

7.1 Carpetas Asfálticas

7.1.1.- Características de los materiales pétreos

La carpeta asfáltica es la capa superior de un pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento para los vehículos y que se elabora con materiales pétreos y productos asfálticos.

Los materiales pétreos para construir carpetas asfálticas son suelos inertes, provenientes de playones de ríos o arroyos, de depósitos naturales denominados minas o de rocas, los cuales, por lo general requieren cribado y triturado para utilizarse.

Las características más importantes que deben tener a satisfacción los materiales pétreos para carpetas asfálticas son granulometría, dureza, forma de la partícula y adherencia con el asfalto. La granulometría es de mucha importancia y debe satisfacer las normas correspondientes, pues como los materiales se cubren por completo con el asfalto, si la granulometría cambia, también cambia la superficie a cubrir. Ya que la superficie por revestir resulta afectada al aumentar o disminuir los finos que cuando hay cambio en las partículas gruesas, las especificaciones toleran más los cambios en éstas que en aquéllos. Al estudiar cada tipo de carpeta asfáltica, se mencionarán las granulometrías necesarias y las tolerancias correspondientes.

Contenido óptimo de asfalto

El contenido óptimo de asfalto para una carpeta es la cantidad de asfalto que forma una membrana alrededor de las partículas, del espesor suficiente para resistir los elementos del interperismo y que así el asfalto no se oxide con rapidez, pero que no sea tan gruesa como para que la mezcla pierda estabilidad o resistencia y no soporte las cargas de los vehículos.

Es conveniente que las partículas tengan la forma más cúbica posible, por lo que no deben utilizarse materiales que contengan una cantidad grande de partículas en forma de lascas o de aguja, pues tienden a romperse con facilidad y así cambia la granulometría.

La dureza se puede conocer por medio de las pruebas de densidad y de desgaste; si el material tiene o no buena adherencia se conoce al efectuar las pruebas de desprendimiento por fricción, de pérdida por estabilidad por inmersión en agua y la prueba inglesa. Si esta característica de los pétreos no es aceptable, se puede utilizar un producto, el más eficaz y económico de los muchos que existen en el mercado, para cambiar la tensión superficial de los pétreos.

7.1.2.- Diferentes tipos de carpetas asfálticas

Las carpetas asfálticas empleadas en los pavimentos flexibles se pueden clasificar así:

- | | | |
|-------------------------------|---|-------------------------------------|
| a) Tratamientos superficiales | } | Simple o de un riego |
| | | Doble o de dos riegos |
| | | Triple o de tres riegos. |
| b) Macadam asfáltico | | |
| c) Mezcla en el lugar | } | Elaborado con motoconformadora |
| | | Elaborada con mezcladora ambulante. |
| d) Mezcla en planta | | Dosificada por volumen |

Antes de explicar en qué consiste cada una de las carpetas asfálticas ya indicadas, es necesario hacer notar que para construir cualquiera de ellas, se debe contar de antemano con una Base debidamente conformada, compactada, impregnada y seca.

El riego de impregnación consiste en lo siguiente: Se procede a barrer la Base, para retirarle el material suelto y el exceso de polvo de la superficie. Inmediatamente se le dá un riego de producto asfáltico de fraguado medio a razón de 1.5 litros por metro cuadrado, esperando unos dos días para que penetre y seque. El número del fraguado medio a emplear depende de la textura de la base.

En términos generales se puede decir que es aconsejable emplear el FM-2 en bases de textura abierta, el FM-1 en las medias y el FM-0 en las cerradas.

7.1.3.- Tratamiento superficial simple

Sobre la base de pavimento ya conformada, compacta, impregnada y seca se da un riego de producto asfáltico del tipo FR-3 a razón de 1.5 a dos litros por metro cuadrado e inmediatamente se cubre con material pétreo número 3A (clasificado entre las mallas de 3/8" a # 8) a razón de 6 a 8 litros por metro cuadrado; se rastrea para uniformar la superficie y se plancha con plancha liviana de 5 a 8 Ton. pudiendo abrirse al tránsito unos días después, debiendo barrerse de la superficie el material pétreo sobrante para evitar que vaya a ayudar a formar ondulaciones en la carpeta. Esta carpeta asfáltica es aconsejable para tránsito inferior a 200 vehículos por día. En zonas de alta precipitación pluvial, conviene mejor colocar un tratamiento superficial doble como se indica a continuación, para mayor eficiencia y duración del pavimento. Si se emplea

emulsión asfáltica puede emplearse, de 1.3 a 1.4 lts. por metro cuadrado y de 10 a 12 lts/m² de material pétreo 3A ó 3E. Una secuencia fotográfica del tratamiento superficial simple se puede ver en la página siguiente. Si se desea usar un mortero asfáltico como tratamiento superficial puede hacerse con arena 100%, emulsión 12 a 15%, agua 15 a 18% y filler de 1 a 3%. El filler puede ser cal o cemento.

7.1.4.- Tratamiento superficial doble

Sobre la base de pavimento ya conformada, impregnada y seca, se da un riego de producto asfáltico tipo FR-3 a razón de dos litros por metro cuadrado e inmediatamente se cubre con material pétreo número dos (clasificado entre las mallas de 1/2" y 1/4") a razón de unos 12 a 14 litros por metro cuadrado, se rastrea y se plancha con aplanadora liviana de 5 a 8 Tm de peso. Dos o tres días después se barre y se le da un nuevo riego de producto asfáltico tipo FR-3 a razón de 1.5 a 2 litros por metro cuadrado y se cubre inmediatamente con material pétreo #3B (clasificado entre las mallas de 1/4" y # 8), se rastrea para uniformar la superficie, y se plancha con aplanadora pequeña de 5 a 8 Tm de peso. Tres días después puede abrirse el tránsito. Posteriormente debe retirarse el material pétreo sobrante. Este tipo de carpeta asfáltica es aconsejable para un tránsito inferior a 600 vehículos por día. Si se emplea emulsión asfáltica puede usarse en el primer riego la cantidad de 1.2 lts/m² cubriéndolos con 12 lts de material pétreo # 2 y en el segundo riego usar 1.5 lts/m² de emulsión cubriéndola con 7 lts/m² de material pétreo 3B.

7.1.5.- Tratamiento superficial triple

La carpeta asfáltica formada por tres riegos se construye de la siguiente manera:

Sobre la base de pavimento conformada, compactada, impregnada y seca se da un riego de producto asfáltico del tipo FR-3 a razón de 2.5 litros por metro cuadrado e inmediatamente se cubre con material pétreo número 1 (clasificado entre las mallas 1" y 2/2") a razón de 20 a 22 litros por metro cuadrado, se rastrea y se plancha con aplanadora pequeña de 5 a 8 Tm de peso. Dos o tres días después se barre el material pétreo sobrante y se coloca una carpeta de dos riegos sobre ésta, quedando así terminada la carpeta de tres riegos. Esta carpeta asfáltica admite perfectamente bien los 1,000 vehículos por día.

7.1.6.- Macadam asfáltico

El macadam asfáltico o de penetración es una carpeta asfáltica que consiste de capas sucesivas de piedras progresivamente más pequeñas de abajo hacia arriba, limpias y angulosas. Cada capa se extiende y se acuña mediante compactación por vibración después de lo cual se baña con producto asfáltico.

Es necesario contar con una buena base ya que siendo el macadam asfáltico una carpeta que presenta gran porcentaje de vacíos, principalmente en la parte inferior de la capa, si la base se

reblandece, el paso constante de los vehículos obligará a que la base se incruste en la carpeta provocándose una deformación perjudicial.

El orden de las operaciones de construcción es el siguiente:

Encontrándose la base debidamente compactada, impregnada, limpia y seca se da la primera aplicación de agregado grueso con un esparcidor o con una tolva esparcidora adaptada a un camión de volteo. Esta capa se compacta con aplanadora de 10 a 12 Tm de peso o preferentemente con un vibrador, para acomodar el agregado en su sitio. Estando compactada esta capa, se le da una aplicación de producto asfáltico. Viene la segunda aplicación de agregados de tamaños menores y en menor cantidad esparcido uniformemente para llenar los huecos dejados en la primera capa. Deben emplearse rastras para ayudar a distribuir este agregado de cierre. Sigue inmediatamente la compactación con aplanadora de 10 a 12 Tm de peso según vibrador, mientras el asfalto está todavía caliente para lograr así una mejor unión. Se da entonces la nueva aplicación del mismo producto asfáltico aplicado en menor cantidad y de inmediato una cantidad y tamaño aún menor de agregado de cierre que actúa como riego de sello. Se da luego una combinación de rastra y compactación con el fin de llenar los huecos y tener una textura uniforme. El primer material pétreo empleado se conoce como material grueso, el segundo como material de encaje, y el tercero como material fino. Se han descrito con anterioridad tres pasadas que es el número corriente, pero pueden ser cuatro o más. El producto asfáltico empleado es generalmente el FR-3, entre 65 °C y 95 °C, pero puede emplearse cualquier tipo según el clima. El agregado grueso del tamaño retenido en la malla de 1-1/8" no contendrá más del 5% de cantos planos o alargados cuya longitud exceda de tres veces su dimensión menor. La graduación del material debe estar de acuerdo con la siguiente tabla:

% en peso del material que pasa las mallas:			
Malla	Material grueso	Material de encaje	Material fino
2-1/4"	100		
2"	90 - 100		
1-1/2"	30 - 55		
1-1/4"	0 - 15		
1"	0 - 5		
3/4"		100	
5/8"		90 - 100	100
1/2"		40 - 70	90 - 100
3/8"		0 - 15	30 - 50
4		0 - 5	0 - 8
10			0 - 3

Las cantidades de materiales a emplear pueden ser las siguientes:

Agregado grueso	100 kg/m ²
Producto asfáltico FR-3	3.5 a 5 lts/m ²
Agregado de encaje	20 kg/m ²
Producto asfáltico FR-3	1.5 a 2.0 lts/m ²
Agregado fino	10 kg/m ²

Las cantidades anteriores son aproximadas, dependiendo de los huecos de la superficie, de la porosidad del agregado pétreo y de su peso volumétrico.

7.1.7.- Mezcla en el lugar

La mezcla asfáltica en el lugar o en el camino se lleva a cabo revolviendo los agregados pétreos con el producto asfáltico mediante el uso de motoconformadoras o empleando mezcladoras ambulantes. El procedimiento a seguir es el siguiente:

Estando la base conformada, compactada, impregnada y seca, se acordonará el material pétreo (que con anterioridad haya sido aprobado por un laboratorio por cumplir con las especificaciones de desgaste, granulometría, adherencia, etc.) y después se extenderá en una capa de espesor uniforme a lo largo del camino y se darán riegos sucesivos de producto asfáltico a razón de 3 a 4 litros por metro cuadrado hasta completar la cantidad determinada como óptima por medio de pruebas de laboratorio. Se puede agregar el asfalto un aditivo a razón de 0.5 al millar para darle trabajabilidad aun a temperatura baja de la mezcla (10°C).

Después de cada riego de producto asfáltico sobre el material pétreo, se procederá a voltear éste con la motoconformadora con el objeto de que se mezcle bien el producto asfáltico con el material pétreo Foto No. 7.1.1. Al final del mezclado el material debe presentar un aspecto uniforme en cuanto a granulometría y color. Al terminar el proceso del mezclado, se acordona el material a un lado, se da a la base un riego de liga de 0.5 litros por metro cuadrado de FR-3, e inmediatamente se tiende la mezcla sobre el riego de liga, se conforma cuidadosamente y se le da una planchada ligera para acomodarla simplemente, después de lo cual se deja pasar el tiempo necesario para que el producto asfáltico alcance la mayor parte de su fraguado procediendo después a su compactación. La pérdida de solventes necesaria para que la mezcla pueda ser empezada a compactar debe ser determinada por un laboratorio. Cuando se usen mezcladoras ambulantes, el material pétreo se acordonará a lo largo del camino para que pueda ser recogido por la mezcladora dentro de la cual se le adicionará y revolverá la cantidad de producto asfáltico necesaria. Estando la mezcla bien resuelta en la máquina, se da a la base el riego de liga de 0.5 litros de FR-3 por metro cuadrado y se procede al tendido conformado y planchado como ya se indicó con anterioridad.

Terminada la carpeta asfáltica, si su índice de permeabilidad es mayor de 10, debe dársele un riego de sello. El riego de sello consiste en darle a la carpeta asfáltica un riego de FR-3 a razón de 1.0 litro por metro cuadrado y cubrirlo inmediatamente con material # 3B (clasificado entre las mallas de 1/4" y # 8) el cual se plancha con plancha liviana.



Foto No. 7.1.1 Motoconformadora mezclando el material pétreo con el producto asfáltico

7.1.8.- Mezcla en Planta

Los procedimientos específicos que se describen aquí tienen el propósito principal de ser aplicables a la construcción de carpetas, aun cuando estos mismos procedimientos sean también, en general, aplicables a la construcción de capas de base y niveladoras. Los pasos fundamentales en la construcción de una carpeta asfáltica de alta calidad, se pueden listar como sigue:

- 1.- Preparación de la mezcla.
- 2.- Preparación de la capa de base o de la capa niveladora.
- 3.- Transporte y tendido de la mezcla para carpeta.
- 4.- Juntas.
- 5.- Compactación y acabado final.

Las plantas dosificadoras que son típicas en la preparación de mezclas para carpetas asfálticas de alta calidad, pueden ser de tipo continuo o de mezclas por peso. La Fig. No. 7.1.2 muestra el diagrama de flujo de una planta de mezclado continuo. La unidad de graduación mostrada es un elemento de cuatro tolvas, dispuestas para cuatro tamaños de agregado. Este es un tipo más viejo de planta continua que utiliza un molino mezclador como el paso final en el proceso de mezclado. Estas unidades se usan cada vez menos ya

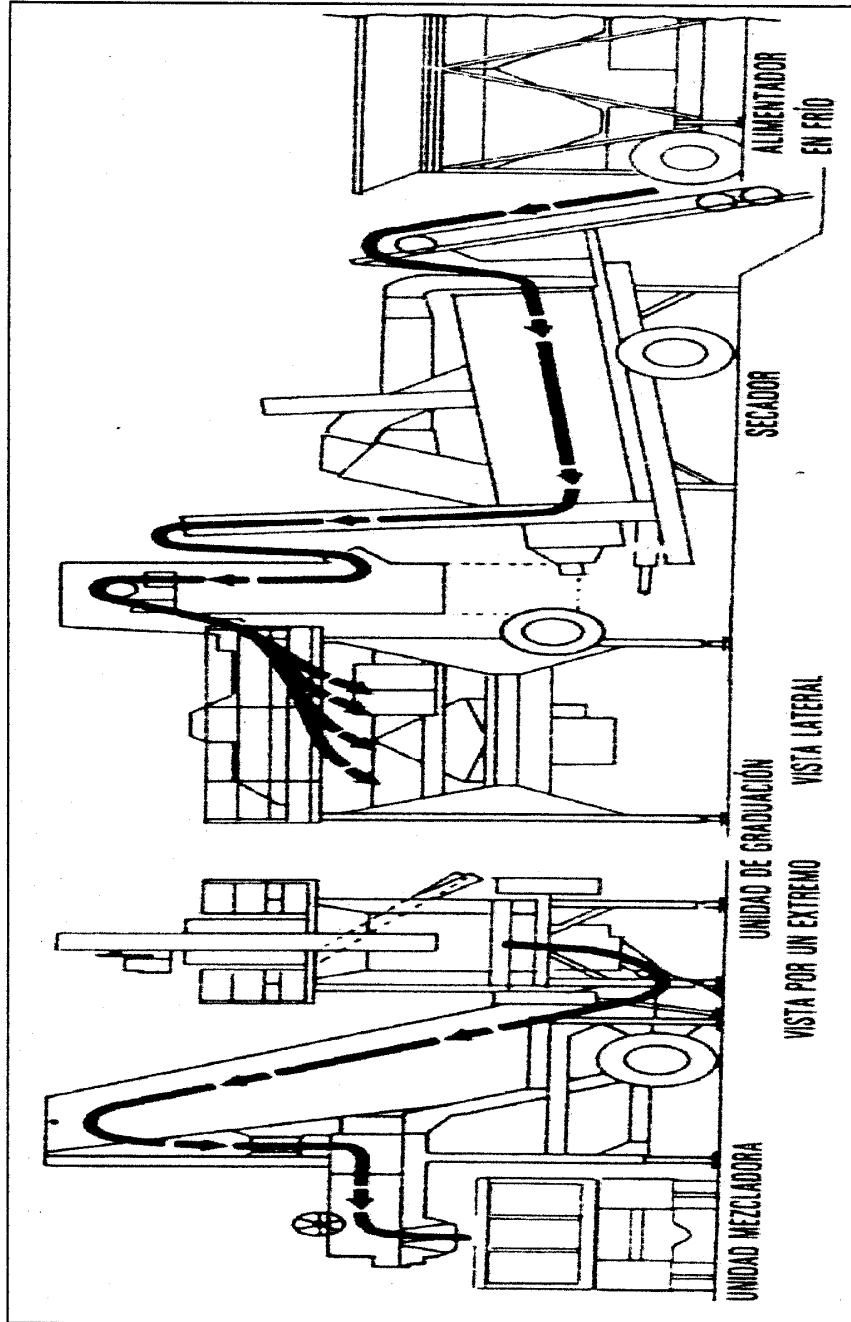


Fig. No.7.1.2 Diagrama de flujo de una planta de mezclado

que las plantas son cilindro secador que tienen mayor aceptación.

La operación de la planta, como algunas producidas por otros fabricantes, es semiautomática. Las plantas para mezclas por peso se usan ampliamente para la producción de asfalto; sin embargo, al igual que los modelos más antiguos de plantas continuas, las plantas para mezclas por peso se usan cada vez menos porque se prefieren las plantas con cilindro secador. En la Figuras. No. 7.1.3 y 7.1.4 se muestra la fotografía de una planta de mezcla con cilindro secador y una planta de mezcla por peso.

Dos de las unidades que se incluyen con frecuencia en una planta para mezclado en caliente y que no se han mencionado con anterioridad son: el sistema colector de polvo y un dispositivo para alimentar el sellaporos mineral o "polvo" a la mezcla. Por lo general, el colector de polvo opera a un lado y en forma conjunta con el secador, lo que es necesario en muchos casos para que la planta opere eficientemente. El colector sirve para eliminar o disminuir el polvo perjudicial que existe alrededor de la planta y es de especial importancia en las plantas localizadas en los poblados o adyacentes a ellos. Los modernos sistemas colectores de polvo son muy eficaces; es frecuente que si el material fino colectado es de graduación uniforme, se retroalimente a la planta, a la entrada del elevador caliente. Muchas plantas urbanas, para cumplir con los requerimientos de control de la contaminación de aire, tienen sistemas de "lavado húmedo", en los cuales las descargas del colector de polvo entran a una torre y pasan a través de una serie de aspersores de agua que eliminan el polvo remanente.

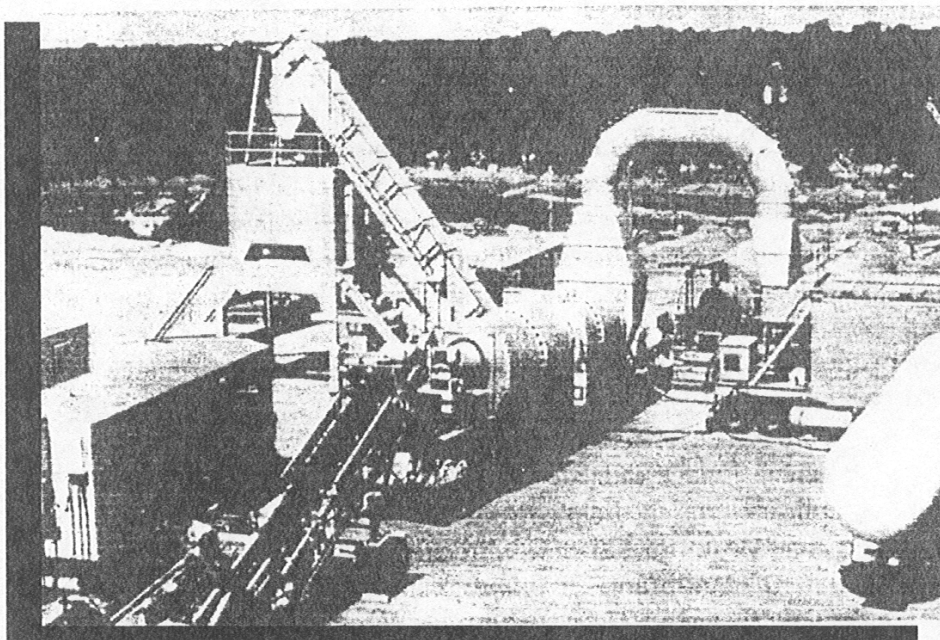


Foto No. 7.1.3 Planta Mezcladora con secador.

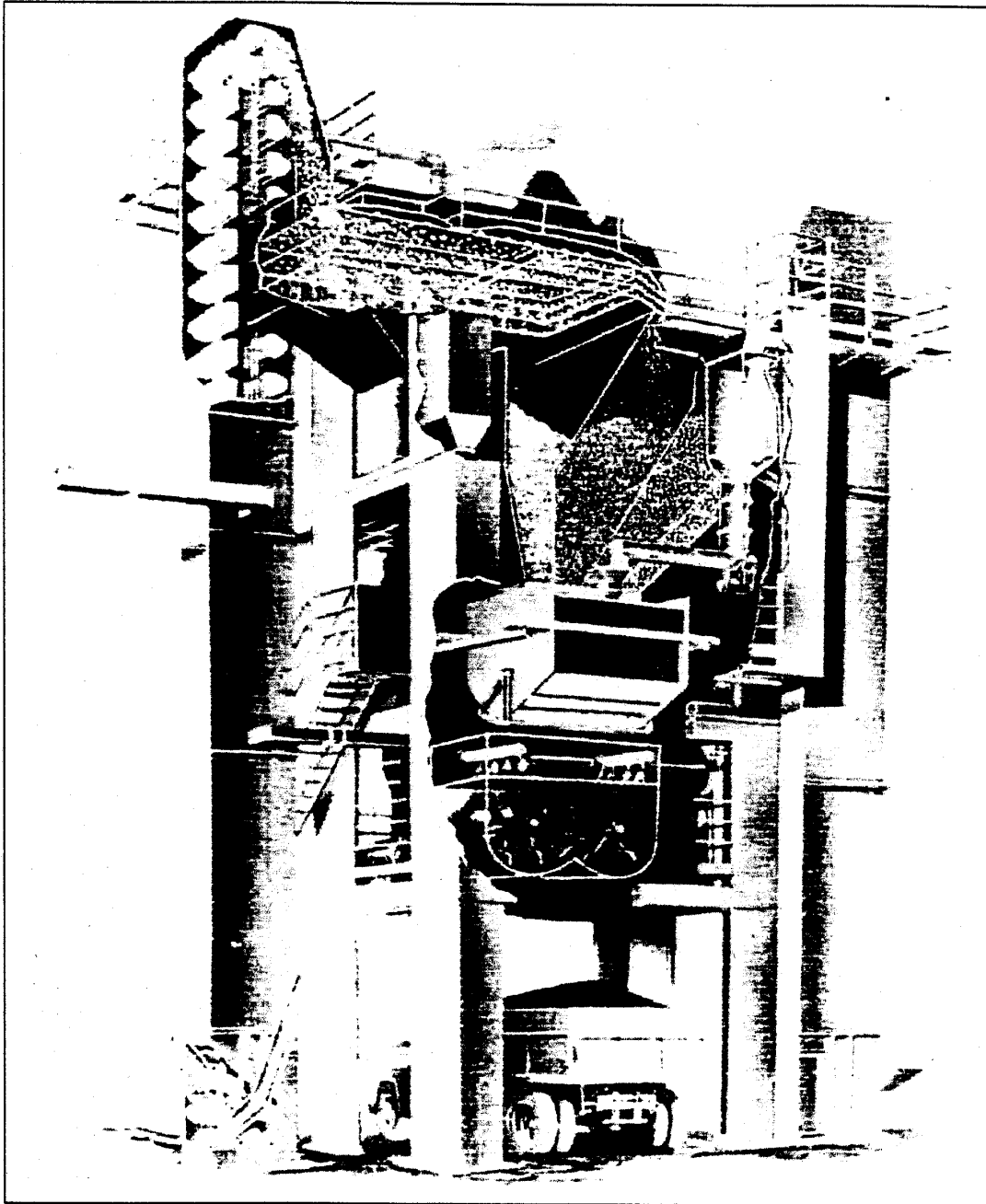


Fig. No. 7.1.4 Planta de Mezclado por Peso

Es usual que el sellaporos mineral que se agrega a la mezcla no pase por el secador de agregados; este material se alimenta en forma directa con un dispositivo separado a la unidad mezcladora en algunos casos o en la unidad dosificadora de agregados. Las unidades alimentadoras por separado, también se utilizan en la preparación de mezclas frías para abastecer reductores de viscosidad, otros fluidificadores, o cal hidratada a la mezcla. Las plantas dosificadoras mezcladoras centrales para mezclas de alta calidad son de naturaleza muy compleja y no es posible una descripción más detallada en este texto.

Es importante mantener el control de la uniformidad de las mezclas calientes de este tipo, ya que cualquier cambio o variación apreciables en la graduación o contenido de asfalto se reflejará en el cambio de algunas otras características de la mezcla. El control de la planta para producir la mezcla de trabajo seleccionada es un esfuerzo cooperativo del operador y del inspector de la planta y requiere una inspección continua y un control cuidadoso.

Las pruebas y el muestreo se encuentran entre las funciones más importantes en el control de una planta. Los datos de estas pruebas son las herramientas con los que se ejerce el control de calidad del producto. Las muestras pueden obtenerse en diferentes puntos de la planta para establecer si el proceso está en orden hasta dichos puntos. Se necesita una verificación final de la mezcla para determinar su uniformidad, graduación y contenido de asfalto. Con una prueba de extracción se mide el contenido de asfalto y se proporciona el agregado a partir del cual se puede determinar la granulometría.

Los resultados de las extracciones y graduaciones podrán quedar dentro de la tolerancia especificada de la mezcla de trabajo; si esto no sucede, se deben aplicar ciertas medidas correctivas para que la mezcla quede dentro de la tolerancia de uniformidad. Con frecuencia, es necesario hacer ciertos ajustes, en particular durante las primeras etapas de operación de la planta o si se presentan cambios en los agregados.

Para alcanzar una temperatura de mezcla apropiada deben utilizarse las relaciones temperatura-viscosidad del asfalto, ya que el asfalto varía conforme a su origen o tipo y grado. Por lo general, las viscosidades más altas son por lo regular las más adecuadas para las mezclas de agregados gruesos y las más bajas para mezclas de agregados finos. Muchas instituciones especifican en la actualidad una temperatura de mezcla, basada en la viscosidad, como una parte de la fórmula de la mezcla de trabajo y permiten una variación de $\pm 7^\circ\text{C}$ a partir de ese valor.

Es probable que una mayoría de las mezclas de este tipo se preparen ahora a temperaturas que se encuentran en algún punto entre los 122° y 135°C , y el intervalo total es quizá de 108° a 163°C . Las plantas modernas incorporan medidores que registran la temperatura y que proporcionan un registro continuo de las temperaturas del asfalto y de los agregados.

Temperaturas y tiempos de mezclas

Como ya se ha indicado, los agregados y el material bituminoso se manejan por separado en la planta, antes de su combinación en la unidad mezcladora. El material bituminoso se calienta uniformemente a una temperatura especificada, en un tanque o en una paila, en tanto que los agregados se calientan y secan en la unidad secadora. La temperatura del asfalto se controla con mucho cuidado, con objeto de evitar un sobrecalentamiento o "quemado" del material, con la consecuente destrucción de ciertas cualidades deseables. La temperatura del asfalto antes de su entrada a la mezcladora es en general de 108° a 177 °C, y muchas especificaciones modernas colocan el límite superior de esta temperatura a 149° ó 163 °C.

En las plantas para mezclas por peso, la unidad mezcladora se alimenta con los agregados secos y se manipulan totalmente en ella por un tiempo breve antes de introducir el material bituminoso. En general, el tiempo para esta operación de mezclado en seco, será de 15 a 20 s. Después, se introduce el material bituminoso en la mezcladora y se mezcla el conjunto por un período que por lo regular tiene un mínimo de 45 s. El tiempo total de mezclado de una planta para mezclas por peso será entonces de 55 a 70s y se puede alargar si es necesario producir una mezcla uniforme y homogénea. En las unidades mezcladoras continuas se requieren tiempos similares. El tiempo en la mezcladora deberá ser el mínimo para producir el mezclado apropiado.

Sistemas de control Automático

En la actualidad, varios Estados requieren que haya controles automáticos en las plantas de mezclado en caliente que están establecidas para producir bajo contrato mezclas para las Carreteras, y en otros Estados, los contratistas han instalado controles automáticos, aún cuando no sean requeridos. Las plantas de mezclas por peso pueden ser manuales, semiautomáticas o automáticas, dependiendo del grado de automatización. En las plantas manuales, el operador acciona con interruptores eléctricos cilindros de aire o hidráulicos que controlan las compuertas de tolvas, alimentadores de finos, el suministro de asfalto y válvulas de aspersión, la compuerta de descarga en la caja de pesado y las compuertas de descarga del molino mezclador (5) cinco.

En las plantas de mezclas por peso semiautomáticas, las diferentes operaciones que comprenden cada ciclo de mezclado están bajo control automático. Así, se controlan automáticamente las cantidades de asfalto y agregado que se introducen en las mezclas, los tiempos de mezcla, la secuencia de las funciones de mezclado y la operación de la compuerta de descarga del molino mezclador.

La planta de mezclas por peso totalmente automática repite el ciclo de pesar y mezclar hasta que no lo detiene el operador o hasta que no se detiene solo debido a falta de material o algún otro hecho extraordinario. Las plantas automáticas también suministran normalmente un registro de la cantidad de material incorporado a cada mezcla pesada.

En las plantas de mezcla con cilindro, el agregado debe estar adecuadamente graduado antes de entrar al cilindro mezclador. Por lo general, esto se logra automáticamente con bandas alimentadoras de precisión que controlan la cantidad de cada agregado que se alimenta al cilindro. El agregado se pesa antes de secarse; los pesos se transforman electrónicamente a lecturas de agregado seco.

El asfalto que se suministra al cilindro mezclador se controla con un sistema dosificador que está interconectado con el sistema que pesa el agregado para asegurar un contenido preciso de asfalto en la mezcla.

Un mecanismo sensor ubicado en el extremo de descarga del cilindro mezclador monitorea continuamente la temperatura de la mezcla. El flujo de mezcla asfáltica se manda a un depósito dosificador, donde el sistema que pesa monitorea la cantidad suministrada de material a cada camión (5) cinco.

7.1.9.- Tendido de Carpeta Asfáltica.

Transporte de la Mezcla

La mezcla se descarga de la planta a camiones o remolques vacíos para su transporte hasta el sitio de trabajo. Se requiere que los vehículos que se utilicen tengan camas metálicas fuertes y lisas las cuales se limpian previamente para quitar todo el material extraño. La cama del vehículo puede rociarse con una ligera película de agua de cal, jabón en solución o alguna substancia similar para impedir que se pegue la mezcla. No se deben utilizar para este objeto aceites combustibles, ya que tienen efectos dañinos sobre la mezcla. Algunas veces, es necesario que el vehículo tenga aislamiento térmicos para evitar la pérdida excesiva de calor en la mezcla durante su transporte y, con frecuencia, se cubre el vehículo con lona para proteger la mezcla contra el tiempo (Foto No.7.1.5)

Preparación de la Base

Es frecuente que la colocación de las carpetas de concreto asfáltico se coloquen sobre una base nueva o ya existente que requiera muy poca preparación antes de iniciar el tendido de la carpeta nueva, como pueden ser el barrido y limpieza total para eliminar el polvo suelto y otros materiales extraños. En otros casos, la base o carpeta existentes sobre la cual se va a colocar la mezcla necesita amplias medidas correctivas. Con más frecuencia, cuando la superficie existente está desintegrada, rota o que su naturaleza es irregular, que los defectos específicos se puedan corregir por medio de la aplicación de "parches" de concreto asfáltico. También, se remueven los compuestos sobrantes del sellado de las juntas y las áreas grasosas. En ciertos casos, puede ser aconsejable colocar una capa niveladora de concreto asfáltico para corregir irregularidades existentes en la superficie. En aquellos puntos en que la mezcla de concreto asfáltico entra en contacto con pozos o colectores, guarniciones, cunetas, etc., se pintan generalmente con una ligera capa de cemento asfáltico caliente o de material asfáltico líquido. Cuando ya se a removido completamente cualquier tipo de impureza se procede a dar un riego con cemento asfáltico para adherir la carpeta asfáltica a la base (Foto No. 7.1.6).

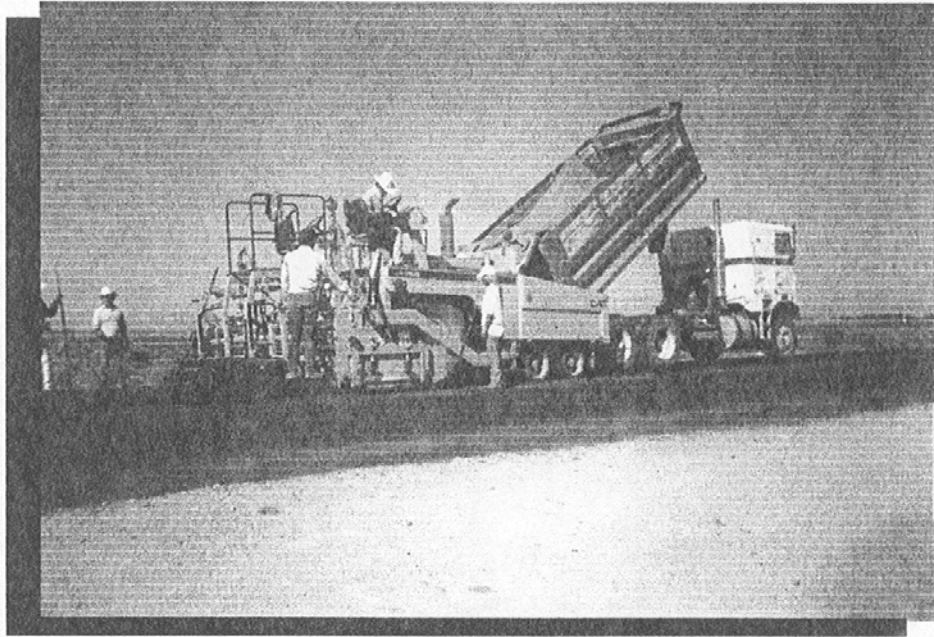


Foto No. 7.1.5 Camión Descargando Mezcla



Foto No. 7.1.6 Riego de Asfalto para adherir la Carpeta Asfáltica

Colocación de la Mezcla

La colocación de la mezcla de concreto asfáltico sólo se permite cuando la base está seca y bajo condiciones de tiempo favorable. Por lo regular, la colocación de mezclas calientes se suspende cuando la temperatura del aire llega a menos de 5 °C, excepto bajo circunstancias extraordinarias. La referencia de temperaturas específicas de tendido requeridas para diferentes condiciones. Se especifican temperaturas mínimas de la superficie de la base para colocar la mezcla, las que varían con la temperatura de la mezcla medida justo antes de vaciar la pavimentación y con el espesor de la capa. Los valores fluctúan de 2° a 49 °C, dependiendo de estas variables.

Las capas de base, las niveladoras y la carpeta se colocan y compactan en operaciones separadas. En casos poco usuales se pueden colocar capas gruesas compuestas de la misma mezcla en dos o más operaciones.

Los pasos del tendido y terminado se realizan en la mayoría de los casos, con máquinas extendedoras y de afinado (pavimentadoras) Fotos 7.17(a) y (b). En general, estas máquinas procesan un carril a la vez y deben ser capaces de producir una superficie lisa que tenga la elevación, rasante y corte transversal deseados. Se logra de la mejor manera si la velocidad de tendido se ajusta a la producción de la planta, evitando así retrasos largos y frecuentes. Durante el apisonado, se revisa la carpeta y se corrige cualquier irregularidad como, manchas de "grasa", o defectos similares. En las partes donde no se puede operar a satisfacción la pavimentación, la mezcla se coloca sobre tableros de descarga, se tiende y rastrea a mano.

En la colocación de la mezcla de concreto asfáltico, se debe poner especial atención a la construcción de las juntas entre las superficies viejas y las nuevas o entre días sucesivos de trabajo. Es esencial que se asegure una liga apropiada en las juntas longitudinales y transversales entre la mezcla colocada recientemente y la superficie existente, sin importar su naturaleza, y se utilicen procedimientos especiales, que en general se realizan a mano, para asegurar la formación de juntas adecuadas.

Las mejores juntas longitudinales se forman cuando el material que está en la orilla contra la cual se está colocando el nuevo, está todavía suficientemente caliente para lograr una compactación eficaz. Esto significa que trabajando dos pavimentadoras escalonadas se puede producir la junta más satisfactoria. Cuando se emplea una sola pavimentadora se puede usar un procedimiento de traslado de un carril a otro de suerte que la orilla del carril colocado en primer lugar esté caliente todavía cuando se coloca el nuevo carril. Cuando la colocación se hace contra una orilla fría, se utilizan otros procedimientos, como cortar la parte posterior de la orilla fría y cubrirla con material bituminoso. Algunos organismos permiten el uso de un calentador infrarrojo de juntas agregado a la parte frontal de la pavimentadora, el cual calienta el material frío a lo largo de la orilla antes de proceder a colocar un nuevo carril.



Foto No. 7.1.7 (a) Tendido de Carpeta

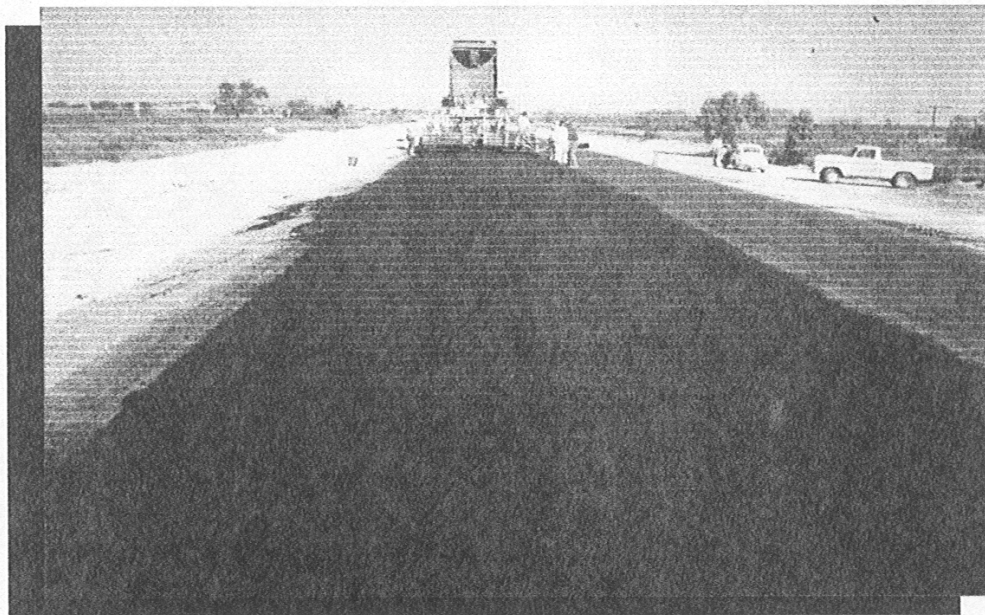


Foto No. 7.1.7 (b) Tendido de Carpeta

Compactación de la Mezcla

Cuando se terminan las operaciones de tendido y acabado, y mientras la mezcla se encuentra todavía caliente, se inicia la compactación.

La compactación se puede llevar a cabo con aplanadora de rodillos de acero o de llantas neumáticas, o con una combinación de ambas. Las aplanadoras de rodillos de acero pueden ser de tres tipos: de tres rodillos y de 10 a 12 ton de peso, de dos ejes en tándem, de 8 a 12 ton de peso y de tres ejes en tándem, de 12 a 18 ton de peso.

Las aplanadoras de llantas neumáticas se están volviendo más populares porque dan una carpeta mejor unida por el "amasado" de las partículas de agregado en forma simultánea. Con estas aplanadoras se logra, durante la operación de compactación, una densidad más uniforme que la que se obtiene en forma usual después de que el tránsito de vehículos ha utilizado la carpeta de asfalto durante algún tiempo. La presión de contacto ejercida por una llanta neumática compactadora depende del tamaño de ésta, de su clasificación por capas, de la carga de la rueda y de la presión al inflarse. En general, la presión de contacto de las llantas se encuentra en un rango que va de 117 a 263 Kg/cm².

En la actualidad, se utilizan compactadores vibratorios en pavimentos bituminosos. Dichos compactadores vibratorios proporcionan una fuerza centrífuga que alcanza hasta 21,319.2 Kg. y vibraciones del orden de 3,000 por minuto. Estas aplanadoras pueden llegar a reemplazar en cierta medida otros equipos convencionales de compactación en el futuro.

La compactación de la mayor parte del pavimento se hace en sentido longitudinal, empezando por las orillas y progresando en forma gradual hacia el centro, excepto en el peralte de las curvas, en donde el apisonamiento comienza en el lado más bajo y se avanza hacia el más alto; los recorridos sucesivos y traslapados de la aplanadora aseguran una cobertura completa y uniforme. El apisonamiento avanza a una velocidad lenta y uniforme, con el rodillo o rueda motriz más próxima posible a la máquina pavimentadora.

Los procedimientos para compactar varían con las propiedades de la mezcla, el espesor de la capa y otros factores. En las prácticas modernas, la compactación se divide en tres fases, las cuales se siguen de cerca, una detrás de otra; la inicial o de "detalle", la intermedia y la de acabado. Las fases inicial e intermedia proporcionan la densidad necesaria y el apisonamiento final de la uniformidad final requerida. Un procedimiento usado por la mayoría de las organizaciones requiere el empleo de aplanadoras de tres rodillos o de ejes en tándem para la fase de detalle, de aplanadoras de llantas neumáticas para la compactación final.

Experimentos realizados por la Washington State Highway Commission (Comisión de carreteras estatales de Washington) (7) siete mostraron la eficacia de la compactación realizada cuando la mezcla de asfalto todavía se encontraba caliente (arriba de 94 °C), con capas gruesas (hasta de 15.24 cm. o más de espesor sin compactar), y utilizando aplanadoras

con llantas neumáticas de alta presión (263 Kg/cm²) que operan en forma directa atrás de la pavimentadora.

Las normas aplicadas a la carpeta terminada (Foto No. 7.1.8) son tan rígidas como se consideren posibles en la práctica. Es frecuente que los requerimientos relativos a la superficie terminada estipulen que ésta sea lisa, plana y apegada a la rasante y corte transversal deseadas, con una desviación no mayor de 0.32 cm. a partir de una línea establecida con una plantilla o escantillón de 3.04 mts. Aparentemente, es una norma muy rígida, pero tales carpetas se obtienen en la mayoría de los casos con suma facilidad, dado el moderno equipo de construcción con que se cuenta. En general, se permiten las desviaciones con respecto al espesor de la carpeta que se haya especificado, siempre y cuando no rebasen 0.63 cms.. La densidad que se debe obtener en la superficie revestida terminada puede estipularse en términos de un porcentaje de la máxima densidad teórica o de un porcentaje de la densidad de la mezcla compactada en laboratorio. Una especificación típica es que la densidad de la carpeta terminada no sea menor del (95%) noventa y cinco por ciento de la densidad para la misma mezcla compactada en el laboratorio. Los requerimientos relativos a la densidad del pavimento terminado son muy importantes y deben ser tales que se garantice, por un lado, la obtención de una densidad satisfactoria y, por otro, que una densidad que no se tenga especificada no se puede asegurar económicamente o que es imposible de obtener sin triturar los agregados.

La densidad de la muestra compactada se determina en testigos o muestras cortadas de la carpeta terminada.

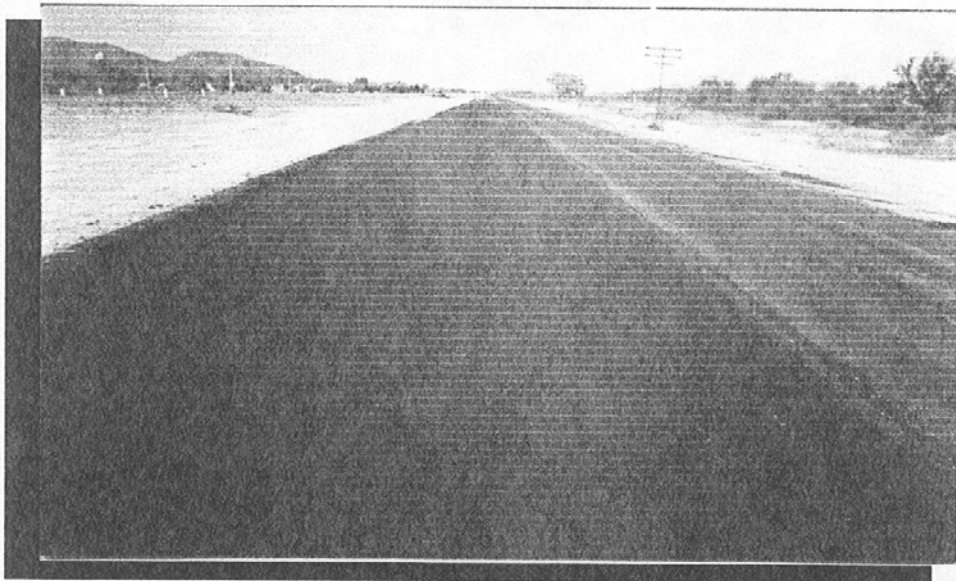


Foto No. 7.1.8 Carpeta Terminada

Muchos organismos, además de determinar la densidad en las mezclas compactadas, estiman con propósito de control, el porcentaje de vacíos y de huecos llenos y obtienen muestras suficientemente grandes con objeto de evaluar la granulometría y el contenido de asfalto de la mezcla compactada. Para medir la densidad y controlar el proceso de compactación en el campo se empiezan a utilizar experimentalmente indicadores nucleares de densidad y medidores de flujo de aire (dispositivos que miden la permeabilidad al aire).

Con la compactación se concluye la construcción de la mayoría de pavimentos de concreto asfáltico y, una vez que la superficie ha enfriado lo suficiente, se puede permitir el tránsito de vehículos. En algunos casos, se aplica también un riego de sello al pavimento recién terminado, como quedó descrito en un capítulo anterior.

7.2. Diseño de Mezclas.

7.2.1.- Introducción.

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 y, eventualmente, el desempeño de la misma como pavimento terminado. Existen dos métodos de diseño comúnmente utilizados para determinar las proporciones apropiadas de asfalto y agregado en una mezcla. Ellos son el Método Marshall y el Método Hveem.

Ambos métodos de diseño son ampliamente usados en el diseño de mezclas asfálticas de pavimentación. La selección y uso de cualquiera de estos métodos de diseño de mezclas es, principalmente, asunto de gustos en ingeniería, debido a que cada método contiene características y ventajas singulares. Cualquier método puede ser usado con resultados satisfactorios.

7.2.2.- Característica y Comportamiento de la mezcla.

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 cuatro características de la mezcla, y la influencia que éstas puedan 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 inspector, 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 (kg/m³) o libras por pie cúbico (lb/ft³). La densidad es calculada al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua (1,000 kg/m³ ó 62.416 lb/ft³). 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 (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 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) tres y (5) cinco 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%) ocho 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 (i.e. todo el asfalto menos la porción que se pierde, por absorción, en el agregado) y el volumen de vacíos necesario en la mezcla. Cuanto 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 durable será la mezcla. La Figura No.7.2.1 ilustra el concepto de VMA y la Figura No.7.2.2 presenta los valores requeridos.

Para que pueda lograrse un espesor durable de película de asfalto, se deben 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 en el contenido de asfalto.

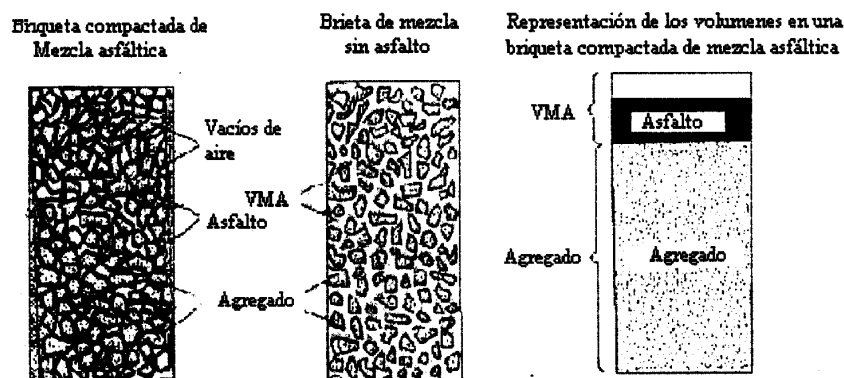


Fig. No.7.2.1 .- Ilustración del VMA en una Probeta de Mezcla Compactada (Nota: para simplificar, el volúmen de asfalto absorbido no es mostrado).

Tamaño Máximo en mm.		VMA mínimo, por ciento		
Porcentaje		Vacíos de Diseño, por ciento ³		
mm	in	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 Tamaños de Tamices usados en Pruebas, ASTM E 11 (AASHTO M92)
² El tamaño máximo nominal de partícula es un tamaño más grande que el primer tamiz que retiene más de 10 por ciento del material.
³ Interpone el VMA mínimo para los valores de vacíos de diseño que se encuentren entre los que están citados.

Fig. No. 7.2.2 .- Vacíos en el Agregado Mineral (Requisitos de VMA).

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 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 de 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 (No. 200)). Los pequeños incrementos en la cantidad de relleno mineral, pueden absorber, literalmente, gran parte del 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 de 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.

7.2.3.- 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 de pavimentos 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 primordial del procedimiento de diseño de mezclas es el de garantizar que la mezcla de pavimentación posea cada una de estas propiedades. Por lo tanto se deberá

estar consciente de qué significa cada una de éstas propiedades, cómo es evaluada, y qué representa en términos de rendimiento del pavimento.

Estabilidad.

La estabilidad de un asfalto es su capacidad para resistir desplazamiento 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 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 mas 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 pérdidas de fricción entre partículas.

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 durante un cierto tiempo; dificultad para la compactación
Agregado redondeado sin, o con pocas, superficies trituradas	Ahuellamiento y canalización

Fig No. 7.2.3 Causas y Efectos de Inestabilidad en el Pavimento.

Existen muchas causas y efectos asociados con una estabilidad insuficiente en el pavimento. La Figura No. 7.2.3 enuncia varias de éstas causas y efectos.

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 ámbos.

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 mas 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 mas 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.

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. Existen muchas causas y efectos asociados con una poca durabilidad del pavimento. La Figura No. 7.2.4 presenta una lista de algunas de estas causas y efectos.

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.

POCA DURABILIDAD	
Causas	Efectos
Bajo contenido de asfalto	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
Agregado susceptibles al agua	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado o desintegrado.

Fig. No. 7.2.4 Causas y Efecto de una Poca Durabilidad.

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 No.7.2.5 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, conduciendo a infiltración de agua y baja estabilidad.

Fig. No.7.2.5 Causas y Efectos de la Permeabilidad.

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 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 Fig. No. 7.2.6 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 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

Fig. No. 7.2.6 Causas y Efectos de Problemas en la Trabajabilidad.

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 período 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 Fig. No. 7.2.7 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
Vacíos altos de Diseño 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

Fig. No.7.2.7 Causas y efectos de una Mala Resistencia a la Fatiga

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 está 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 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 figura No. 7.2.8 presenta una lista de las causas y los efectos relacionados con una mala 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 hidroplaneo
Agregado pulido en la mezcla	Poca resistencia al deslizamiento

Fig. No. 7.2.8 Causas y Efectos de Poca Resistencia al Deslizamiento

7.3 Metodo Marshall de Diseño de Mezclas.

Antecedentes.

El concepto del Método Marshall de diseño de mezclas de pavimentación fué desarrollado por Bruce Marshall, ex-Ingeniero de Bitumenes del Departamento de Carreteras del Estado de Mississippi.

El ensayo Marshall, en su forma actual, surgió de una investigación iniciada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos en 1943. Varios métodos para el diseño y control de mezclas asfálticas fueron comparados y evaluados para desarrollar un método simple.

El Cuerpo de Ingenieros decidió adoptar el Método Marshall, y desarrollarlo y adaptarlo para diseño y control de mezclas de pavimento bituminoso en el campo, debido en parte a que el método utilizaba equipo portátil. A través de una extensa investigación de pruebas de tránsito, y de estudios de correlación en el laboratorio, el Cuerpo de Ingenieros mejoró y agregó ciertos detalles al procedimiento del ensayo Marshall, y posteriormente desarrolló criterios de diseño de mezclas.

Propósito.

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 en 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 ésta sección, sólo se aplica a mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación que usan cemento asfáltico clasificado con viscosidad o penetración, y que contienen agregados con tamaños máximos de 25.0 mm (1 pulgada) o menos. El método puede ser usado para el diseño en laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación.

Descripción General.

El método Marshall para el proyecto y control de mezclas elaboradas utilizando materiales pétreos con tamaño máximo de (25) veinticinco milímetros y cemento asfáltico en caliente, asfaltos rebajados o emulsiones asfálticas que satisfagan los requisitos establecidos. El procedimiento consiste fundamentalmente en elaborar especímenes cilíndricos a los cuales se les determina su peso volumétrico, porcentaje de vacíos, estabilidad en sentido diametral, y deformación al alcanzarse la máxima resistencia; estas (2) dos últimas determinaciones se podrán hacer bajo condiciones desfavorables de humedad y de temperatura; a las mezclas elaboradas con asfaltos rebajados o con emulsiones, también se les determinará la influencia del agua en su comportamiento. En este método el análisis de los parámetros mencionados permite conocer o controlar las condiciones más favorables de impermeabilidad y durabilidad de la mezcla, con lo cual se

pueden fijar márgenes para evitar exceso o escasez de aglutinante. El valor de estabilidad es un índice de la resistencia estructural de la mezcla asfáltica compactada y el flujo es un indicador de su flexibilidad y pérdida de resistencia a la deformación; ambas propiedades ayudan por otra parte a juzgar las características de forma y superficie del material pétreo que integra la mezcla. El método Marshall se aplica al control de todas o algunas de las características que el mismo involucra, según se establezca en el proyecto. Para el diseño de mezclas asfálticas se elaborarán especímenes con diferentes porcentajes de asfalto, a fin de conocer cuales son los que proporcionan condiciones favorables y de ellos seleccionar el contenido óptimo de asfalto o el más conveniente, para el material pétreo estudiado con la granulometría previamente fijada. Para verificar la mezcla asfáltica producida en la obra, se compararán las características de granulometría, contenido de asfalto y peso volumétrico de la mezcla compactada, con los obtenidos siguiendo todo el proceso de diseño que se describe; sin embargo, cuando haya discrepancias significativas entre los datos mencionados, se moldearán especímenes con la mezcla producida en la obra, a los que se les determinará su estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos, para verificar si cumplen con los requisitos que al respecto establece el proyecto.

a).- El equipo y material necesarios para efectuar esta prueba son los siguientes:

* Seis moldes metálicos para compactación, con diámetro interior de (101.6 ± 0.1) ciento uno punto seis más menos cero punto un milímetros y altura de (87.3) ochenta y siete punto tres milímetros, Fig. No. 7.3.1

* Extensión o collarín y una placa de base, ambas para acoplarse indistintamente en los dos extremos de los (6) seis moldes, Fig. No. 7.3.1

* Pedestal de compactación consistente en un bloque de madera, con peso específico relativo aproximado de (0.72) cero punto setenta y dos, con sección de (20) veinte por (20) veinte centímetros y altura de (45) cuarenta y cinco centímetros, llevando sujeta en su parte superior una placa metálica cuadrada de (2.5) dos punto cinco centímetros de espesor y (30) treinta centímetros por lado, teniendo el pedestal en su parte inferior dispositivos de anclaje para fijarlo en posición vertical sobre una losa rígida de concreto, de tal manera que la placa metálica permanezca en posición horizontal, Fig. No. 7.3.2

* Sujetador metálico para los moldes de compactación, que permita mantener firmemente en posición sobre el centro del pedestal, los cilindros montados con su base y collarín, para compactar la mezcla que contienen, Fig. No. 7.3.2

* Pisón de compactación con superficie circular de apisonado de (98.4) noventa y ocho punto cuatro milímetros de diámetro, teniendo una pesa deslizante de $(4,536)$ cuatro mil quinientos treinta y seis gramos, con altura de caída de (457.2) cuatrocientos cincuenta y siete punto dos milímetros, Fig. No. 7.3.3 * Máquina de prueba Marshall con capacidad de $(3,000)$ tres mil kilogramos accionada con motor eléctrico, equipada con mordazas

semicirculares para aplicar cargas a los especímenes de prueba a una velocidad constante de deformación de (50.8) cincuenta punto ocho milímetros por minuto y provista de un dinamómetro de anillo calibrado para cargas, con sensibilidad de (10) diez kilogramos, Figs. No. 7.3.4 y 7.3.5

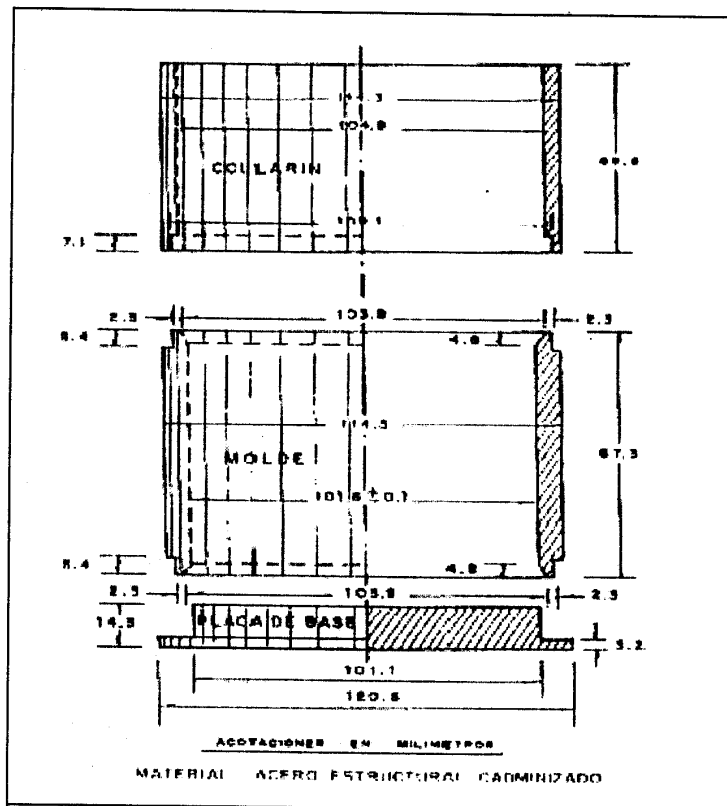


Fig. No. 7.3.1 Molde de Compactación para la Prueba Marshall

* Extensómetro para medir la deformación vertical o flujo del espécimen, con carrera de (25.4) veinticinco punto cuatro milímetros y aproximación de (0.1) cero punto un milímetro.

* Dispositivo para extraer los especímenes del molde.

* Mezclador mecánico, con tazones de (2) dos litros de capacidad como mínimo y agitadores de espátula, que cuente con dispositivo termostático adecuado para mantener la temperatura de mezclado.

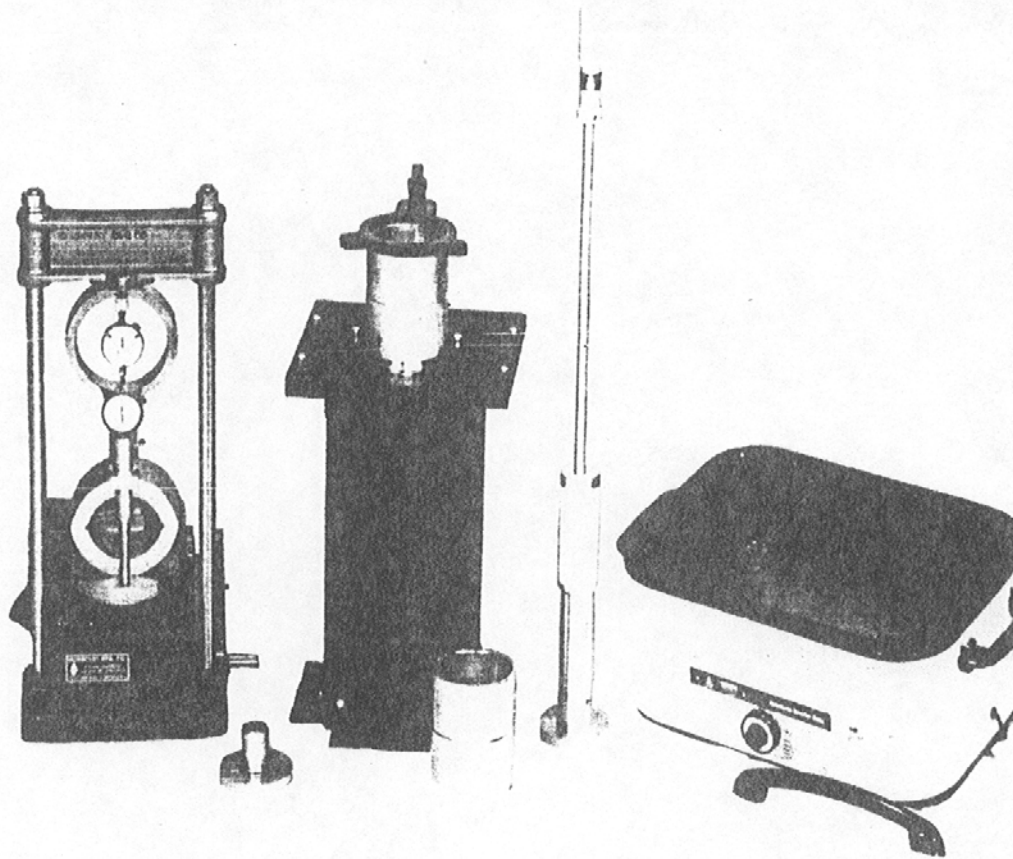


Fig. No. 7.3.2 Equipo de Compactación

* Baño de agua o tanque de saturación con control termostático que mantenga una temperatura entre (20-80°C) veinte y ochenta grados centígrados, con aproximación de (0.5°C) cero punto cinco grados centígrados, profundidad mínima de (150) ciento cincuenta milímetros, falso fondo perforado y dimensiones mínimas aproximadas de (42) cuarenta y dos por (32) treinta y dos por (18) dieciocho centímetros.

* Acondicionador ambiental para mantener la temperatura de las muestras de prueba a (25±1°C) veinticinco más menos un grado centígrado.

* Horno con temperatura controlable hasta de (200°C) doscientos grados centígrados y aproximación de (1°C) un grado centígrado, con tiro forzado de aire y dimensiones adecuadas para contener las charolas con las muestras de materiales.

* Parrilla eléctrica con capacidad para calentar las muestras de agregados hasta (150°C) ciento cincuenta grados centígrados, con control termostático.

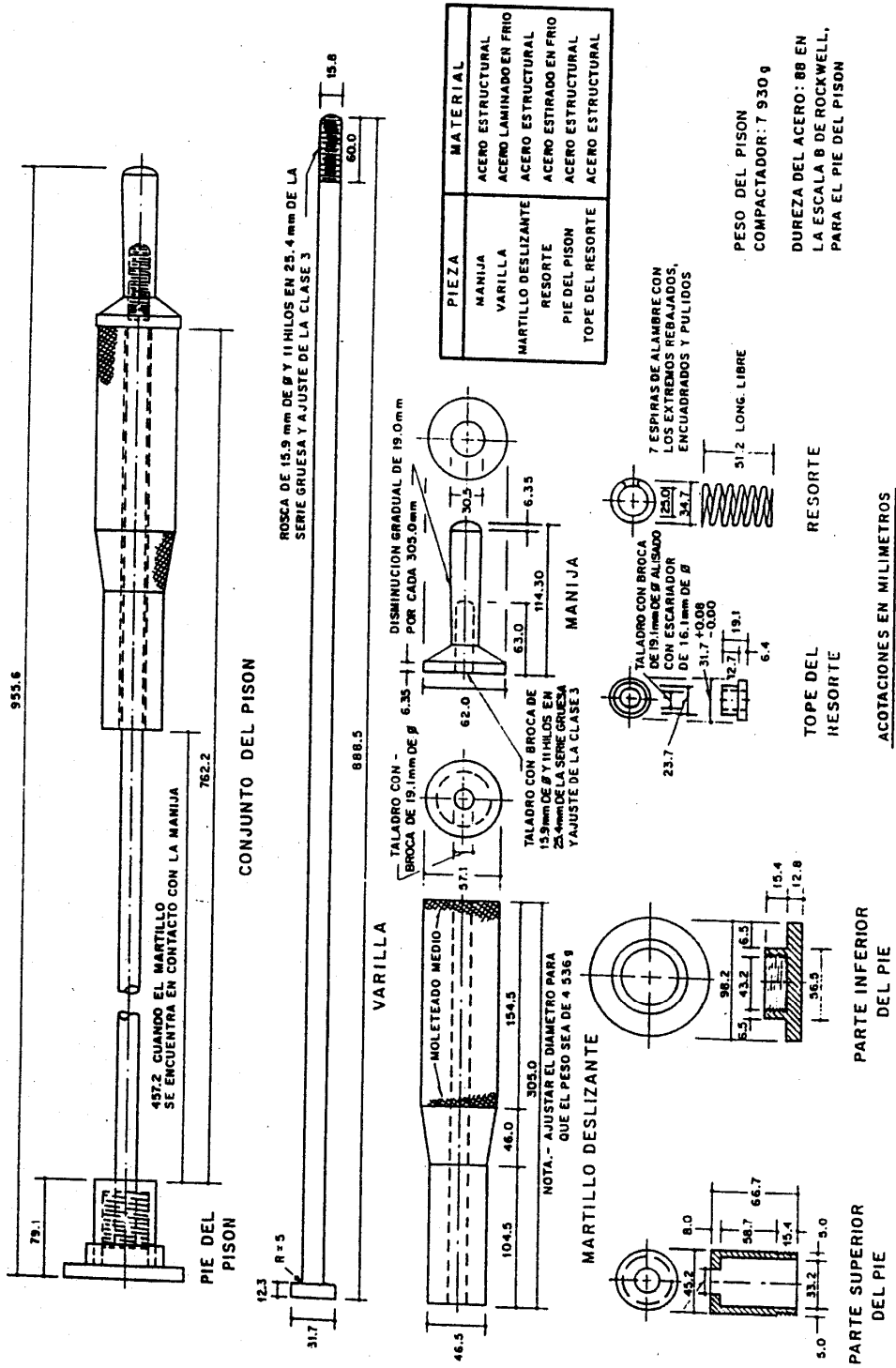


Fig. No. 7.3.3 Pisón de Compactación Marshall

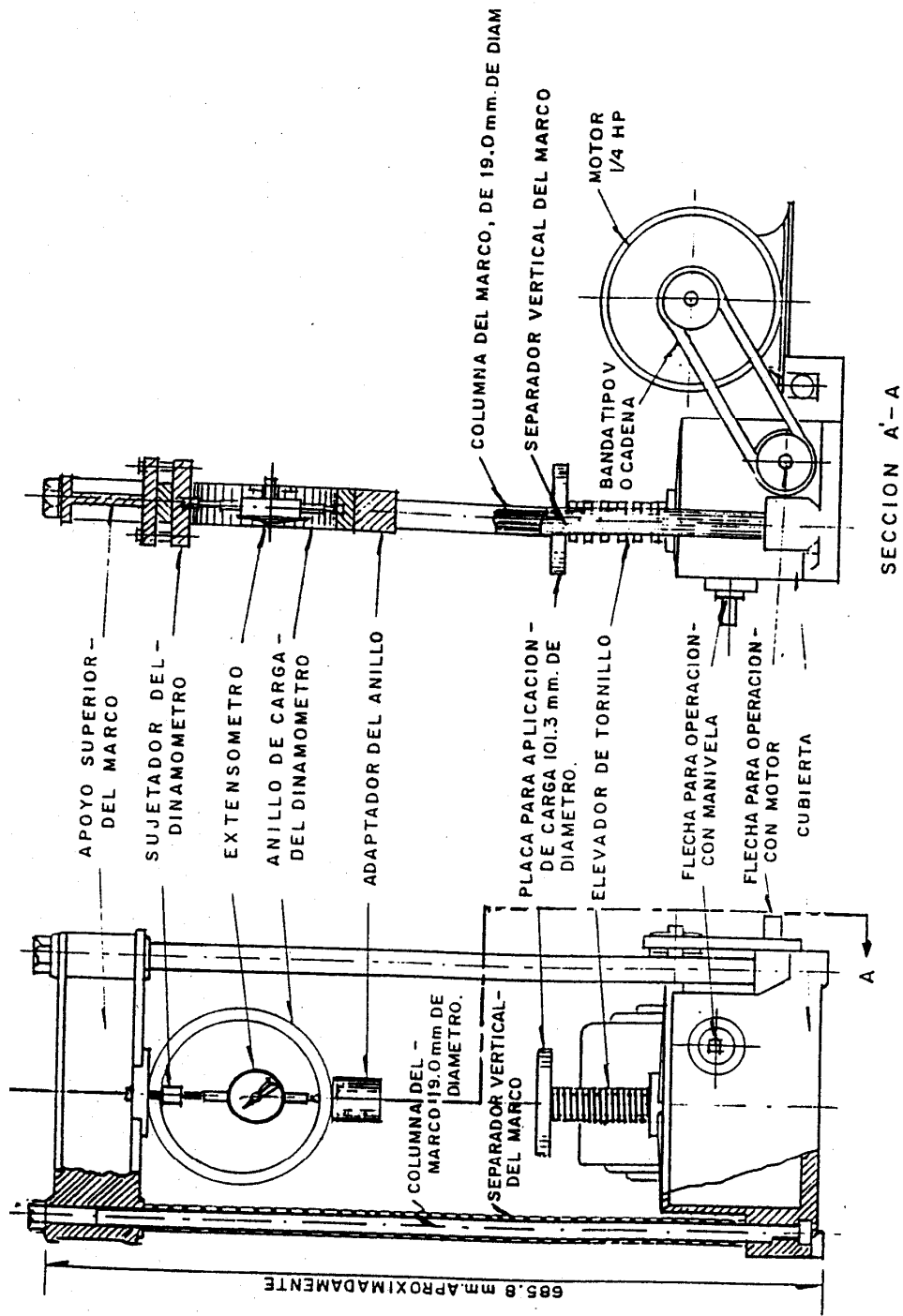


Fig. No. 7.3.4 Esquema de la Máquina de Pruebas Marshall

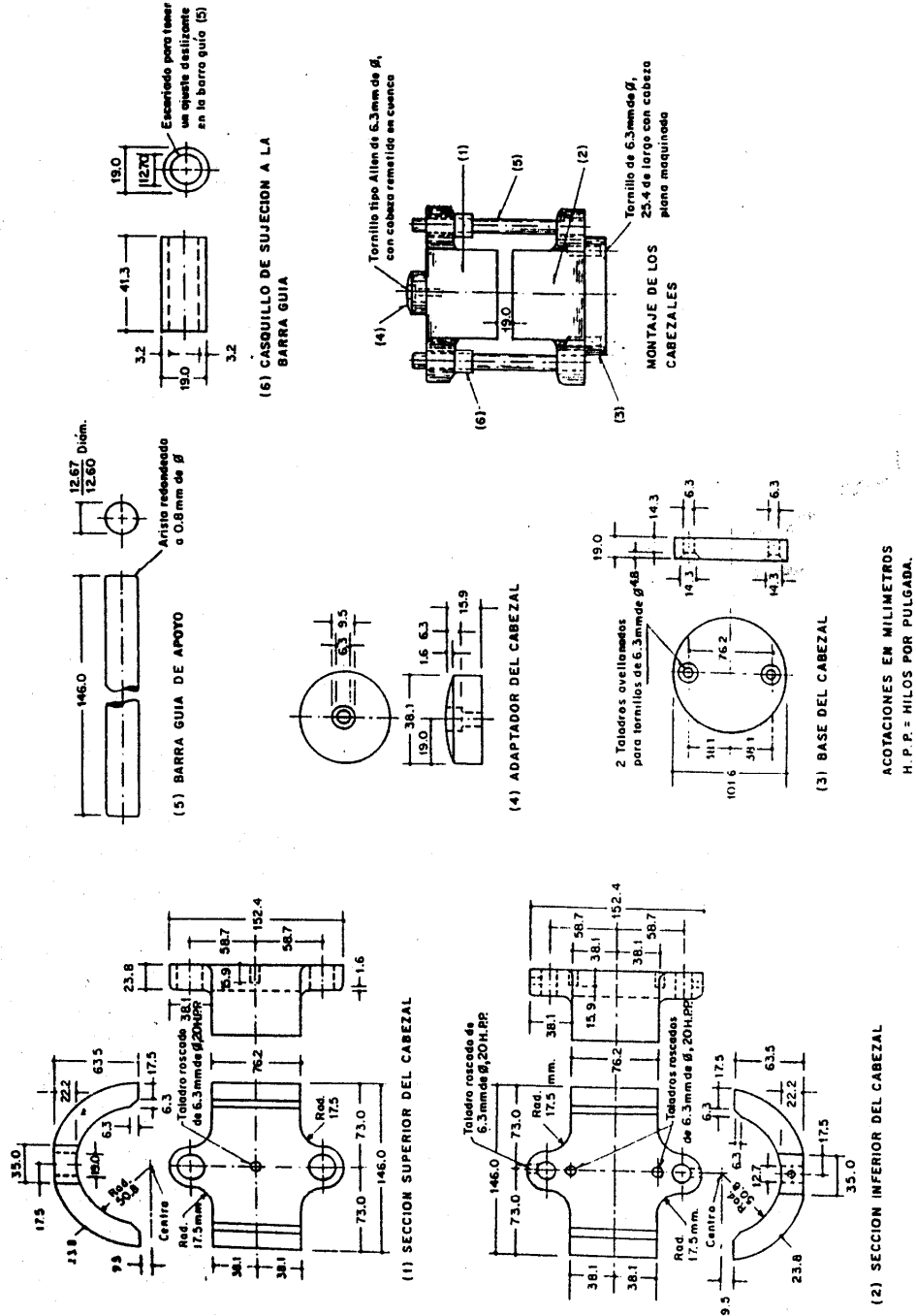


Fig. No. 7.3.5 Cabezal para Probar los Especímenes Marshall

* Balanza de (2) dos kilogramos de capacidad y (0.1) cero punto un gramo de sensibilidad.

* Balanza de (20) veinte kilogramos de capacidad y sensibilidad de (1) un gramo.

* Termómetro con cubierta de metal para registrar temperaturas de (10 a 200°C) diez a doscientos grados centígrados, con aproximación de (2°C) dos grados centígrados.

* Termómetro para el baño de agua que registre temperaturas de (20 a 70°C) veinte a setenta grados centígrados y aproximación de (0.2°C) cero punto dos grados centígrados.

* Calibrador tipo máuser, con aproximación de (0.1) cero punto un milímetro.

* Equipo de uso general como charolas rectangulares, charolas redondas, cucharas de albañil, cucharones, espátulas, pinzas para vasos, guantes de hule y guantes de asbesto.

* Estearato de zinc, parafina, crayones.

* Papel filtro de forma circular con diámetro ligeramente menor que el del molde de compactación.

b).- El procedimiento de prueba es el siguiente:

b1) Previamente a la preparación de las mezclas se determina el peso específico relativo aparente por inmersión en cemento asfáltico, del material pétreo seleccionado, siguiendo el procedimiento; así también, el del cemento asfáltico; éste último valor será corregido mediante las correspondientes gráficas peso específico-residuo asfáltico, tanto en el caso de rebajados como en el de emulsiones, para determinar el peso específico del residuo tomando en cuenta los solventes y agua que contenga el producto bajo las condiciones de compactación.

b2) Se determinan las temperaturas de mezclado de cada material y la de compactación de la mezcla, de acuerdo con lo siguiente:

a).- El cemento asfáltico o los rebajados se calentarán a una temperatura adecuada para obtener una viscosidad Saybolt Furol de (85±10) ochenta y cinco más o menos diez segundos; a ésta temperatura se le designa como temperatura de mezclado de los materiales y se precisará de la gráfica viscosidad-temperatura, previamente determinada al material asfáltico que se utilice. Cuando se empleen emulsiones, éstas no deberán calentarse.

b).- El material pétreo se calentará a la temperatura de mezclado (+10°C) más diez grados centígrados. Cuando se utilicen emulsiones el material pétreo no se calentará y en cambio se le adicionará una humedad similar a la de absorción, de tal manera que se

obtenga el mejor cubrimiento; esta humedad se precisará aplicando el procedimiento ya conocido y será la misma que la utilizada para elaborar en la obra la mezcla con emulsión.

c).- La temperatura de compactación de la mezcla es aquella a la cual el material asfáltico, bajo las condiciones en que se encuentra al terminar el mezclado, es decir, incluyendo solventes y agua si los tiene, alcanza una viscosidad Saybolt Furol de (140 ± 15) ciento cuarenta más menos quince segundos; ésta temperatura también se puede determinar de la gráfica viscosidad-temperatura del asfalto o producto utilizado, bajo las condiciones referidas.

b3).- La preparación de las mezclas de prueba para fines de diseño se lleva a cabo siguiendo el procedimiento, con la cantidad necesaria de material pétreo para que el espécimen tenga una altura aproximada de (63.5) sesenta y tres punto cinco milímetros; (1,100) mil cien gramos de material pétreo generalmente pueden resultar adecuados. Las proporciones de cemento asfáltico que se deben utilizar para elaborar estas mezclas se definen con base al contenido óptimo aproximado, determinado mediante la aplicación del procedimiento y de acuerdo con lo siguiente:

a).- Las mezclas se prepararán por triplicado, cada una para elaborar un espécimen, con los siguientes contenidos de cemento asfáltico:

- Contenido óptimo aproximado, (-1.0%) menos uno punto cero por ciento.
- Contenido óptimo aproximado, (-0.5%) menos cero punto cinco por ciento.
- Contenido óptimo aproximado.
- Contenido óptimo aproximado, (+0.5%) más cero punto cinco por ciento.
- Contenido óptimo aproximado, (+1.0%) más uno punto cero por ciento.
- Contenido óptimo aproximado, (+1.5%) más uno punto cinco por ciento.
- Contenido óptimo aproximado, (+2.0%) más dos punto cero por ciento.

b4) Al terminar la operación de mezclado se tendrá en la mezcla la temperatura de compactación, pudiendo, para lograrlo, aplicar calor durante el mezclado y además, en el caso de rebajados, se tendrá una relación solvente a cemento asfáltico (K) de (0.08) cero punto cero ocho para rebajados de fraguado rápido y de (0.12) cero punto doce para rebajados de fraguado medio. Cuando se trate de mezclas elaboradas con emulsiones, se mezclarán lo suficiente para homogeneizarlas, verificando frecuentemente el peso de la mezcla, a fin de lograr que por decantación y evaporación sucesiva se elimine el (80%) ochenta por ciento aproximadamente, del agua y solventes que originalmente tenía la emulsión agregada; la humedad que conserve la mezcla será cercana a la óptima de compactación y se precisará elaborando la respectiva curva peso volumétrico de la mezcla-humedad.

b4) Se limpian la placa de compactación del pisón y los moldes de compactación y junto con el collarín, la espátula y placa de base respectivos, se calientan a (90°C) noventa grados centígrados, utilizando para ello un recipiente con agua calentada a dicha temperatura.

b5) Se prepara una de las mezclas de prueba de uno de los contenidos de asfalto seleccionados, y estando a la temperatura de compactación, se saca del baño o recipiente con agua a (90°C) noventa grados centígrados, un molde con su collarín y base, se secan rápidamente y se arman sobre una mesa, poniendo en el fondo una de las hojas de papel filtro circular. Se vacía dentro del molde la mezcla asfáltica elaborada y se acomoda con la espátula, previamente calentada, introduciéndola (15) quince veces en la parte cercana al contacto de la mezcla con el molde, y (10) diez veces en la porción central de la misma, para acomodarla sin que se clasifique; por último, se acomoda la parte superior del espécimen procurando dejarle la superficie ligeramente abombada, sobre la cual se coloca otra de las hojas de papel filtro circular.

b6) A continuación se coloca el molde con su base y collarín montados, conteniendo la mezcla de prueba, sobre el pedestal de compactación y se ajusta el dispositivo de éste que sostiene el molde; se aplican con la pesa deslizante del pisón de compactación (50) cincuenta golpes, o bien, (75) setenta y cinco golpes, dependiendo de lo que especifique el proyecto para el tipo de tránsito considerado. La altura de caída de la pesa será de (457) cuatrocientos cincuenta y siete milímetros, debiendo mantenerse el eje del pisón en posición normal a la base del molde.

b7) Una vez aplicado el número de golpes de compactación establecido, se libera el molde de la sujeción y se remueve el collarín; se invierte el molde conteniendo el espécimen y se ajusta sobre la placa de base, se vuelven a colocar el collarín y el dispositivo que sostiene el molde y en seguida se aplica en la otra cara del espécimen el mismo número de golpes que en la cara primeramente mencionada.

b8) Se determina con el calibrador la altura del espécimen dentro del molde, y se nota éste en milímetros en la columna "t" de la hoja de registro, Figura No. 7.3.6. Si dicha altura no es (63±3) sesenta y tres más menos tres milímetros, la cantidad de mezcla empleada en la elaboración del siguiente espécimen deberá corregirse aplicando la siguiente fórmula:

$$P'_e = \frac{63 P_e}{H_e}$$

En donde:

P'_e es el peso corregido de la mezcla, para elaborar uno de los nuevos especímenes, en gramos.

P_e es el peso del espécimen elaborado, en gramos.

H_e es la altura del espécimen elaborado, en milímetros.

b9) Se separan del molde que contiene el espécimen, la placa de base y su collarín y se deja enfriar dicho espécimen en el molde, el tiempo necesario para que al ser extraído no sufra deformaciones, para lo cual se introduce en caso necesario, durante una hora, en un baño de aire o ambiente con aire acondicionado a (25°C) veinticinco grados centígrados; a continuación, utilizando el extractor de especímenes, se saca cuidadosamente el espécimen del molde y se le coloca sobre una superficie plana y horizontal, en donde permanecerá en reposo a la temperatura ambiente, antes de ser probado, durante (24) veinticuatro horas aproximadamente, contadas a partir de su elaboración.

b10) Se moldean sucesivamente cada uno de los especímenes restantes del contenido de asfalto con que se inició la prueba, y después, en la misma forma los demás especímenes de cada uno de los contenidos de asfalto considerados en el estudio.

b11) Transcurrido el período de enfriamiento, se determina el peso volumétrico de cada uno de los especímenes de prueba, utilizando el método de la parafina. (Ver Anexo I) Los datos obtenidos se anotan en la hoja de registro, Fig. No. 7.3.6

b12) A continuación se sumergen todos los especímenes en el baño de agua, a una temperatura de (60±1°C) sesenta más menos un grado centígrado durante un lapso de (30 a 42) treinta a cuarenta y dos minutos, excepto en el caso de mezclas elaboradas con asfaltos rebajados o emulsiones, en que los especímenes, antes de ser probados, se colocan en un ambiente con aire a la temperatura de (25±1°C) veinticinco más menos un grado centígrado, permaneciendo en estas condiciones durante dos horas. La determinación de la estabilidad y flujo se iniciará a los (30) treinta minutos de inmersión, para lo cual se van extrayendo sucesivamente los especímenes del baño, debiendo sacar y probar el último a los (42) cuarenta y dos minutos, de haber sido introducido en el baño.

b13) Se lubrican las guías de los cabezales de prueba, se limpian sus superficies interiores y se mantienen éstos a una temperatura de (35±3°C) treinta y cinco más menos tres grados centígrados, en el caso de mezclas con cemento asfáltico y de (25±3°C) veinticinco más menos tres grados centígrados, en el caso de mezclas con rebajados o emulsiones. Se verifica que el extensómetro del anillo de carga instalado en la máquina de compresión marque (0) cero cuando no se esté aplicando carga.

b14) Se saca un espécimen del baño de agua o del acondicionador de ambiente y se le elimina la humedad superficial que presente, se coloca sobre el cabezal inferior y se centra en el mismo; se monta y coloca sobre el espécimen el cabezal superior y en esta forma se lleva el conjunto a la máquina de compresión, en donde se coloca y se centra. Se instala sobre la varilla guía el extensómetro para medir el flujo, se ajusta a (0) cero su carátula y durante la aplicación de la carga se sujeta por el casquillo, oprimiéndolo contra el cabezal.

b15) Se aplica carga al espécimen a una velocidad de deformación constante, de (50.8) cincuenta punto ocho milímetros por minuto, hasta que se presenta la carga máxima o sea la necesaria para producir la falla del espécimen a la temperatura de prueba; dicha carga es el valor de estabilidad Marshall y se anotará en kilogramos en la columna "u" de la hoja de registro, Fig. No. 7.3.6. Como antes se indicó, mientras la carga se esté aplicando se sostiene firmemente el extensómetro medidor de flujo sobre la varilla guía y al presentarse la carga máxima se toma la lectura correspondiente y se registra con aproximación de (0.1) cero punto un milímetro. La deformación del espécimen en milímetros es el valor del flujo, el cual se anota en la columna "y" de la hoja del registro. Todo el procedimiento para efectuar las pruebas de estabilidad y flujo del espécimen deberá completarse en un período de (30) treinta segundos contados a partir del momento en que el espécimen se retire del baño.

b16) Se determinan sucesivamente la estabilidad y flujo de cada uno de los especímenes restantes del contenido de asfalto con que se inició la prueba, siguiendo para ello los pasos descritos en los subpárrafos b13) a b15) de este párrafo, después de lo cual, aplicando este mismo procedimiento, se determinan los valores correspondientes a los especímenes de cada uno de los demás contenidos de asfalto considerados en el estudio.

b17) Se verifica en forma sucesiva en cada espécimen del estudio el porcentaje de asfalto que realmente contiene, seleccionando para ello uno de los procedimientos referidos anteriormente o bien, de no requerirse mucha precisión, se restará (0.3%) cero punto tres por ciento a cada uno de los contenidos de asfalto considerados al elaborar las mezclas, para corregir dichos contenidos por pérdidas durante el mezclado. Los contenidos de cemento asfáltico así corregidos se anotan en la columna "a" de la hoja de registro.

c).- La determinación de la influencia del agua en la estabilidad y flujo de las mezclas elaboradas con cementos asfálticos quedó incluida como parte del procedimiento de diseño correspondiente y por lo que se refiere a las mezclas elaboradas con asfaltos rebajados o con emulsiones, la metodología correspondiente se describe a continuación:

c1) Se elaboran (6) seis especímenes de prueba con el contenido óptimo de asfalto o con la proporción de este material que se estime necesario estudiar, para lo cual se sigue el procedimiento que corresponda, de los que se indican en los subpárrafos b2) a b9) párrafo b) de este inciso, excepto en lo que se refiere al número de muestras y a los diferentes contenidos de asfalto que son los que se fijan de acuerdo con lo indicado en este subpárrafo.

c2) Transcurrido el período de reposo se determina el peso volumétrico de cada uno de los especímenes de prueba, utilizando el método de la parafina (Ver Anexo I) y se forman (2) dos grupos de (3) tres especímenes cada (1) uno, de tal manera que los promedios de los pesos volumétricos de los especímenes de cada grupo, queden lo más cercano posible del promedio general.

c3) Los especímenes de uno de los grupos se colocan durante (2) dos horas en el baño de aire ajustado a una temperatura de $(25 \pm 1^\circ\text{C})$ veinticinco más menos un grado centígrado y a continuación se les determina la estabilidad y flujo a cada uno de ellos, siguiendo, de acuerdo con el tipo de mezcla asfáltica, el procedimiento que se indica en los subpárrafos b13) a b16) de este inciso y se les determina también el contenido de asfalto.

c4) Los especímenes del otro grupo se sumergen durante (4) cuatro días en el baño de agua, a una temperatura de $(25 \pm 1^\circ\text{C})$ veinticinco más menos un grado centígrado y al cumplirse dicho período, se les determina su estabilidad, flujo y contenido de asfalto, de acuerdo con los incisos b13) a b17) párrafo b), y con el tipo de mezcla asfáltica.

d).- En esta prueba se calcula y reporta lo siguiente:

d1) Se determina el peso específico teórico máximo de cada una de las mezclas asfálticas consideradas en el estudio, y los datos obtenidos se anotan en la columna "k" de la hoja de registro, Fig. No. 7.3.6

d2) Se calcula el porcentaje de vacíos del material pétreo, VAM, de cada uno de los especímenes elaborados y los datos obtenidos se anotan en la columna "p" de la hoja de registro, Fig. No.7.3.6

d3) Se calcula el porcentaje de vacíos de la mezcla compactada, que forma cada uno de los especímenes, y los datos obtenidos se anotan en la columna "n" de la hoja de registro, Fig. No.7.3.6

d4) Se corrigen los valores de estabilidad de los especímenes que hayan resultado con altura diferente de (63.5) sesenta y tres punto cinco milímetros, utilizando para ello los factores que correspondan a la Tabla 7.3.7 y los datos corregidos se anotan en la columna "w" de la hoja de registro, Fig No.7.3.6

d5) Se calcula y reporta el por ciento de estabilidad retenida por la mezcla asfáltica, es decir, la que conserva después de someterla a saturación en agua a (25°C) veinticinco grados centígrados, mediante la siguiente fórmula:

$$E_r = \frac{E_p - E_{ps}}{E_p} * 100$$

En donde:

E_r = es la estabilidad retenida por la mezcla asfáltica, en por ciento.

E_p = es el promedio de los valores de estabilidad de los especímenes no sumergidos en agua, en kilogramos.

E_{ps} = es el promedio de los valores de estabilidad de los especímenes sumergidos en agua, en kilogramos.

d6) Se determina para cada serie de especímenes correspondiente a un mismo porcentaje, la proporción de asfalto que contiene, el peso volumétrico, el porcentaje de vacíos del material pétreo, porcentaje de vacíos de la mezcla compactada, estabilidad y flujo, y se deshechan los datos de aquellos especímenes que no cumplan con las siguientes tolerancias, respecto de los promedios correspondientes de cada serie:

- Más menos cinco por ciento ($\pm 5\%$) del contenido de asfalto.
- Más menos dos por ciento ($\pm 2\%$) del peso volumétrico.
- Más menos diez por ciento ($\pm 10\%$) de la estabilidad.
- Más menos veinte por ciento ($\pm 20\%$) del flujo.

d7) Utilizando los promedios de los valores que no excedan las tolerancias indicadas, se dibujan las gráficas que a continuación se indican, en formas como las de la Fig. No. 7.3.8

- Peso volumétrico - Contenido de asfalto.
- Estabilidad - Contenido de asfalto.
- Flujo - Contenido de asfalto.
- Por ciento de vacíos del material pétreo - Contenido de asfalto.
- Por ciento de vacíos de la mezcla - Contenido de asfalto.

d8) De cada gráfica se define cuál es el contenido de asfalto que mejor satisface los requisitos de proyecto para cada una de las características que se graficaron y se promedian dichos contenidos.

d9) Se define el contenido óptimo de asfalto ajustando el promedio determinado, de tal forma que se cumplan con todos los requisitos del proyecto, incluyendo el de estabilidad

retenida por inmersión en agua a (25°C) veinticinco grados centígrados; la estabilidad retenida no se ilustra gráficamente.

Altura del Especímen	Factor de Corrección	Altura del Especímen	Factor de Corrección
55	1.27	63.5	1.00
56	1.23	64	0.98
57	1.20	65	0.96
58	1.16	66	0.94
59	1.13	67	0.92
60	1.10	68	0.90
61	1.07	69	0.88
62	1.04	70	0.86
63	1.01	71	0.84

Tabla No. 7.3.7 Valores de Corrección por Altura

e).- En esta prueba deberán tenerse las siguientes precauciones:

e1) Que en todos los pasos de la prueba las temperaturas se ajusten a los valores establecidos.

e2) Verificar que la superficie cilíndrica interior de los cabezales de prueba o "mordazas" corresponda a un radio de (50.8) cincuenta punto ocho milímetros.

CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO PARA CARPETAS

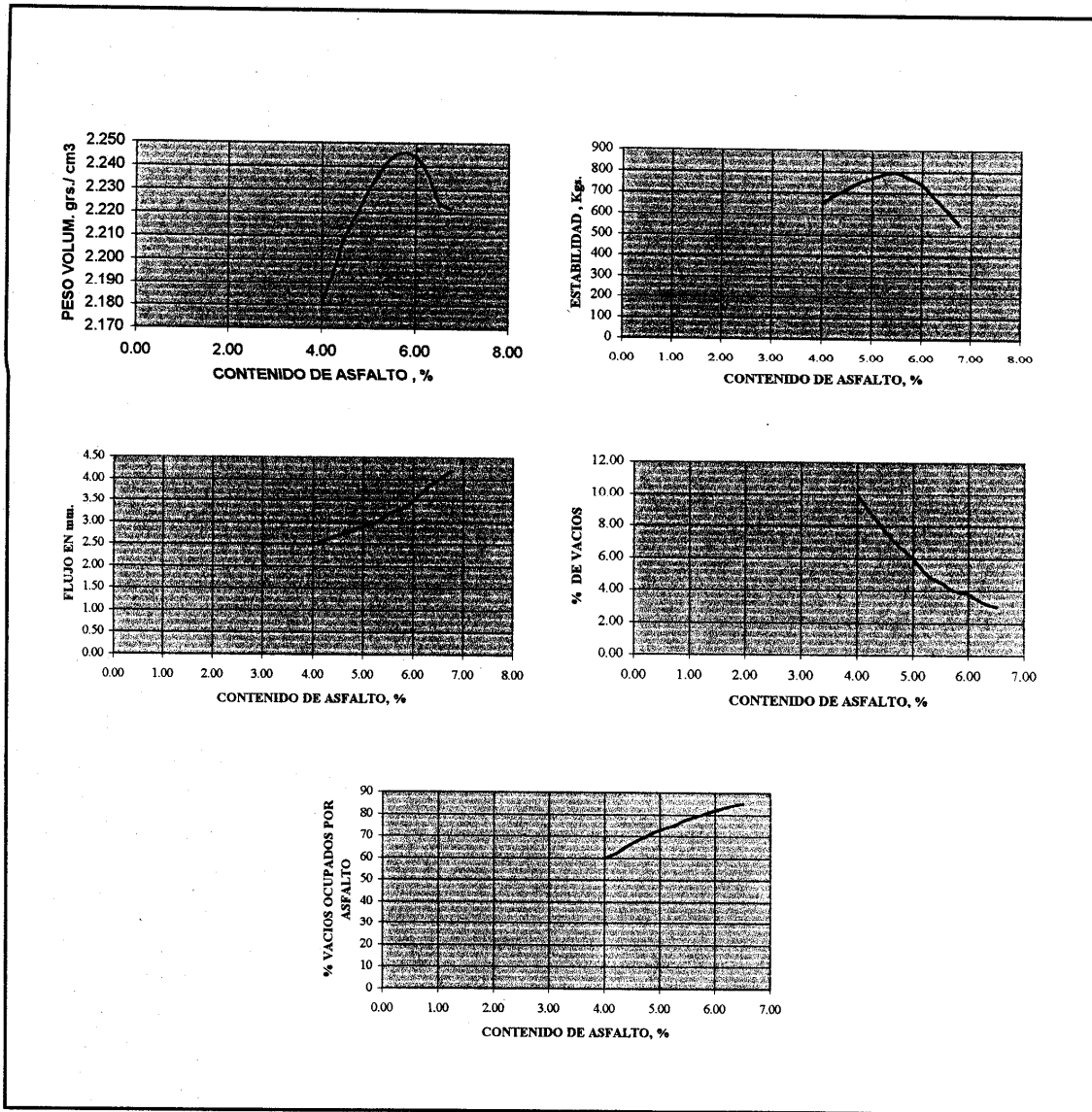


Fig. No. 7.3.8 Gráficas de Resultados

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

CENTRO SCT SONORA (05)
 UNIDAD DE LABORATORIO
 RESIDENCIA de construcción

DIRECCION
 DEPARTAMENTO
 LABORATORIO DE CAMPO

ESTUDIO POR EFECTUAR Proyecto de mezcla asfáltica
 ENSAYES No. 4312
 FECHA DE TERMINACION 16 de junio de 1999
 LABORATORISTA Ine. Macedonia Cortal
 FECHA DE INICIACION 27 de mayo de 1999

ENSAYE	PROBETA	PORCENTAJE C.A.		RECUBRIMIENTO EN ABRE.F.	RECUBRIMIENTO EN ABRE.F.	RECUBRIMIENTO EN ABRE.F.	RECUBRIMIENTO EN ABRE.F.	P E S O S		VOL. RECI- BENDITO	E F E C T O	V O L U M E N E S		ESPECIE TEORICO	PESO VOLTA MAX.	ESPECIF. TEORICO	P R O P O R C I O N E S E N V O L.		MAT. PETRO	VACIOS	MAT. PETRO	% DE VACIOS		DETERMINACION DE LA ESTABILIDAD			FLUJO									
		AL	A LA					MATERIAL DE RECI- BENDITO	DE RECI- BENDITO			DE RECI- BENDITO	DE RECI- BENDITO				RECIBIDO	RECIBIDO				RECIBIDO	RECIBIDO	RECIBIDO	RECIBIDO	RECIBIDO		RECIBIDO	RECIBIDO	RECIBIDO	RECIBIDO	RECIBIDO	RECIBIDO			
1	6.0	5.8	5.48	1274.7	1263.2	728.4	11.5	546.3	11.9	534.4	2965	2.590	12.5	80.3	7.2	19.7	63.5	336	6.62	1560	0.94	1468	3.81													
2	6.0	5.8	5.48	1274.0	1261.2	728.7	12.8	543.3	13.3	531.0	2975	2.590	12.5	80.6	6.9	19.4	64.4	334	6.58	1533	0.93	1475	3.81													
3	6.0	5.9	5.57	1275.2	1265.4	728.3	9.8	546.9	10.2	536.7	2960	2.596	12.6	80.0	7.4	20.0	63.0	331	6.51	1540	0.97	1494	3.75													
4	6.5	6.3	5.93	1279.7	1266.6	735.6	13.1	544.1	13.6	530.5	2989	2.592	13.6	80.7	5.7	19.3	70.5	346	6.12	1690	1.06	1706	11.43													
5	6.5	6.4	6.02	1276.9	1266.8	737.4	10.1	539.5	10.5	529.0	2993	2.593	13.9	80.7	5.4	19.3	72.0	364	6.48	1692	0.97	1641	3.81													
6	6.5	6.4	6.02	1287.3	1275.3	739.5	12.0	547.8	12.5	535.3	2985	2.599	13.8	80.5	5.7	19.5	70.8	355	6.35	1652	1.00	1652	3.87													
7	7.0	6.8	6.37	1282.7	1271.5	750.3	11.2	532.4	11.6	520.8	2440	2.515	14.9	82.1	3.0	17.9	83.2	384	6.44	1786	0.82	1750	4.06													
8	7.0	6.8	6.37	1279.9	1266.5	743.0	13.4	536.9	13.9	522.4	2425	2.515	14.9	81.6	3.5	18.4	81.0	394	6.53	1832	0.86	1759	4.31													
9	7.0	6.7	6.28	1269.9	1260.3	741.4	9.6	528.5	9.9	518.6	2432	2.519	15.7	82.2	2.1	17.8	88.2	387	6.42	1798	0.96	1792	4.20													
10	7.5	7.3	6.80	1283.7	1271.9	750.8	11.8	532.9	12.3	520.6	2440	2.499	16.0	81.7	2.3	18.3	87.4	396	6.49	1806	0.97	1740	4.06													
11	7.5	7.2	6.72	1278.8	1268.1	748.6	10.7	530.2	11.1	519.1	2443	2.502	16.8	81.9	2.3	18.1	87.3	370	6.45	1720	0.98	1686	4.06													
12	7.5	7.2	6.72	1277.2	1265.1	714.4	12.1	562.8	12.6	550.2	2300	2.502	14.9	77.1	8.0	22.9	65.1	348	6.40	1620	0.99	1684	4.11													
13	8.0	7.7	7.15	1394.4	1283.7	854.7	10.7	539.7	11.1	528.6	2450	2.486	16.7	81.1	2.1	18.9	88.4	367	6.56	1706	0.96	1658	4.32													
14	8.0	7.7	7.15	1282.1	1273.2	769.4	9.9	532.7	10.3	522.4	2437	2.486	16.8	81.3	1.9	18.7	89.8	324	6.48	1506	0.97	1401	4.57													
15	8.0	7.6	7.06	1282.9	1270.5	746.0	12.4	536.9	12.9	524.0	2425	2.489	16.5	81.0	2.5	19.0	86.8	342	6.46	1590	0.98	1558	4.41													
		(7.7)									(2.431)				(2.2)																					
RESULTADOS POR GRUPOS DE PROBITAS, CON LAS CORRECCIONES RESPECTIVAS																																				
1 a 3		(5.8)									(2.967)				(7.2)																					
4 a 6		(6.5)									(2.980)				(5.6)																					
7 a 9		(6.9)									(2.432)				(2.9)																					
10 a 12		(7.2)									(2.394)				(4.2)																					
13 a 15		(7.7)									(2.431)				(2.2)																					

Fig. No. 7.3.6 HOJA DE REGISTRO Y CALCULO PARA LA PRUEBA DE MARSHALL