

---

---

***CAPITULO III***

***DISEÑO DE LA MEZCLA***

---

---

### **3. DISEÑO DE MEZCLAS**

#### **3.1 Generalidades**

En una mezcla asfáltica en caliente de pavimentación, el asfalto y el agregado son combinados en proporciones exactas. Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla, eventualmente, el desempeño de la misma como pavimento terminado. Existen varios métodos de diseño comúnmente utilizados para determinar las proporciones apropiadas de agregado y asfalto en una mezcla, en este trabajo nos enfocaremos al método Marshall.

Método Marshall.- El propósito del método marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento. El método marshall, como se presenta en esta sección, solo se aplica a mezclas asfálticas ( en caliente) de pavimentación que utilizan cemento asfáltico clasificado con viscosidad o penetración, y que contienen agregados con tamaños máximos de 25.0 mm. o menos. El método puede ser usado para el diseño en laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas (en caliente) de penetración.

### **3.2 Características y Comportamiento de la Mezcla**

Una muestra de mezcla asfáltica de pavimentación preparada en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis está enfocado hacia cuatro características de la mezcla, y la influencia que estas pueden tener en el comportamiento de la mezcla. Las cuatro características son:

- Densidad de la mezcla
- Vacíos de aire, o simplemente vacíos
- Vacíos en el agregado mineral
- Contenido de asfalto

Densidad.- La densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario ( el peso de un volumen específico de mezcla). La densidad es una característica muy importante para el supervisor, debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero.

En las pruebas y el análisis de diseño de mezclas, la densidad de la muestra compactada se expresa, generalmente, en kilogramos por metro cúbico (  $\text{kg/m}^3$  ) o libras por pie cúbico (  $\text{lb/ft}^3$  ). La densidad es calculada al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua (  $1000 \text{ kg/m}^3$  o  $62.416 \text{ lb/ft}^3$  ). La densidad obtenida en el laboratorio se convierte en 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 muy rara vez la compactación in situ logra las densidades que se obtienen usando los métodos normalizados de compactación de laboratorio.

Vacíos de Aire.- Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, que esta 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 a donde pueda fluir el asfalto durante esta 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 mas alta la densidad, menor 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 (8%).

Vacíos del Agregado Mineral.- Los vacíos en el agregado mineral ( VAM) 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 VAM representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto ( todo el asfalto menos porción que se pierde, por absorción, en el agregado) y el volumen de vacíos necesario en la mezcla. Cuando mayor sea el VAM, mas espacio habrá disponible para las películas de asfalto. Existen valores mínimos para VAM los cuales están recomendados y especificados como función del tamaño del agregado. Estos valores se basan en el hecho de que cuanto mas gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, mas durable será la mezcla.

Para que pueda lograrse un espesor durable de película de asfalto, se deben tener valores mínimos de VAM. Un aumento en la densidad de la graduación del agregado, hasta el punto donde se obtengan valores de VAM 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 VAM para economizar en 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 óptimo de asfalto de una mezcla, en gran parte, de las características del agregado, tales como la granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría del agregado está directamente relacionado con el contenido óptimo del asfalto. Entre mas finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total, y mayor será la cantidad de asfalto requerido para cubrir, uniformemente, todas las partículas. Por otro lado, las mezclas mas gruesas ( agregados mas grandes) exigen menos asfaltos debido a que poseen menos área superficial total.

El contenido total de asfalto es la cantidad de asfalto que se debe adicionar 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 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.

### **3.3 Propiedades Consideradas en el Diseño de Mezclas**

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 del pavimento de mezclas en caliente estas incluyen la: estabilidad, la durabilidad, la impermeabilidad, la trabajabilidad, la flexibilidad, la resistencia a la fatiga y la resistencia al deslizamiento.

El objetivo principal de procedimiento de diseño de mezcla es el de garantizar que la mezcla de pavimentación posea cada una de estas propiedades.

Estabilidad.- La estabilidad de un asfalto es su capacidad para resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas de tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma bajo las cargas repetitivas. Las especificaciones de estabilidad deben ser lo suficiente altas para soportar adecuadamente el tránsito esperado, pero no mas altas de lo que exigen 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) esta relacionada con las 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 una respecto a otra debido a las fuerzas ejercidas por el tráfico. En términos generales entre más angular sea la forma de las partículas del agregado y más áspera sea su textura superficial, mas alta será la estabilidad de la mezcla en la tabla No. 1 podemos ver las causas y efectos de una estabilidad baja.

**ESTABILIDAD BAJA**

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

**Tabla No. 1.- Causas y Efectos de la Baja Estabilidad**

Durabilidad.- La durabilidad de un pavimento asfáltico es su habilidad para resistir 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, en la tabla No. 2 nos muestra las causas y efectos de la durabilidad de un pavimento.

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 falla de compactación	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración.
Agregados susceptibles al agua (hidrofilicos)	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado, o desintegrado

**Tabla No. 2.- Causas y Efectos de la Durabilidad de un Pavimento**

Impermeabilidad.- La impermeabilidad de un pavimento asfáltico es la resistencia al paso del aire y agua hacia su interior, o a través de él. Esta característica esta 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 mas importante que su cantidad. El grado de impermeabilidad esta determinado por el tamaño de

los vacíos, sin importar si esta o no conectados y por el exceso que tienen a la superficie del pavimento, en la tabla No. 3 podemos observar las causas y efectos de una mezcla demasiado permeable.

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 aceptado siempre y cuando la permeabilidad este dentro de los límites especificados.

**MEZCLA DEMASIADO PERMEABLE**

Causas	Efectos
Bajo contenido de asfalto	Las películas delgadas de asfalto causaran, 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	Resultara en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a infiltración de agua y poca estabilidad

**Tabla No. 3.- Causas y Efectos de Impermeabilidad**



Trabajabilidad.- La trabajabilidad esta descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada. Cuando la trabajabilidad es mala puede ser mejorada modificando los parámetros del diseño de la mezcla, el tipo de agregado, y/o la granulometría, en la tabla No. 4 se observa las causas y efectos de la mala trabajabilidad.

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.

**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 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 No. 4.- Causas y Efectos de la Mala Trabajabilidad**

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, mas flexible que una mezcla densamente graduada de bajo contenido de asfalto.

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 falla 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 como podemos ver en la tabla No. 5 las causas y efectos que originan la mala 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.

MALA RESISTENCIA A LA FATIGA

Causas	Efectos
Bajo contenido de asfalto	Agrietamiento por fatiga
Vacios altos de diseño	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga
Falla de compactación	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga
Espesor inadecuado de pavimento	Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga

**Tabla No. 5.- Causas y Efectos de la Mala Resistencia a la Fatiga**

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 una velocidad de 65 km/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 graduación abierta y con tamaño máximo de 9.5 mm. A 12.5 mm. 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, en la tabla No. 6 se observa las causas y efectos de la poca resistencia al deslizamiento.

#### POCA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO

Causas	Efectos
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 No. 6.- Causas y Efectos a la Poca Resistencia al Deslizamiento**



### **3.4 Proceso de Elaboración de la Mezcla**

El proceso de la elaboración de la mezcla en planta se lleva de la siguiente manera:

- Calentamiento de cemento asfáltico a una temperatura de 135° C por medio de sistema de caldera con aceite térmico ya incorporado el aditivo en una proporción del 1.5%
- Incorporación de materiales pétreos a las tolvas de alimentación ( sello y arena ) calibradas según diseño de la mezcla 70% sello y 30% arena.
- Se introducen al tambor a una temperatura aproximada de 350° C
- Se inyecta asfalto alrededor de 5.7% (95lts/m<sup>3</sup>) con los materiales pétreos homogenizados y dosificados.
- Se deposita a la fosa de almacenamiento
- Se verifica la calidad del concreto asfáltico
- Carga del material de concreto asfáltico a los camiones transportadores por medio de un cargador frontal
- Estando seca la carpeta se eliminan todas las materias extrañas que puedan afectar la adherencia entre las capas
- Posteriormente en todo el ancho de la corona se aplicará un riego de liga con emulsión catiónica a razón de 0.7 lts/m<sup>3</sup>
- Se construye una microcarpeta de 2.5cm. de espesor, compactada al 95 % de su peso volumétrico seco máximo, determinado en el laboratorio con el método establecido para el efecto.

### **3.5 Evaluación y Ajuste en el diseño de la mezcla de acuerdo al contenido de vacíos**

**\* Bajo Contenido de Vacíos , Baja Estabilidad:**

El nivel de vacíos puede aumentarse de varias maneras. Una de ellas consiste en aumentar el VAM mediante la adición de agregado grueso o agregado fino.

El aumento de VAM proporciona mas 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 limite 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 VAM 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 período 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 contenido 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.

**\* 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.