma de las partículas altera la trabajabilidad de la mezcla para pavimentación como así el esfuerzo necesario de compactación para obtener la densidad requerida. La forma de las partículas influye en la resistencia de la mezcla. Las partículas irregulares o angulosas, tales como la piedra partida y algunas gravas y arenas naturales, tienden a trabarse cuando son compactadas y a resistir el desplazamiento. Generalmente se obtiene una mejor trabazón con partículas de forma cúbica y aristas angulosas; dicha trabazón es mínima con partículas redondeadas.

Las partículas redondeadas, tales como las gravas y arenas naturales procedentes de los lechos de corrientes de agua, son usadas con éxito en mezclas asfálticas para pavimentación, especialmente las de granulometría cerrada. De cualquier modo, ya que es posible una densidad más alta con partículas de agregado redondeadas, la cantidad de asfalto es el factor crítico de las mezclas de granulometría cerrada.

Muchas mezclas asfálticas contienen partículas de agregado angulares y redondeadas. La fracción de agregado grueso es usualmente ripio o piedra triturada y el agregado fino es generalmente arena natural (partículas redondeadas). Tales mezclas usualmente confían la resistencia principalmente al agregado triturado y la trabajabilidad y compactabilidad a las partículas redondeadas de arena.

Algunas experiencias han demostrado, que utilizando agregados naturales y adicionando un porcentaje de agregado triturado de tamaño menor a 3/8", se logra elevar sensiblemente las estabilidades de las mezclas asfálticas

- **Absorción**

La porosidad de un agregado se indica comunmente por la cantidad de líquido que absorbe cuando se lo embebe en agua. Un agregado poroso absorberá asfalto, lo cual hace que una mezcla asfáltica sea seca o menos cohesiva.

En esas mezclas debe ser incorporada una cantidad extra de asfalto para satisfacer la absorción del agregado. Los agregados muy porosos tienden a requerir una cantidad significativa de asfalto extra para compensar el alto tenor de absorción. Los agregados altamente porosos no son normalmente usados, a menos que posean otras cualidades que los hagan ventajosos a pesar de su mayor absorción. La escoria de altos hornos y muchos agregados sintéticos o manufacturados son materiales livianos y altamente porosos. Pero su escaso peso y sus propiedades de resistencia preponderan sobre la consideración de su alta absorción para ser usados en la construcción de pavimentos.

- **Afinidad con el Asfalto**

El descubrimiento separación de la película de asfalto del agregado por acción del agua- puede hacer que un material no sea conveniente para ser usado en mezclas asfálticas de pavimentación. Tales materiales se denominan hidrofílicos (afinidad al agua). Los agregados silíceos tales como la cuarcita y algunos granitos son ejemplos de agregados que pueden requerir atención desde el punto de vista del descubrimiento.

Los agregados que exhiben un alto grado de resistencia al descubrimiento de la película asfáltica en presencia de agua, son usualmente los más convenientes en las mezclas para pavimentación. Tales agregados se denominan hidrófobos (rechazo al agua). Las piedras calizas, dolomitas y basalto son usualmente de alta resistencia al descubrimiento de la película de asfalto.

El porqué los agregados hidrófobos e hidrófilos se comportan como lo hacen no está entendido completamente. La explicación no es tan importante como la capacidad de detectar las propiedades y evitar el uso de agregados que conducen al descubrimiento del asfalto.

Cuando se deban usar agregados no convenientes o cuestionables, frecuentemente se los puede emplear en forma satisfactoria si se alcanza una relación densidad-vacíos deseable, mediante el ajuste de la graduación y el contenido de asfalto. La granulometría del material cuestionable puede ser ajustada mediante la combinación con otros agregados. La selección del contenido de asfalto apropiado para la reducción de los vacíos, dará al pavimento compactado mayor impermeabilidad. Tales pavimentos serán resistentes a los efectos perjudiciales del agua.

ASFALTO PARA MEZCLAS EN CALIENTE

El asfalto usado en pavimentación, generalmente llamado cemento asfáltico, es un material viscoso (espeso) y pegajoso. Se adhiere fácilmente a las partículas de actuando como ligante entre las partículas de agregado en un pavimento de mezcla en caliente.

Al asfalto se le atribuye la resistencia que aporta la cohesión en la mezcla asfáltica, como complemento a la fricción aportada por los agregados

El asfalto cambia cuando es calentado y/o envejecido. Tiende a volverse duro y frágil y también a perder parte de su capacidad de adherirse a las partículas de agregado. Estos cambios pueden ser minimizados si se comprenden las propiedades del asfalto, y si se toman medidas, durante la construcción, para garantizar que el pavimento terminado sea construido de tal manera que pueda retardarse el proceso de envejecimiento

Origen y Naturaleza del Asfalto

Generalmente se le atribuyen al asfalto dos posibles orígenes, uno es natural y el otro, más utilizado y difundido, es el producto de la destilación del petróleo.

• Asfalto de origen natural

Es posible encontrar el Asfalto en yacimientos naturales, con diferentes características y grados de pureza. Entre los yacimientos más importantes se encuentran El lago de la Brea en la isla Trinidad y el de Bermúdez ambos en Venezuela. También aunque con menor pureza, existen afloramientos rocosos que contienen asfalto, como ejemplo podemos citar a los de Val de Travers (Suiza), Seyssel (Francia), Maetzu (España).

• Asfalto obtenido de la refinación de Petróleo

El crudo de petróleo es refinado por destilación. Este es un proceso en el cual las diferentes fracciones (productos) son separadas fuera del crudo por medio de un aumento, en etapas, de la temperatura.

Los asfaltos para usos vial poseen diferentes características, según sean los yacimientos que dan origen a su proceso

Diferentes usos requieren diferentes tipos de asfalto. Los refinadores de crudo deben tener maneras de controlar las propiedades de los asfaltos que producen, para que estos cumplan ciertos requisitos. Esto se logra, usualmente, mezclando varios tipos de crudos de petróleo antes de procesarlos. El hecho de poder mezclar permite al refinador combinar crudos que contienen asfaltos de características variables, para que el producto final posea exactamente las características solicitadas por el usuario.

Una vez que los asfaltos han sido procesados, estos pueden ser mezclados entre sí, en ciertas proporciones, para producir grados intermedios de asfalto. Es así como un asfalto muy viscoso y uno menos viscoso pueden ser combinados para producir un asfalto de viscosidad intermedia. En resumen, para producir asfaltos con características específicas, se usa el crudo de petróleo o mezclas de crudos de petróleo. El asfalto es separado de las otras fracciones del crudo por medio de destilación por vacío o extracción con solventes.

Propiedades Físicas y Químicas del Asfalto

Al asfalto para mezclas en caliente es conocido como cemento asfáltico, este cemento asfáltico podrá ser convencional o modificado con polímeros u otras sustancias. Cada una de ellas le conferirá al cemento asfáltico, propiedades particulares.

Básicamente, el asfalto está compuesto por varios hidrocarburos (combinaciones moleculares de hidrógeno y carbono) y algunas trazas de azufre, oxígeno, nitrógeno y otros elementos. El asfalto, cuando es disuelto en un solvente como el heptano, puede separarse en dos partes principales: asfaltenos y maltenos.

Los asfaltenos no se disuelven en heptano. Los asfaltenos, una vez separados de los maltenos, son usualmente de color negro o pardo oscuro y se parecen al polvo grueso de grafito. Los asfaltenos le dan al asfalto su color y dureza.

Los maltenos se disuelven en el heptano. Son líquidos viscosos compuestos de resinas y aceites. Las resinas son, por lo general, líquidos pesados de color ámbar o pardo oscuro, mientras que los aceites son de color más claro. Las resinas proporcionan las cualidades adhesivas (pegajosidad) en el asfalto, mientras que los aceites actúan como un medio de transporte para los asfaltenos y las resinas. La proporción de asfaltenos y maltenos en el asfalto puede variar debido a un sinnúmero de factores, incluyendo altas temperaturas, exposición a la luz y al oxígeno, tipo de agregado usado en la mezcla del pavimento, y espesor de la película de asfalto en las partículas de agregado. Las reacciones y cambios que pueden ocurrir incluyen: evaporación de los compuestos más volátiles, oxidación (combinación de moléculas de hidrocarburo con moléculas de oxígeno), polimerización (combinación de dos o más moléculas para formar una sola molécula más pesada), y otros cambios químicos que pueden afectar considerablemente las propiedades del asfalto. Las resinas se convierten gradualmente en asfaltenos, durante estas reacciones, y los aceites se convierten en resinas, ocasionando así un aumento en la viscosidad del asfalto.

• Propiedades Físicas del Asfalto

Las propiedades físicas del asfalto, de mayor importancia para el diseño, construcción, y mantenimiento de carreteras son: durabilidad, adhesión, susceptibilidad a la temperatura, envejecimiento y endurecimiento.

Durabilidad

Durabilidad es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento. Es una propiedad juzgada principalmente a través del comportamiento del pavimento, y por consiguiente es difícil de definir solamente en términos de las propiedades del asfalto. Esto se debe a que el comportamiento del pavimento está afectado por el diseño de la mezcla, las características del agregado, la mano de obra en la construcción, y otras variables, que incluyen la misma durabilidad del asfalto.

Sin embargo, existen pruebas rutinarias usadas para evaluar la durabilidad del asfalto. Estas son la Prueba de Película Delgada en Horno (TFO) y la Prueba de Película Delgada en Romo Rotatorio (RTFO). Ambas incluyen el calentamiento de películas delgadas de asfalto, y serán discutidas más adelante en esta sección.

Adhesión y Cohesión

Adhesión es la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación. Cohesión es la capacidad del asfalto de mantener firmemente, en su puesto, las partículas de agregado en el pavimento terminado.

El ensayo de ductilidad no mide directamente la adhesión o la cohesión; mas bien, examina una propiedad del asfalto considerada por algunos como relacionada con la adhesión y la cohesión. En consecuencia, el ensayo es del tipo "califica-no califica", y solo puede indicar si la muestra es, o no, lo suficiente dúctil para cumplir con los requisitos mínimos.

Susceptibilidad térmica

Todos los asfaltos son termoplásticos; esto es, se vuelven mas duros (mas viscosos) a medida que su temperatura disminuye, y mas blandos (menos viscosos) a medida que su temperatura aumenta. Esta característica se conoce como susceptibilidad a la temperatura, y es una de las propiedades mas valiosas en un asfalto. La susceptibilidad a la temperatura varia entre asfaltos de petróleos de diferente origen, aún si los asfaltos tienen el mismo grado de consistencia.

Es muy importante conocer la susceptibilidad a la temperatura del asfalto que va a ser utilizado pues ella indica la temperatura adecuada a la cual se debe mezclar el asfalto con el agregado, y la temperatura a la cual se debe compactar la mezcla sobre la base de la carretera.

El endurecimiento del asfalto continua en el pavimento después de la construcción. Una vez mas, las causas principales son la oxidación y la polimerización. Estos procesos pueden ser retardados si se mantiene, en el pavimento terminado, una cantidad pequeña de vacíos (de aire) interconectados, junto con una capa gruesa de asfalto cubriendo las partículas de agregado.

• Pruebas para Determinar las Propiedades del Cemento Asfáltico

Se describe a continuación, en términos generales, las pruebas necesarias para determinar y medir las siguientes propiedades: viscosidad, penetración, punto de inflamación, endurecimiento y envejecimiento, ductilidad, solubilidad y peso especifico.

Viscosidad

Las especificaciones de los trabajos de pavimentación requieren, generalmente, ciertos valores de viscosidad a temperaturas de 60°C y 135°C. La viscosidad a 60°C es la viscosidad usada para clasificar el cemento asfáltico. Ella representa la viscosidad del cemento asfáltico a la temperatura mas alta que el pavimento puede llegar a experimentar durante su servicio. La viscosidad a 135°C corresponde, aproximadamente, a la viscosidad del asfalto durante el mezclado y la colocación. El conocer la consistencia de un asfalto dado a estas dos temperaturas ayuda a determinar si el asfalto es apropiado o no para el pavimento que esta siendo diseñado.

Penetración

El ensayo de penetración es otra medida de consistencia. La prueba esta incluida en las especificaciones basadas en viscosidad para impedir que sean usados los cementos asfálticos que tengan valores inapropiados de penetración a 25°C.

La prueba normal de penetración consiste, como primera medida, en estabilizar una muestra de cemento asfáltico a una temperatura de 25°C (77°F) en un baño de agua con temperatura controlada. Seguidamente, una aguja de dimensiones prescritas se coloca sobre la superficie de la muestra bajo una carga de 100 gramos y por un tiempo exacto de 5 segundos. La distancia que la aguja penetra en el cemento asfáltico es registrada en unidades de 0.1 mm. La cantidad de estas unidades es llamada la "penetración" de la muestra.

Punto de inflamación

El punto de inflamación de un cemento asfáltico es la temperatura mas baja a la cual se separan materiales volátiles de la muestra, y crean un "destello" en presencia de una llama abierta. El

punto de inflamación no debe ser confundido con el punto de combustión, el cual es la temperatura mas baja a la cual el cemento asfáltico se inflama y se quema. El punto de inflamación consiste, tan solo, en la combustión instantánea de las fracciones volátiles que se están separando del asfalto.

El punto de inflamación de un cemento asfáltico se determina para identificar la temperatura máxima a la cual este puede ser manejado y almacenado sin peligro de que se inflame. Esta información es muy importante debido a que el cemento asfáltico es generalmente calentado en su almacenaje con el fin de mantener una viscosidad lo suficiente baja para que el material pueda ser bombeado.

Prueba de Película Delgada en Horno (TFO) y Prueba de Película Delgada en Horno Rotatorio (RTFO)

Estas pruebas no son verdaderas pruebas. Solamente son procedimientos que exponen una muestra de asfalto a unas condiciones que aproximan las ocurridas durante las operaciones de plantas de mezclado en caliente. Las pruebas de viscosidad y penetración, efectuadas sobre las muestras obtenidas después de los ensayos de TFO o RThO, son usadas para medir el endurecimiento anticipado, del material, durante la construcción y durante el servicio del pavimento.

Ductilidad

La ductilidad es una medida de cuanto puede ser estirada una muestra de asfalto antes de que se rompa en dos. La ductilidad es medida mediante una prueba de "extensión", en donde una probeta de cemento asfáltico es extendida o estirada a una velocidad y una temperatura específica . El estiramiento continua hasta que el hilo de cemento asfáltico se rompa. La longitud del hilo de material en el momento del corte se mide en centímetros y se denomina ductilidad de la muestra.

Solubilidad

El ensayo de solubilidad es un procedimiento para medir la pureza de un cemento asfáltico. Una muestra es sumergida en un solvente (tricloroetileno) en donde se disuelven sus componentes cementantes activos. Las impurezas como las sales, el carbono libre, y los contaminantes inorgánicos, no se disuelven sino que se depositan en forma de partícula. Estas impurezas insolubles son luego filtradas fuera de la solución y medidas como una proporción de la muestra original.

Peso Especifico

El peso especifico es la proporción del peso de cualquier volumen de material al peso de un volumen igual de agua, ambos a una temperatura determinada. Como ejemplo, una sustancia con un peso especifico de 1.6 pesa 1.6 veces mas que el agua.

El peso especifico de un cemento asfáltico no se indica, normalmente, en las especificaciones de la obra. De todas maneras, hay dos razones importantes por las cuales se debe conocer el peso especifico del cemento asfáltico usado:

- El asfalto se expande cuando es calentado y se contrae cuando es enfriado. Esto significa que el volumen dado de una cierta cantidad de cemento asfáltico será mayor a altas temperaturas. Las medidas de peso especifico proveen un patrón para efectuar correcciones de temperatura-volumen, las cuales serán discutidas mas adelante.
- El peso especifico de un asfalto es esencial en la determinación del porcentaje de vacíos (espacios de aire) de un pavimento compactado.

Ensayo de Oliensis

Esta prueba cualitativa, sirve para determinar si el asfalto ha sufrido un sobrecalentamiento en el proceso de obtención a través de la destilación del petróleo. Un asfalto "crackeado" o

sobrecalentado, tiene una vejez prematura y las mezclas elaboradas con ese material son de baja calidad.

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO EN CALIENTE

En los párrafos anteriores, se han analizado los materiales a utilizar, para la elaboración de mezclas en caliente. A continuación se describe el proceso de diseño y los ensayos asociados con el mismo.

Elección de los materiales

Granular: se buscará un agregado que cumpla con las características acordes a la mezcla a construir, en cuanto a su tamaño máximo, granulometría, forma y si es natural o triturado o una mezcla de ambos. La granulometría asociada con la compacidad del material, estará condicionada al tipo de mezcla a proyectar, la que podrá ser abierta (bases de concreto asfáltico) o cerrada (carpetas de rodamiento).

El tamaño máximo del agregado no deberá superar el tercio del espesor de la capa de estructura a construir. Cuando no se den especificaciones referidas a la granulometría, se podrá tomar como base la parábola de Fuller o una función modificada como la indicada en la figura Nº 4.

La elección del agregado a utilizar, dependerá también, de las fuentes de obtención de los mismos, las que deberán ser en lo posible, cercanas a la obra a ejecutar.

Asfalto: para la selección del material asfáltico, se deberá tener en cuenta fundamentalmente, el clima para el cual se diseña el pavimento. Así si el diseño está pensado para un clima frío, deberemos trabajar con un asfalto más "blando" que para una mezcla a construir en un clima cálido, citemos por ejemplo un cemento asfáltico 150 – 200 para el primer caso y un 50 – 60 para el segundo. Esta denominación corresponde a los asfaltos clasificados por penetración.

En caso de diseñar mezclas especiales, se deberá contemplar la posibilidad de utilizar asfaltos modificados, según la conveniencia del caso.

Agregado mineral o filler: según las características de la mezcla y la granulometría del agregado, se verá la conveniencia de incorporar o no relleno mineral a la mezcla. Para regular la cantidad de filler de una mezcla, se toma como base el ensayo "Determinación de la concentración crítica de rellenos minerales" indicado en la norma VN-E11/67 de la D.N.V.

Aditivos: según sea la naturaleza de la mezcla, se estudiará la conveniencia de incorporar aditivos en la misma, tales como mejoradores de adherencia, polímeros, fibras plásticas o de acero, etc.

ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUENCIA – METODO MARSHALL **(s/ Norma VN – E9 – 86)**

OBJETIVO

Determinar el contenido óptimo de asfalto, mediante la realización de los ensayos de estabilidad y fluencia, para una mezcla en caliente, utilizando cemento asfáltico como ligante y agregados de tamaño máximo 25 mm (1").

ESTABILIDAD MARSHALL

Es la carga máxima que soporta una probeta de concreto asfáltico, cuando se la carga diametralmente con una velocidad de 5.08 cm/min, en condiciones de temperatura preestablecida, teniendo una altura de 63.5 mm y un diámetro de 101.60 mm.

FLUENCIA MARSHALL

Es la deformación total que se produce en la probeta mencionada precedentemente, para la carga de falla (Estabilidad). Se mide en mm.

ELEMENTOS PARA EL ENSAYO

- Moldes de compactación
- Pisón de compactación manual o mecánico
- Tamices
- Balanzas
- Pedestal de compactación
- Bandejas y recipientes
- Baño de agua caliente
- Extractor de probetas
- Estufa
- Plancha de calentamiento
- Mordaza
- Comparador extensométrico
- Termómetros
- Prensa de ensayo
- Elemento varios.

Preparación de la muestra

Seleccionada la granulometría se determinan las proporciones en que los distintos agregados intervienen en la mezcla. La cantidad de agregado a utilizar variará entre 1000 y 1300 gr, dependiendo de la granulometría y peso específico del agregado a usar.

Elaboración de la mezcla

Los agregados se llevan a estufa para calentarlos a una temperatura 15 °C por encima de la indicada para el cemento asfáltico a utilizar, se los mantiene a esa temperatura por espacio de 2 horas. Separadamente se calienta el cemento asfáltico hasta la temperatura indicada por el fabricante y en función de su rango de penetración.

Los agregados y el cemento asfáltico se mezclan rápidamente en un recipiente semi-esférico. Luego del mezclado se debe controlar la temperatura de la mezcla, de manera de verificar que la misma no sea inferior al límite exigido para el cemento asfáltico. De encontrarse en esta situación el pastón debe ser desechado.



Fig 5 Preparación del pastón



Fig 6 Mezclador mecánico



Fig 7 Pedestal de compactación

Moldeo de la probeta

La mezcla se colocará en el molde normalizado previamente calentado, se distribuye con una espátula nivelando luego la superficie del material. Se lleva el conjunto al pedestal de compactación y se compacta con 50 ó 75 golpes por cara con pisón normalizado, según lo indicado en la norma.

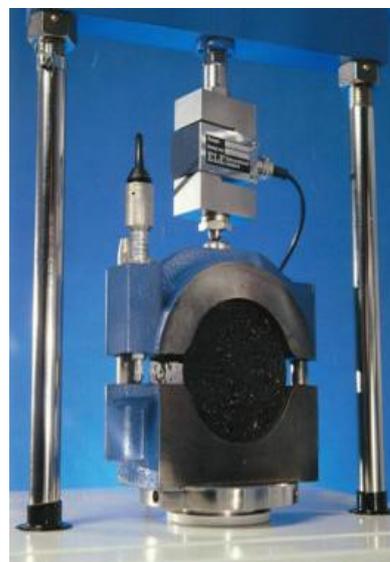
Compactada la probeta se extrae del molde y se deja sobre una superficie lisa y ventilada para ensayar recién al día siguiente.

EJECUCIÓN DEL ENSAYO

La probeta a ensayar, luego de haber determinado su altura y peso unitario (VN-E12-67) se coloca en una baño termostático a 60 °C durante 30 – 40 minutos. Se lleva la probeta a la prensa de ensayo.

Colocada en la prensa se aplica la carga a 50.8 mm/min hasta la falla de la probeta. Se lee en ese momento la deformación del flexímetro (fluencia) y la del aro dinamométrico.

Desde la extracción de la probeta del baño hasta la finalización del ensayo, no deben pasar más de 30 segundos.



PRENSA PARA ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUENCIA

El valor de la estabilidad estará dado por la siguiente expresión

$$\rightarrow \text{Estabilidad} = L_1 \times K_1 \times K_2$$

L_1 : lectura del dial

K_1 : factor de equivalencia del aro

K_2 : factor de corrección por altura

Mientras que la fluencia deberá leerse directamente la deformación acusada por el flexímetro colocado para tal fin

Se deberá realizar la corrección por altura, según lo indicado por la tabla II de la Norma VN-E9-86 (K_2)

Cálculos y gráficos

- Densidad máxima teórica de la mezcla

La densidad máxima teórica de la mezcla, se calculará con la realizará del ensayo Rice, contemplado en la norma VN-E27-84

- Vacíos de la mezcla compactada

Calculada en porcentaje del volumen total indica la diferencia relativa entre la densidad teórica y la real para el grado de compactación alcanzado. Indica la cantidad de vacíos de aire de la mezcla.

$$V = 100 (1 - d/DT)$$

d: peso unitario de la probeta

DT: densidad teórica máxima

- Vacíos del agregado mineral (VAM)

Indica el porcentaje total de vacíos alcanzado por la mezcla para ese estado de compactación. Incluye los vacíos ocupados por asfalto.

$$VAM = V + (d \times CA)$$

V: vacíos de la mezcla compactada

d: peso unitario de la probeta

CA: porcentaje de cemento asfáltico

- Relación Betún – Vacíos (RBV)

Expresa el porcentaje de los Vacíos del Agregado Mineral ocupados por asfalto en la mezcla compactada.

$$RBV = (100 \times d \times CA) / VAM$$

- Dispersión de resultados

Todos los valores calculados precedentemente, son producto del promedio de los resultados individuales obtenidos para una serie de probetas elaboradas con el mismo % de cemento asfáltico.

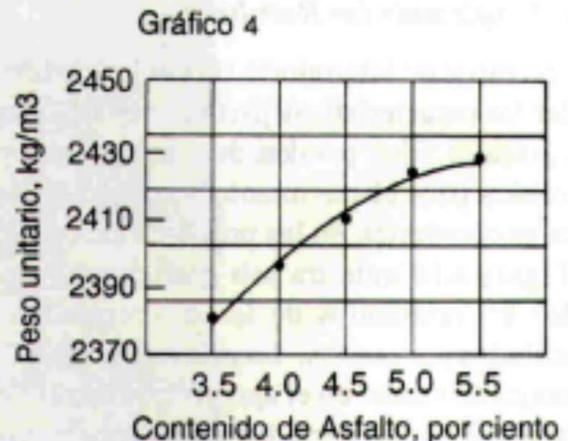
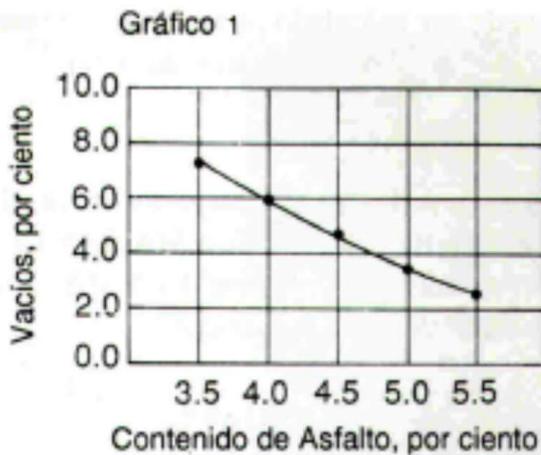
En un ensayo normal, la dispersión de los resultados individuales de cada probeta, deberá encontrarse dentro de los siguientes límites:

Estabilidad	+ 10%
Fluencia	+ 20%
Peso unitario de probeta de mezcla asfáltica compactada	+ 1%

Si alguno de los valores calculados, quedan fuera de la tolerancia, debe ser descartado, calculando los promedios con los valores restantes.

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y OBTENCIÓN DEL PORCENTAJE OPTIMO DE LIGANTE

Con los valores medios de estabilidad, deformación, densidad relativa y contenido de vacíos en función de los distintos contenidos de cemento asfáltico, se confeccionan los siguientes gráficos:



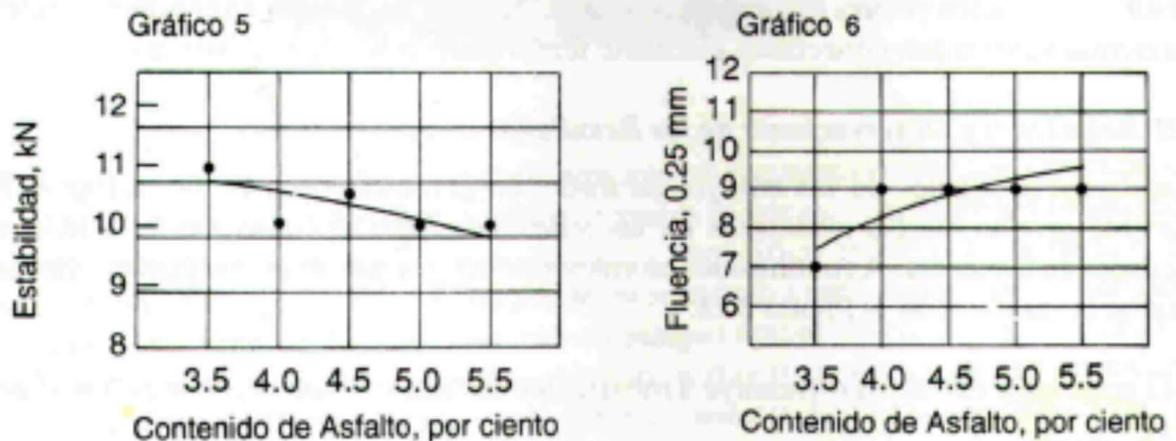


Figura Nº 8 – Graficación de los resultados de los ensayos

El criterio a seguir para la determinación del contenido óptimo de ligante, sería el de tomar los porcentajes que corresponden a la máxima estabilidad y a la especificación de VAM para la mezcla y promediar los correspondientes valores.

$$\% \text{ CA op} = (\% \text{ CA (Estab máx.)} + \% \text{ CA (VAM espec)}) / 2$$

Con este porcentaje de ligante se deberán confeccionar nuevas probetas y realizar nuevamente los ensayos a los efectos de verificar que se cumplan con todos los parámetros especificados para la mezcla.

Se deberá controlar además la relación VAM en función del tamaño máximo nominal según lo indicado en la norma, definiendo al tamaño máximo nominal como el número del tamiz menor a través del cual puede pasar el 100 % del agregado pétreo empleado en la mezcla.

Pérdida de la estabilidad Marshall por efecto del agua

- **Estabilidad residual (Ensayo según norma VN-E-32-67)**

Objetivo

Con este procedimiento se determinará la pérdida de estabilidad de las probetas de concreto asfáltico por efecto del agua. Se compararán las estabilidades obtenidas con probetas ensayadas con el procedimiento normal, con los valores resultantes de probetas sumergidas 24 hs en agua antes de ser ensayadas

Se deberá cumplir que

$$E_{\text{sum}} \geq 75 \% E_{\text{nom}}$$

en donde:

E_{sum} = estabilidad de las probetas ensayadas luego de ser sumergidas

E_{nom} = estabilidad de las probetas ensayadas al aire

Cuando esta condición no se cumple, estamos en presencia de una mezcla cuyos agregados son muy afines al agua. En consecuencia se deberán estudiar nuevamente los mismos o colocar algún tipo de aditivo a la mezcla.

Bibliografía

- Asphalt Institute, *Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente*, Serie de Manuales N° 22 (MS-22), USA, versión posterior al año 1992.
- *Normas de Ensayo de la Dirección Nacional de Vialidad*.
- Instituto del Asfalto de los Estados Unidos de Norteamérica, *Tecnología del Asfalto y Prácticas de Construcción*, Buenos Aires, 1985.