



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA

CURSOS INSTITUCIONALES

ASFALTO

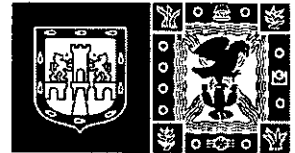


Del 27 de Septiembre al 04 de Noviembre de 2004

APUNTES GENERALES

CI - 144

Instructor: Ing. Gabriel Gutiérrez Rocha
DELEGACIÓN COYOACÁN
SEPTIEMBRE/NOVIEMBRE DE 2004



DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA DE LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNAM

CURSOS INSTITUCIONALES

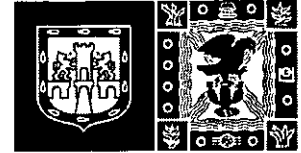
ASFALTO

(Elaboración, tipos de mezclas, asfaltos modificados, pruebas de calidad, procesos de colocación, compactación, selladores, rendimientos y demostraciones)

Módulo II: ASFALTO

Duración del Módulo: 81 Horas.

Periodo de impartición del Módulo: 27 de sep. al 4 de nov. de 2004



DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA DE LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNAM

CURSOS INSTITUCIONALES

ASFALTO

(Elaboración, tipos de mezclas, asfaltos modificados, pruebas de calidad, procesos de colocación, compactación, selladores, rendimientos y demostraciones)

Módulo II: ASFALTO

Duración del Módulo: 81 Hrs.

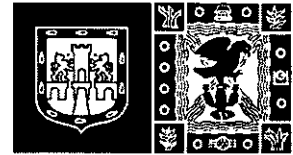
Contenido Programático del Módulo

OBJETIVO:

Al finalizar el curso, el participante conocerá los antecedentes, elaboración, tipos de mezclas, asfaltos modificados, pruebas de calidad, procesos de colocación, compactación, selladores, rendimientos y demostraciones sobre el asfalto urbano.

INDICE

- 2.1. Antecedentes del Asfalto
- 2.2. Funcionamiento de la planta de asfalto
- 2.3. Tipos de mezcla asfáltica
- 2.4. Asfaltos Modificados con polímeros



- 2.5 Granulometría para el diseño de mezclas asfálticas
 - 2.6 Granulometría para el diseño de mezclas asfálticas modificados
 - 2.7 Pruebas de calidad para asfaltos normales
 - 2.8 Pruebas de calidad para asfaltos modificados
 - 2.9 Procesos de colocación y rendimientos en bacheo y reencarpetados
 - 2.10 Compactación de asfaltos
 - 2.11 Diferentes tipos de compactación
 - 2.12 Selladores asfálticos
 - 2.13 Tipos de selladores
 - 2.14 Colocación de selladores
 - 2.15 Rendimientos
 - 2.16 Demostraciones
- Bibliografía

Periodo de impartición: 27 de sep. al 4 de nov. de 2004

Nombre del capacitador: Ing. Gabriel Gutiérrez Rocha

INTRODUCCIÓN

El uso moderno del asfalto para carreteras y construcción de calles comenzó a finales del siglo pasado, y creció rápidamente con el surgimiento de la industria automotriz. Desde entonces, la tecnología del asfalto ha dado grandes pasos. Hoy día, los equipos y los procedimientos usados para construir estructuras de pavimentos asfálticos son bastante sofisticados.

Una regla que no ha cambiado a través de la larga historia del asfalto en la construcción, es la siguiente: Un pavimento es tan bueno como los materiales y calidad del proceso constructivo. Ningún equipo sofisticado puede compensar el uso de materiales y técnicas constructivas deficientes.

Este manual trata sobre los materiales usados en pavimentos, de buena calidad, de mezclas asfálticas en caliente. Se describe cuales son los materiales, como se comportan, y como saber si un material dado sirve, o no, para la obra de pavimentación. El inspector debe poseer esta información básica para poder tomar decisiones sabias.

2.1. Antecedentes del Asfalto

ANTECEDENTES

DESCRIPCIÓN GENERAL

Los pavimentos asfálticos están compuestos de dos materiales: asfalto y agregado (piedra). Hay muchos tipos de asfalto y muchos tipos de agregado. En consecuencia, es posible construir diferentes tipos de pavimentos asfálticos. Los tipos más comunes de pavimentos asfálticos son (ver definiciones en Apéndice B).

- Concreto asfáltico (mezcla asfáltica en caliente con granulometría densa)
- Capa asfáltica de fricción con granulometría abierta
- Mezcla asfáltica de arena
- Mezcla asfáltica de poco espesor
- Mezclas con asfaltos emulsificados (mezclas en fijo)

El pavimento de concreto asfáltico es el pavimento asfáltico de mejor calidad. Está compuesto de agregado bien gradado y cemento asfáltico, los cuales son calentados y mezclados en proporciones exactas en una planta de mezclado en caliente. Después de que las partículas de agregado son revestidas uniformemente, la mezcla en caliente se lleva al lugar de la construcción, en donde el equipo asfaltador la coloca sobre la base que ha sido previamente preparada. Antes de que la mezcla se enfríe, las compactadoras proceden a compactarla para lograr la densidad especificada.

Existen otros tipos de pavimentos que se producen y colocan en forma similar. Los pavimentos con mezclas en frío utilizan asfaltos emulsificados o asfaltos diluidos (asfaltos cortados); requieren muy poco, o ningún, calentamiento de materiales y con frecuencia pueden ser producidos en el lugar de construcción sin necesidad de una planta central. En este manual únicamente se discute el concreto asfáltico (mezcla asfáltica en caliente con gradación densa).

RESPONSABILIDADES DEL INSPECTOR

El inspector no es responsable por seleccionar los materiales que van a ser usados en el pavimento. Ese es el trabajo del contratista y el diseñador del pavimento. Sin embargo, el inspector es responsable, a la larga, por la forma en que se manejen, almacenen, muestreen, mezclen, trasladen, coloquen, y compacten los materiales. Puede que tenga que verificar cosas como el origen, clasificación, tipos, temperaturas, y contenidos de humedad de los materiales. Además, el inspector deberá estar preparado para revisar e interpretar datos del diseño de la mezcla, resultados de ensayos de laboratorio, y especificaciones. También, cuando sea necesario, deberá ejecutar muestreos y pruebas in-situ.

El inspector no podrá desempeñar su trabajo si no conoce como trabajan los materiales que conforman el pavimento asfáltico; en particular las características de los materiales y su papel en el rendimiento del pavimento. También debe comprender que el manejo inadecuado de los materiales puede llegar a afectar desfavorablemente las propiedades, y a largo plazo, el comportamiento del

pavimento terminado. Esta información le dará al inspector la confianza necesaria para tomar diariamente las decisiones apropiadas, y a la vez, eliminará su papel de adivinador en el trabajo, garantizando así un buen control de calidad.

La inspección y el control de materiales requiere de una documentación buena y completa. Los hechos, figuras, fechas, nombres, lugares, y condiciones son elementos importantes en el registro diario de información. La experiencia ha enseñado a los inspectores veteranos, a través de los años, que un trozo de información que puede no parecer importante en el momento de registrarse, quizás puede llegar, más tarde, a ser muy valioso en el momento de analizar un problema grave.

Cada agencia tiene formularios específicos para la documentación. Adicionalmente, el inspector debe llevar registros de sus observaciones en un libro de obra. El inspector hace la función de ojos y oídos de la agencia o el dueño del proyecto.

ASFALTO

El asfalto es un material negro, cementante, que varía ampliamente en consistencia, entre sólido y semisólido (sólido blando), a temperaturas ambientales normales. Cuando se calienta lo suficiente, el asfalto se ablanda y se vuelve líquido, lo cual le permite cubrir las partículas de agregado durante la producción de mezcla en caliente.

Casi todo el asfalto usado en los Estados Unidos es producido por refinerías modernas de petróleo y es llamado asfalto de petróleo. El grado de control permitido por los equipos modernos de refinería permite la producción de asfaltos con características distintas, que se prestan para usos específicos. Como resultado, se producen asfaltos para pavimentación, techado y otros usos especiales.

El asfalto usado en pavimentación, generalmente llamado cemento asfáltico, es un material viscoso (espeso) y pegajoso. Se adhiere fácilmente a las partículas de agregado y, por lo tanto, es un excelente cemento para unir partículas de agregado en un pavimento de mezcla en caliente. El cemento asfáltico es un excelente material impermeabilizante y no es afectado por los ácidos, los álcalis (bases) o las sales. Esto significa que un pavimento de concreto asfáltico construido adecuadamente es impermeable y resistente a muchos tipos de daño químico.

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

ORIGEN Y NATURALEZA DEL ASFALTO

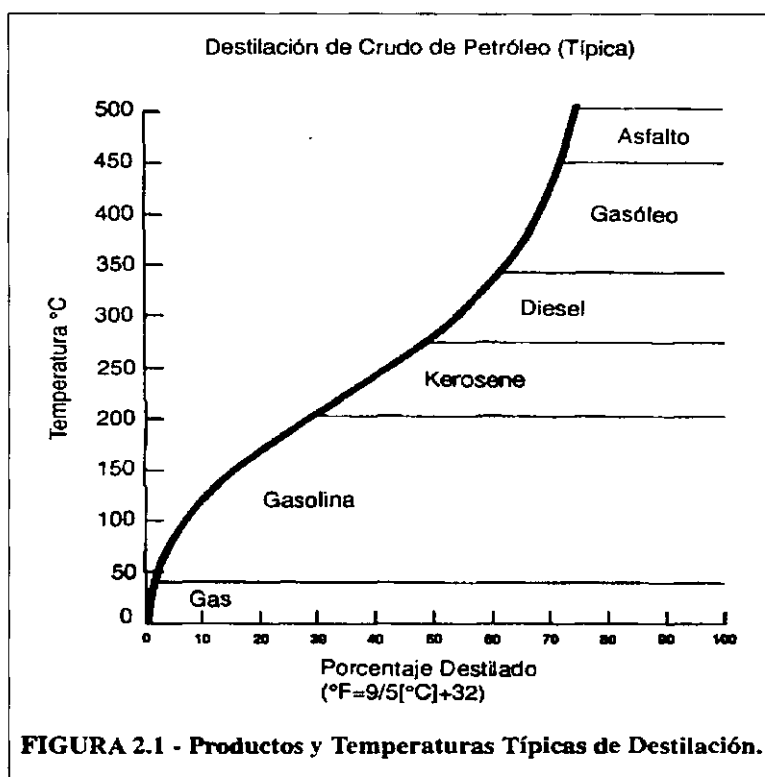
A veces hay confusión acerca del origen del asfalto, de cómo es refinado, y cómo se clasifica en sus diferentes grados. Esto se debe a que el asfalto es usado para muchos propósitos. Existe una confusión similar respecto a ciertos términos relacionados con las propiedades del asfalto. El propósito de esta sección es el de discutir, en suficiente detalle, el origen y naturaleza del asfalto de pavimentación, para poder transmitir un entendimiento claro de los conceptos fundamentales. En el Apéndice B de este manual puede encontrarse un glosario de términos comunes relacionados con el asfalto.

REFINACIÓN DE PETRÓLEO

El crudo de petróleo es refinado por destilación. Este es un proceso en el cual las diferentes fracciones (productos) son separadas fuera del crudo por medio de un aumento, en etapas, de la temperatura. Como puede verse en la Figura 2.1, las diferentes fracciones se separan a diferentes temperaturas.

Las fracciones livianas se separan por destilación simple. Los destilados mas pesados, usualmente llamados gasóleos, pueden ser separados solamente mediante una combinación de calor y vacío. Como se indica en la Figura 2.1, el asfalto puede ser producido usando destilación por vacío a una temperatura aproximada de 480°C (900°F). Esta temperatura puede variar un poco, dependiendo del crudo de petróleo que se este refinando, o del grado de asfalto que se este produciendo.

La Figura 2.2 es una ilustración esquemática de una refinería típica. La figura muestra el flujo de petróleo durante el proceso de refinación.



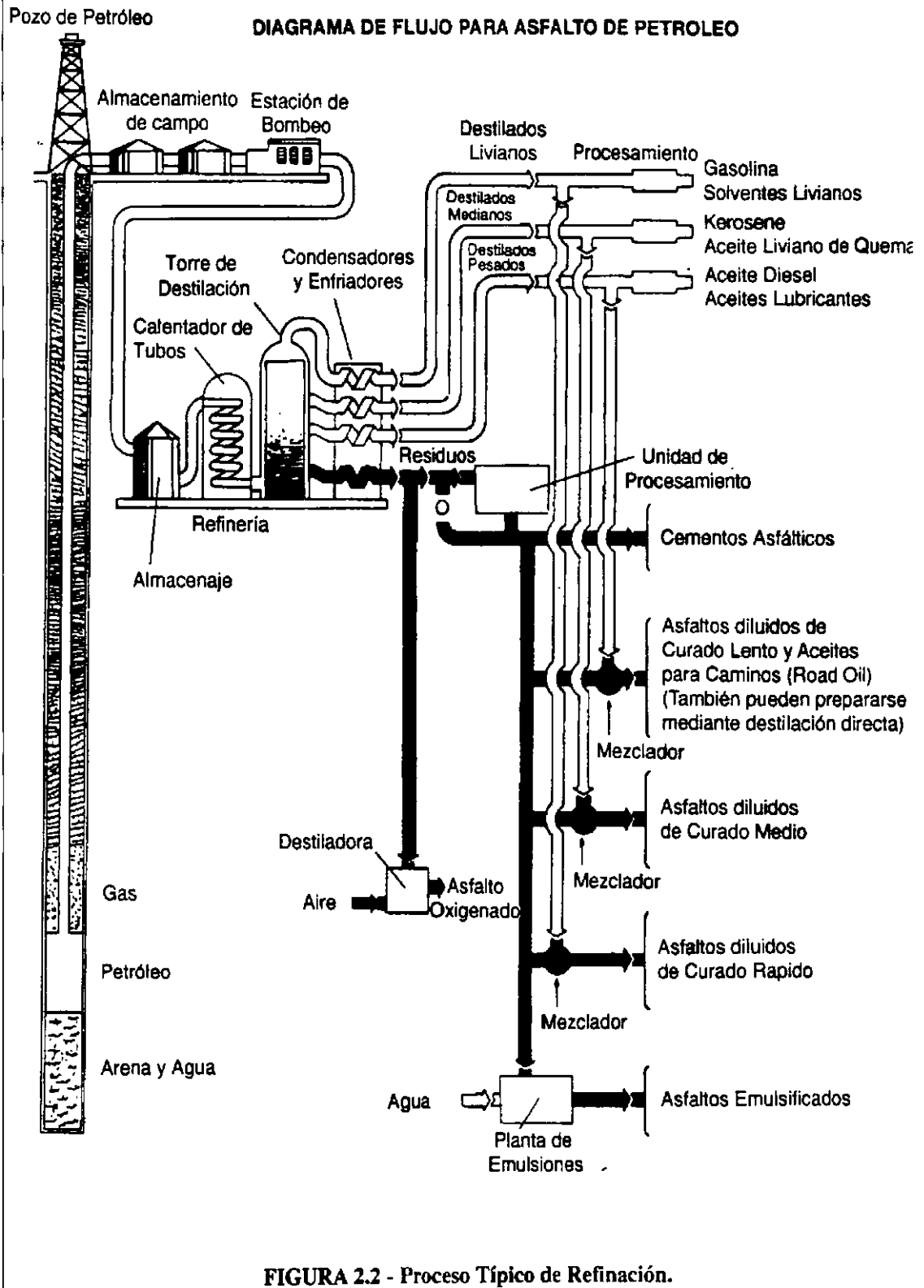


FIGURA 2.2 - Proceso Típico de Refinación.

REFINACIÓN DE ASFALTO

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

Existen dos procesos por los cuales puede ser producido un asfalto, después de que se han combinado los crudos de petróleo: destilación por vacío y extracción con solventes. Como se discutió anteriormente, la destilación por vacío consiste en separar el asfalto del crudo mediante la aplicación de calor y vacío. En el proceso de extracción con solvente, se remueven mas gasóleos del crudo, dejando así un asfalto residual.

Una vez que los asfaltos han sido procesados, estos pueden ser mezclados entre si, en ciertas proporciones, para producir grados intermedios de asfalto. Es así como un asfalto muy viscoso y uno menos viscoso pueden ser combinados para producir un asfalto de viscosidad intermedia.

En resumen, para producir asfaltos con características específicas, se usa el crudo de petróleo o mezclas de crudos de petróleo. El asfalto es separado de las otras fracciones del crudo por medio de destilación por vacío o extracción con solventes.

CLASIFICACIÓN, PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL ASFALTO

Clasificación y Grados del Asfalto: Los asfaltos de pavimentación pueden clasificarse bajo tres tipos generales:

- Cemento asfáltico;
- Asfalto diluido (o cortado); y
- Asfalto emulsificado

Cada tipo esta definido en el Apéndice B. Los asfaltos diluidos y los emulsificados son usados, casi por completo, en mezclas en frío y en riegos, y no se discutirán más en esta sección.

Los cementos asfálticos se clasifican bajo tres sistemas diferentes. Ellos son: viscosidad, viscosidad después de envejecimiento, y penetración. Cada sistema abarca diferentes grados, cada uno con diferentes rangos de consistencia.

El sistema más usado en los Es Unidos esta basado en la viscosidad del asfalto. La Figuras 2.3 muestra el sistema en forma de tablas. Algunas de las agencias, hoy día, han modificado los parámetros del sistema para poder cumplir con necesidades específicas. El inspector debe usar, como referencia, las especificaciones asfálticas de su propia agencia.

En el sistema de viscosidad, el poise (ver definición en Apéndice B) es la unidad normal de medida para viscosidad absoluta. Refiriéndose a la Figura 2.3. Observe que cuanto más alto es el número de poises. Más viscoso es el asfalto. El AC-2.5 (cemento asfáltico con una viscosidad de 250 poises a 60°C o 140°F) es conocido como un asfalto "blando". El AC-40 (cemento asfáltico con una viscosidad de 4000 poises a 60°C o 140°F) es conocido como un asfalto "duro".

**REQUISITOS PARA CEMENTO ASFALTICO CLASIFICADO POR VISCOSIDAD A 60° C
(Clasificación basada en asfalto original)**

PRUEBA	GRADO DE VISCOSIDAD					
	AC-2.5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30	AC-40
Viscosidad, 60° C, poises	250±50	500±100	1000±200	2000±400	3000±600	4000±800
Viscosidad, 135° C, Ca-minimo	125	175	250	300	350	400
Penetración, 25° C, 100 g., 5 segundos-minimo	220	140	80	60	50	40
Punto Inflamador, Cleveland, ° C(°F)-minimo	163(325)	177(350)	219(425)	232(450)	232(450)	232(450)
Solubilidad en tricloroetileno, por ciento-minimo	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0
Pruebas sobre el residuo del ensayo TFO:						
Perdida por calentamiento, porcentaje-maximo (opcional) ³		1.0	0.5	0.5	0.5	0.5
Viscosidad, 60° C, poises-maximo	1000	2000	4000	8000	12000	16000
Ductilidad, 25° C, 5 cm por minuto, cm-minimo	100 ¹	100	75	50	40	25
Prueba de mancha (cuando y como se especifique) ² con:						
Solvente normal de nafta	Negativo para todos los grados					
Solvente de nafta-xileno, % xileno	Negativo para todos los grados					
Solvente de heptano-xileno, % xileno	Negativo para todos los grados					

¹ Si la ductilidad es menor que 100, el material sera aceptado si la ductilidad a 15.6° C tiene un valor/minimo de 100.

² El uso de la prueba de mancha es opcional. El ingeniero debiera especificar el tipo de solvente usado cuando se va a usar la prueba. En el caso de los solventes de xileno, debiera especificar el porcentaje de xileno a ser usado.

³ El uso del requisito de perdida por calentamiento es opcional.

FIGURA 2.3 - Requisitos para Cemento Asfáltico Graduado por Viscosidad (AASHTO M 226).

Varios estados del Oeste, en Estados Unidos, clasifican el asfalto de acuerdo a su viscosidad después de envejecido. La idea es identificar cuales serán las características de viscosidad después de que se ha colocado el asfalto en el pavimento. Para poder simular el envejecimiento que ocurre en la planta asfáltica durante el mezclado, el asfalto debe ser ensayado en el laboratorio utilizando un ensayo patrón de envejecimiento. El residuo asfáltico que queda después del envejecimiento es clasificado, posteriormente, de acuerdo a su viscosidad. Una vez más, la unidad normal de medida es el poise. La Figura 2.4 identifica los posibles grados bajo este sistema.

En la Figura 2.4, la abreviación "AR" corresponde a "Residuo Envejecido." Obsérvese que el AR- 10 (viscosidad de 1000 poises) se conoce como un asfalto "blando", mientras que el AR 160 (viscosidad de 16000 poises) se conoce como un asfalto "duro".

El tercer método usado para clasificar asfaltos es el de penetración. La Figura 2.5 muestra como se efectúa el ensayo de penetración. Una aguja normal se deja penetrar dentro de la muestra de asfalto bajo una carga dada. La distancia que la aguja penetra en la muestra en un tiempo determinado es medida en décimas de milímetro (0.1 mm). Un grado 200-300 indica que la aguja penetró en la muestra, bajo condiciones específicas, de 200 a 300 décimas de milímetro. Esto es indicación de un asfalto "blando". Un grado 40-50, por otro lado, es indicación de un asfalto

“duro” en el cual la aguja fue capaz de penetrar solamente de 40 a 50 décimas de milímetro. La Figura 2.6 muestra los distintos grados incluidos bajo este sistema.

**REQUISITOS PARA CEMENTO ASFALTICO CLASIFICADO POR VISCOSIDAD A 60° C
(Clasificación basada en el residuo del ensayo de RTFO)**

PRUEBAS SOBRE EL RESIDUO DEL ENSAYO DE LA NORMA AASHTO T 240 ¹	GRADO DE VISCOSIDAD				
	AR-10	AR-20	AR-40	AR-80	AR-160
Viscosidad, 60° C, poises	1000 ± 250	2000 ± 500	4000 ± 1000	8000 ± 2000	16000 ± 4000
Viscosidad, 135° C, Ca-minimo	140	200	275	400	550
Penetración, 25° C, 100 g., 5 segundos-minimo	65	40	25	20	20
Porcentaje de Pen original, 25° C-minimo	—	40	45	50	52
Ductilidad, 25° C, 5 cm por minuto, cm-minimo	100 ²	100 ²	75	50	52
PRUEBAS SOBRE EL ASFALTO ORIGINAL					
Punto Inflamador, Cleveland, ° C (°F)-minimo	205 (400)	219 (425)	227 (440)	232 (450)	238 (460)
Solubilidad en tetracloroetileno, por ciento-minimo	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0

¹ AASHTO T 179 (TFO) puede ser usado, pero AASHTO T 240 debiera ser el metodo de referencia.
² Si la ductilidad es menor que 100, el material sera aceptado si la ductilidad a 15.6° C tiene un valor/minimo de 100.

FIGURA 2.4 - Requisitos para Cemento Asfáltico Graduado por la Viscosidad del Residuo de la Prueba de Película Delgada en Horno Rotatorio (AASHTO M 226).

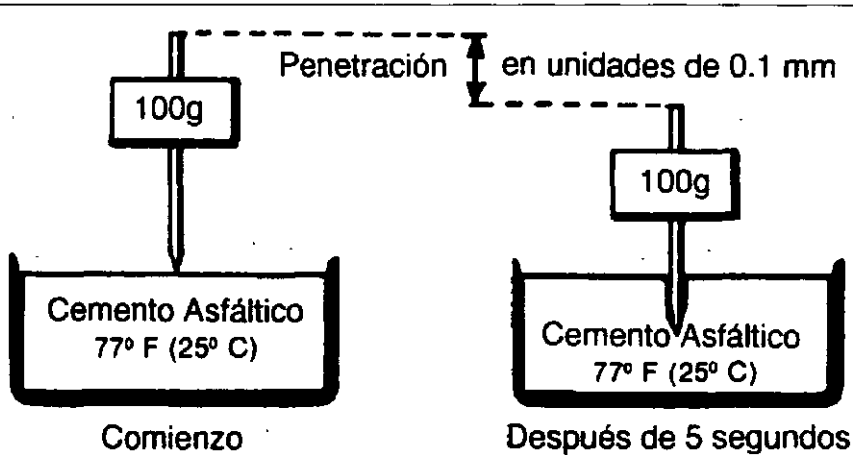


FIGURA 2.5 - Diagrama de la Prueba de Penetración.

**REQUISITOS PARA UNA ESPECIFICACION PARA CEMENTO ASFALTICO
AASHTO M 20**

	Grado de Penetración									
	40-50		60-70		85-100		120-150		200-300	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Penetración a 25° C. 100 g., 5 segundos.....	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto Inflamador, Ensayo Cleveland, ° C	450	.....	450	.....	450	.....	425	.....	350	.....
Ductilidad a 25° C. 5 cm. por min, cm.	100	.....	100	.....	100	.....	100	.....	.....	.....
Solubilidad en tricloroetileno, por ciento	99	.....	99	.....	99	.....	99	.....	99	.....
TFO, 3.2 mm, 163° C, 5 horas .....	.....	0.8	.....	0.8	.....	1.0	.....	1.3	.....	1.5
Perdida por calentamiento, por ciento .....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Penetración del residuo, porcentaje del original	58	.....	54	.....	50	.....	46	.....	40	.....
Ductilidad del residuo a 25° C. 5 cm, por min, cm.....	.....	.....	50	.....	75	.....	100	.....	100	.....
Prueba del Mancha (cuando y como se especifique) (ver nota) con: Solvente normal de nafta Solvente de nafta-xileno, % xileno Solvente de heptano-xileno, % xileno	Negativo para todos los grados Negativo para todos los grados Negativo para todos los grados									

NOTA: El uso de la prueba de mancha es opcional. El ingeniero deberá especificar el tipo de solvente cuando se va a usar la prueba, y en el caso de los solventes de xileno, deberá especificar el porcentaje de xileno a ser usado.

FIGURA 2.6 - Sistema de Clasificación por Penetración (AASHTO M 20).

Las tablas muestran, en los tres sistemas, propiedades que van más allá de viscosidad y penetración - propiedades como ductilidad, punto de inflamación, etcétera. Estas propiedades, y los ensayos correspondientes, serán discutidos mas adelante en esta sección.

PROPIEDADES QUÍMICAS DEL ASFALTO

El asfalto tiene propiedades químicas únicas que lo hacen muy versátil como material de construcción de carreteras. Los técnicos de asfalto y los diseñadores de pavimentos han aprendido a identificar y caracterizan estas propiedades y a usarlas, dentro de la estructura del pavimento, en la forma mas ventajosa posible. Una breve introducción de las propiedades más importantes ayudará al inspector a entender la naturaleza de los pavimentos de mezclas en caliente.

Debe observarse que ninguna de las tablas que describen los tres sistemas de clasificación de asfaltos mencionan composición química. Esto puede parecer sorprendente, debido a que la composición química es ciertamente uno de los medios usados, más precisos, para identificar las propiedades de cualquier sustancia. Sin embargo, existen varias razones por las cuales la química no ha llegado a ser parte de los sistemas de clasificación:

- En la actualidad no hay una prueba normal para composición química de asfaltos que sea aceptada mutuamente por los vendedores, los compradores y los usuarios del material.
- Los ensayos existentes para analizar composición química requieren de equipos sofisticados y pericia técnica que no esta disponible en la mayoría de los laboratorios donde se hacen pruebas de asfaltos.
- La relación entre la composición química del cemento asfáltico y su comportamiento en la estructura del pavimento es todavía incierta. Respecto a esto todavía hay muchas preguntas sin contestar.

De todas maneras, una breve descripción de la química del asfalto ayudará a que el inspector entienda la naturaleza del material.

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

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

Los maltenos se disuelven en el heptano. Son líquidos viscosos compuestos de resinas y aceites. Las resinas son, por lo general, líquidos pesados de color ámbar o pardo oscuro, mientras que los aceites son de color mas claro. Las resinas proporcionan las cualidades adhesivas (pegajosidad) en el asfalto, mientras que los aceites actúan como un medio de transporte para los asfaltenos y las resinas. La proporción de asfaltenos y maltenos en el asfalto puede variar debido a un sinnúmero de factores, incluyendo altas temperaturas, exposición a la luz y al oxigeno, tipo de agregado usado en la mezcla del pavimento, y espesor de la película de asfalto en las partículas de agregado. Las reacciones y cambios que pueden ocunir incluyen: evaporación de los compuestos mas volátiles, oxidación (combinación de moléculas de hidrocarburo con moléculas de oxigeno), polimerización (combinación de dos o mas moléculas para formar una sola molécula mas pesada), y otros cambios químicos que pueden afectar considerablemente las propiedades del asfalto. Las resinas se convierten gradualmente en asfaltenos, durante estas reacciones, y los aceites se convierten en resinas, ocasionando así un aumento en la viscosidad del asfalto. Este aumento de viscosidad con el envejecimiento es ilustrado en la Figura 2.9 en donde se indica el cambio en viscosidad después de una prueba normal de envejecimiento.

PROPIEDADES FÍSICAS DEL ASFALTO

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

■ Durabilidad

Durabilidad es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento. Es una propiedad juzgada principalmente a través del comportamiento del pavimento, y por consiguiente es difícil de definir solamente en

términos de las propiedades del asfalto. Esto se debe a que el comportamiento del pavimento esta afectado por el diseño de la mezcla, las características del agregado, la mano de obra en la construcción, y otras variables, que incluyen la misma durabilidad del asfalto.

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

■ Adhesión y Cohesión

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

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

■ Susceptibilidad a la Temperatura

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

La Figura 2.7 ilustra este punto. La figura muestra la susceptibilidad a la temperatura de dos asfaltos (Asfalto A y Asfalto B) que tienen el mismo grado de penetración pero que provienen de crudos de diferente origen. Obsérvese que a 25°C (77°F) la viscosidad de los dos asfaltos es la misma. Sin embargo, a cualquier otra temperatura las viscosidades son diferentes. Esto se debe a que los dos asfaltos tienen diferente susceptibilidad a la temperatura.

Lo mismo puede ocurrir con dos asfaltos con el mismo grado de viscosidad pero provenientes de crudos de diferente origen. La Figura 2.8, por ejemplo, muestra que el Asfalto C y el Asfalto D tienen la misma viscosidad a una temperatura de 60°C (140°F). Sin embargo, a cualquier otra temperatura las viscosidades son diferentes. La conclusión es que, sin importar el sistema de clasificación utilizado, puede haber asfaltos derivados de crudos diferentes con diferente susceptibilidad a la temperatura.

Es muy importante conocer la susceptibilidad a la temperatura del asfalto que va a ser utilizado pues ella indica la temperatura adecuada a la cual se debe mezclar el asfalto con el agregado, y la temperatura a la cual se debe compactar la mezcla sobre la base de la carretera. Puede observarse, en referencia a la Figura 2.7, que a temperaturas mayores de 25°C (77°F), las cuales abarcan todas las temperaturas de construcción, el Asfalto A es menos viscoso (más fluido) que el Asfalto B. Como resultado, la temperatura necesaria para que el Asfalto A sea lo suficiente fluido y pueda cubrir apropiadamente las partículas de agregado en la mezcla es menor que la temperatura necesaria para obtener los mismos resultados con el Asfalto B. Lo mismo ocurre con las temperaturas de compactación. Puede ser necesario

compactar una mezcla con el Asfalto A usando una temperatura menor que la requerida por una mezcla que contiene el Asfalto B.

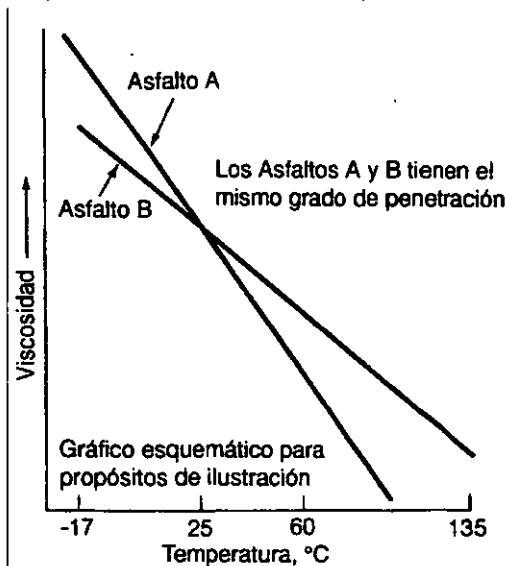
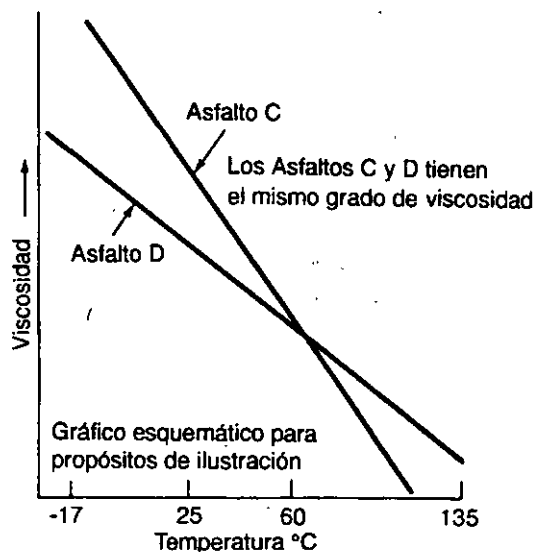


FIGURA 2.7 - Variación de Viscosidad con Temperatura de Dos Asfaltos Graduados por Penetración.
 $(^{\circ}F=9/5[^{\circ}C]+32)$

FIGURA 2.8 - Variación de Viscosidad con Temperatura de Dos Asfaltos Graduados por Viscosidad.
 $(^{\circ}F=9/5[^{\circ}C]+32)$



Debe entenderse qué es de vital importancia que un asfalto sea susceptible a la temperatura. Debe tener suficiente fluidez a altas temperaturas para que pueda cubrir las partículas de agregado durante el mezclado, y así permitir que estas partículas se desplacen unas respecto a otras durante la compactación. Luego deberá volverse lo suficiente viscoso, a temperaturas ambientales normales, para mantener unidas las partículas de agregado.

■ **Endurecimiento y Envejecimiento**

Los asfaltos tienden a endurecerse en la mezcla asfáltica durante la construcción, y también en el pavimento terminado. Este endurecimiento es causado principalmente por el proceso de oxidación (el asfalto combinándose con el oxígeno), el cual ocurre más fácilmente a altas temperaturas (como las temperaturas de construcción) y en

películas delgadas de asfalto (como la película que cubre las partículas de agregado).

El asfalto se encuentra a altas temperaturas y en películas delgadas mientras esta revistiendo las partículas de agregado durante el mezclado. Esto hace que la oxidación y el endurecimiento más severo ocurran en esta etapa de mezclado. La Figura 2.9 muestra el aumento en viscosidad debido al calentamiento de una película delgada de asfalto. El margen de viscosidad del material original (antes de la Prueba de Película Delgada en Horno Rotatorio - RTFO) es mucho menor que el margen obtenido después del calentamiento.

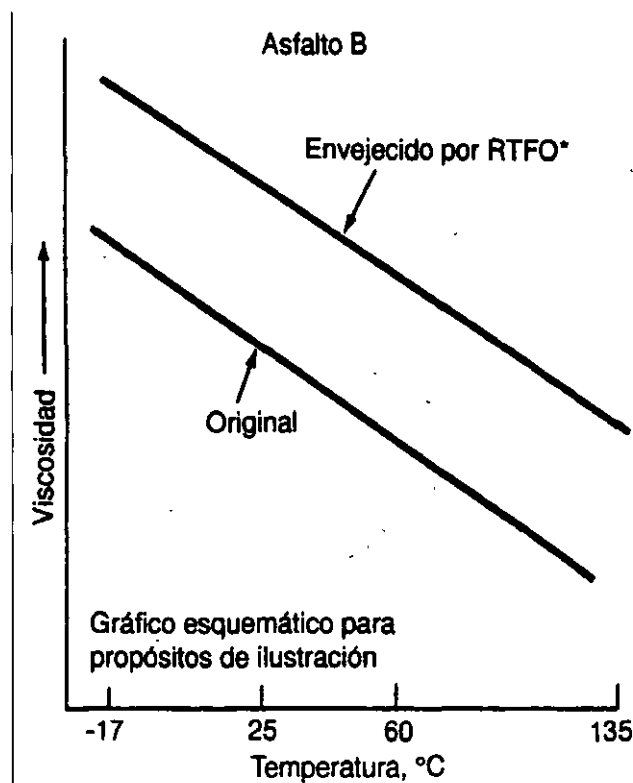


FIGURA 2.9 - Endurecimiento de Asfalto después de haber sido Expuesto a Temperaturas Altas. ($^{\circ}\text{F} = 9/5[^{\circ}\text{C}] + 32$)

*RTFO—Prueba de Película Delgada en Horno Rotatorio; utilizada para simular la exposición de asfalto en el amasadero.

No todos los asfaltos se endurecen a la misma velocidad cuando son calentados en películas delgadas. Por lo tanto, cada asfalto debe ser ensayado por separado para poder determinar sus características de envejecimiento, y así poder ajustar las técnicas constructivas para minimizar el endurecimiento. Estos ajustes incluyen mezclar el asfalto con el agregado a la temperatura más baja posible, y durante el tiempo mas corto que pueda obtenerse en la práctica.

BREVE RESEÑA HISTÓRICA

El asfalto es un material de los más antiguos que se conocen, se han encontrado esqueletos prácticamente intactos de animales prehistóricos en depósitos superficiales de asfalto, como el que existe en La Brea, cerca de Los Ángeles, California.

Recientes excavaciones arqueológicas muestran el extenso uso del asfalto en los valles de la Mesopotamia y del Indo, entre los años 3200 a 540 A.C., como un material cementante para la construcción de mamposterías y de caminos, y como impermeabilizante para baños en los templos y otros depósitos de agua. Se dice que Noé lo usó para calafatear su Arca y que también se empleó para sellar la canasta en que Moisés, siendo niño, fue depositado en las aguas del Nilo.

Por el año 300 A.C., los egipcios utilizaban ampliamente el asfalto para la preservación y momificación de sus muertos. Los Indios de América lo empleaban para impermeabilizar sus canoas, antes de que el hombre blanco llegara al Nuevo Continente; en México, los totonacas de la región de Papantla lo recogían de la superficie de las aguas para utilizarlo como medicina y como incienso para sus ritos; algunas tribus que habitaron las costas mexicanas lo masticaban para limpiar y blanquear su dentadura.

En el año de 1802 de nuestra era, se usó asfalto de roca en Francia para el terminado superficial de pisos, puentes y banquetas.

En 1838 se utilizó asfalto de roca importado para la construcción de banquetas en Filadelfia, Estados Unidos y en 1870 se colocó el primer pavimento asfáltico en dicho país, en la población de Newark, Nueva Jersey, por el químico belga E. J. Desmet, que usó roca asfáltica importada del Valle del Ródano en Francia. En 1876 se aplicó la primera capa de mezcla asfáltica con arena en la Ciudad de Washington, D.C., utilizando la roca asfáltica mencionada y también asfalto importado del Lago de Trinidad, cerca de Venezuela.

Los asfaltos empleados en estos primeros trabajos de pavimentación fueron desde luego asfaltos naturales, es decir, asfaltos que se muestran en la naturaleza en forma de yacimientos y que podían explotarse sin dificultad y sin requerir complicadas operaciones industriales para su preparación.

El uso de asfalto procedente de la destilación del petróleo se inició en los Estados Unidos en la segunda mitad del siglo XIX, contándose con las primeras refinerías por el año de 1886. El primer pozo petrolero de América se perforó en 1859, cerca de la población de Titusville, Pensylvania. En 1902 ya se produjeron del orden de 20 000 toneladas de asfalto como producto de la refinación del petróleo.

A partir del año de 1926, con el desarrollo de la industria automotriz y debido a la necesidad de contar con mejores caminos y calles para el tránsito de vehículos, la utilización de asfalto derivado del petróleo ha tenido un aumento anual sostenido en todas partes del mundo, sobre todo en los países industrializados.

En México, el uso generalizado del asfalto se inició por el año de 1925, al emprenderse la construcción de los primeros caminos pavimentados, como consecuencia del aumento de vehículos automotores, no obstante que desde años atrás existían ya empresas extranjeras que explotaban y exportaban grandes cantidades de petróleo crudo de nuestro país, en el que la exploración petrolera comenzó en forma incipiente a partir de 1900, haciéndose en forma sistemática y organizada a partir de 1942. En el año de 1914 se usaron en Estados Unidos más de 300 000 toneladas de asfaltos procedentes de crudos mexicanos. El primer pozo petrolero propiamente dicho se perforó en México en mayo de 1901, en la región de El Ébano, S.L.P.

ORIGEN DEL ASFALTO

Teorías existentes al respecto

Hemos mencionado anteriormente que las fuentes de donde procede el asfalto son los depósitos naturales y el petróleo crudo; de éste se extrae después de obtener las fracciones volátiles sometiéndolo a refinación o destilación. Puesto que los asfaltos naturales provienen de un proceso natural de destilación o transformación del petróleo, lo que realmente estaría en discusión es el origen del propio petróleo.

No se sabe exactamente como se formó el petróleo en el subsuelo. Las teorías sobre su origen son muchas y aún se sigue discutiendo hasta la fecha. Algunos investigadores defienden el origen mineral o inorgánico del petróleo y explican su formación de diversas maneras como las siguientes:

- A. Bajo la superficie terrestre existen carburos metálicos que en contacto con el agua se descomponen produciendo hidrocarburos, los que al condensarse en estratos superiores mas fríos, dieron lugar al petróleo.
- B. Los metales alcalinos que se encuentran en estado libre en el interior de la tierra reaccionan con el bióxido de carbono a altas temperaturas y estas reacciones, en contacto con el agua, producen los hidrocarburos que constituyen el petróleo.

Otros investigadores se inclinan por el origen orgánico del petróleo, sosteniendo que proviene de la descomposición de residuos de animales y vegetales que se han transformado en aceite. Este origen se estima mas razonable al comprobarse que los estratos en que se ha formado el petróleo no han estado nunca a temperaturas superiores a los 38° C, lo que descarta la teoría del origen inorgánico, ya que la obtención a partir de carburos metálicos requiere temperaturas mucho mas elevadas.

Estudios mas recientes hechos en laboratorio analizando rocas petrolíferas de campos productores, parecen confirmar un origen orgánico, ya que se han encontrado en ellas ciertas propiedades ópticas que sólo se localizan en sustancias orgánicas; por otro lado, el contenido de nitrógeno y otras sustancias en el petróleo, solamente puede proceder de materiales orgánicos.

También puede confirmar el origen orgánico, el hecho de que la mayor parte de los yacimientos de petróleo en el mundo se localizan en lugares que fueron ocupados por lagos y mares hace millones de años.

Asfaltos naturales

Los asfaltos naturales se manifiestan de diversas formas, entre las que destacan las siguientes:

MANANTIALES. Se presentan en algunos lugares fuentes de las que fluye petróleo o asfalto líquido, generalmente en pequeña cantidad. Proviene por lo común de depósitos de cierta importancia de materiales de este tipo con salida al exterior por alguna grieta de la roca.

LAGOS. A veces, manantiales como los descritos, pero de gran caudal, situados en el fondo de depresiones profundas, pueden dar lugar a la formación de lagos de asfalto, como el muy conocido de Trinidad, cerca de las costas de Venezuela, que es uno de los mayores yacimientos de asfalto nativo en el mundo. Su superficie total es de unas 46 hectáreas. La masa de asfalto en este lago está continuamente en movimiento desde el centro hacia los bordes, lo que se atribuye a la entrada continua en el lago, por la parte central, de la corriente de asfalto que lo forma. El material, en su estado natural, es una emulsión de asfalto, gases, agua, arena y arcilla; para su mejor aprovechamiento, se somete a sencillos procesos de refinación que le eliminan las sustancias perjudiciales. Se dice que Colón usó asfalto de este Lago Trinidad para calafatear sus barcos en su viaje de regreso a España. El lago proporcionó también la mayor parte del asfalto que se usó en Estados Unidos en los trabajos de pavimentación, antes de la producción en gran escala del asfalto derivado del petróleo.

EXUDACIONES. Se presentan en rocas muy porosas saturadas de asfalto, de las que éste fluye bajo los efectos del calor o de alguna presión interior.

IMPREGNANDO ROCAS. Son bastante frecuentes los yacimientos de rocas más o menos porosas en las que el asfalto se encuentra llenando parcial o totalmente los poros, pero sin llegar a exudar. La proporción de asfalto contenido en estas rocas puede variar dentro de límites muy amplios, siendo de más utilidad aquéllas cuya proporción de asfalto es mayor del 7%.

FILONES. Son intrusiones de asfalto en una masa rocosa, a través de grietas o fallas en algunos estratos o bien, son simplemente la sedimentación alternada de capas de asfalto y de otros materiales. El primer origen generalmente da lugar a filones inclinados o verticales y el segundo a filones horizontales. Es el caso de la llamada "Gilsonita" que se encuentra en algunas regiones de los Estados Unidos formando filones verticales que se explotan a cielo abierto. Son famosos los filones de asfalto que se encuentran en el lecho del Mar Muerto. El asfalto contenido en

ellos se denomina "Asfaltites", caracterizándose por su elevado punto de fusión; cuando se desprende alguna cantidad de asfalto de esos filones, por efecto de terremotos u otras sacudidas, los trozos de asfalto, por su menor densidad, flotan en la superficie, donde pueden recogerse. Este asfalto no se exporta industrialmente, ya que las cantidades que pueden obtenerse son muy pequeñas; su principal interés estriba en que fue una de las primeras fuentes de suministro de asfalto en la antigüedad.

Asfaltos derivados del petróleo

Casi todo el asfalto que se produce y utiliza actualmente en el mundo procede de la refinación del petróleo.

El petróleo se obtiene de yacimientos existentes en el subsuelo a diferentes profundidades, que pueden llegar a los 7 000 metros o más. Se presenta dentro de formaciones de tipo arenoso o calcáreo. Su color varía de ámbar a negro y su densidad es menor que la del agua. Se presenta generalmente encima de una capa de agua, hallándose en la parte superior una de gas. Las rocas almacenadoras de petróleo corresponden a muy diversas edades geológicas. En nuestro País, proceden generalmente del periodo terciario de la era cenozoica.

No todos los petróleos crudos contienen asfalto y en los que lo contienen, las proporciones de éste son muy variables. Los crudos de petróleo se dividen fundamentalmente en 2 grupos: crudos parafínicos y crudos asfálticos. Los últimos son desde luego los más adecuados para la obtención de asfaltos. Ya que la frontera entre los crudos asfálticos y parafínicos no puede ser rígida, existen también crudos intermedios, llamados semiparafínicos.

MATERIALES ASFÁLTICOS QUE SE OBTIENEN A PARTIR DEL PETRÓLEO

Cementos asfálticos y asfaltos oxidados

La figura 1 es un esquema de la obtención del petróleo y del proceso de destilación a que se somete en las refinerías para obtener los diferentes materiales asfálticos.

El petróleo crudo se hace circular a gran presión y velocidad por una tubería situada en el interior de un horno que alcanza elevadas temperaturas. Calentado a las temperaturas apropiadas se le introduce a una torre de destilación en donde se vaporizan los componentes más ligeros o más volátiles, que son extraídos y sometidos a un proceso de condensación y refinación, para obtener de ellos naftas, gasolinas, kerosinas, aceites y una amplia gama de otros productos.

El residuo que queda de este primer proceso de separación de las fracciones más ligeras del petróleo, puede usarse como un aceite combustible o ser procesado de una variedad de formas. Si sus características son adecuadas y ha sido refinado para alcanzar una consistencia apropiada, puede servir como uno de los asfaltos rebajados de fraguado lento (FL), a los que a veces se les denomina aceites para caminos.

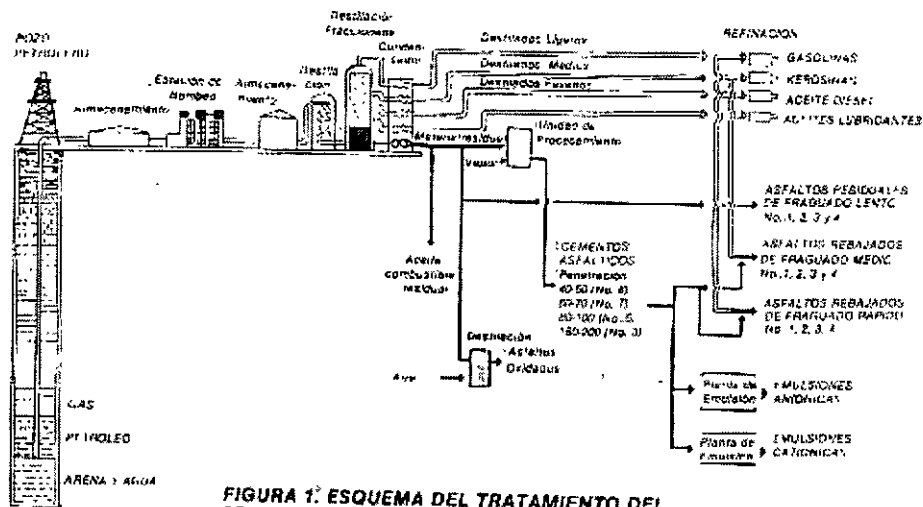


FIGURA 1. ESQUEMA DEL TRATAMIENTO DEL PETRÓLEO PARA OBTENER LOS DIVERSOS PRODUCTOS ASFÁLTICOS

El mismo residuo, si se le reduce a una determinada consistencia y se le inyecta aire a elevada temperatura, se obtiene lo que se llama un asfalto soplado u oxidado, que tiene propiedades que permiten utilizarlo para una diversidad de aplicaciones y de productos industriales, que incluyen asfalto para impermeabilización de azoteas, esmaltes para recubrimiento de tuberías, asfaltos para el sellado y levantamiento de pavimentos de concreto hidráulico que ha sufrido asentamientos y muchos otros.

Cuando el residuo de la destilación reúne buenas características para producir asfalto de propiedades adecuadas para los trabajos de pavimentación, y que generalmente es la mayor cantidad, se somete a un proceso de refinación posterior para obtener el cemento asfáltico, que es, por decirlo así, el asfalto básico para la elaboración de los demás materiales asfálticos utilizables en la construcción y conservación de obras viales. Existen dos métodos para la producción comercial del cemento asfáltico: el método de destilación y el método de extracción de solventes.

En el método de destilación, el residuo de la primera separación de las fracciones ligeras, se calienta a una temperatura adecuada y se alimenta a otra torre de destilación, en la que generalmente se produce un vacío parcial para facilitar el proceso. También se introduce a menudo vapor cerca del fondo de la torre, para abatir la presión parcial del sistema y ayudar a remover cualquier aceite ligero contenido en el asfalto. Se extraen las nuevas fracciones destiladas y el proceso se controla adecuadamente para producir un cemento asfáltico de la consistencia deseada.

El método de extracción de solventes hace uso de una fracción ligera de hidrocarburo de limitado poder de disolución, tal como el propano líquido. Se mezcla dicho solvente con el residuo de la primera destilación que hemos venido mencionando y esto hace que se produzca una separación en 2 fases: por un lado aceites y ceras y por el otro el asfalto. Un simple proceso de decantación permite separar las 2 fases. Controlando adecuadamente la operación se llega a obtener el cemento asfáltico de la consistencia requerida.

Es decir, el cemento asfáltico no es otra cosa que el asfalto que hemos definido anteriormente, pero obtenido a través de un proceso controlado de refinación del

petróleo, que le imparte características adecuadas para emplearse en los trabajos de pavimentación. Es por tanto también un material sólido o semisólido a las temperaturas ambientes normales. Dependiendo de su consistencia o grado de dureza, existen varios tipos de cementos asfálticos, según se verá más adelante.

Para utilizar el cemento asfáltico en las obras citadas, es necesario fluidificarlo mediante calentamiento a elevadas temperaturas. Si se requiere hacer mezclas o aplicaciones de asfalto en frío, habrá que licuar el cemento asfáltico por otros procedimientos, que consisten fundamentalmente en mezclarle solventes ligeros del petróleo, con lo que se obtienen los asfaltos rebajados, o emulsionarlo en agua, dando lugar a las emulsiones asfálticas, productos ambos que se describen a continuación.

Es común designar a los cementos asfálticos, asfaltos rebajados y emulsiones asfálticas como materiales asfálticos.

Asfaltos rebajados

Los asfaltos rebajados son mezclas de cemento asfáltico con fracciones ligeras del petróleo. Estas fracciones se denominan generalmente solventes o diluentes. Cuando el solvente es del tipo de la nafta o gasolina se obtienen los asfaltos rebajados de fraguado rápido (FR). Si el solvente es semejante a la kerosina, se obtienen los asfaltos rebajados de fraguado medio (FM). La consistencia de estos productos está regida por las cantidades relativas y por las propiedades del solvente y del cemento asfáltico presentes. El otro tipo de asfalto rebajado está constituido por los de fraguado lento (FL), los cuales contienen cemento asfáltico y aceites ligeros; generalmente se obtienen directamente a partir del residuo de la primera destilación del petróleo, como ya se citó anteriormente. El proceso de obtención de los diferentes tipos de asfalto rebajado se lleva a cabo en las refinerías.

Emulsiones asfálticas

Las emulsiones asfálticas son dispersiones de diminutos glóbulos de asfalto en agua. Generalmente se requiere una pequeña cantidad de un agente activador de superficie o emulsificante, para ayudar a la referida dispersión. Los glóbulos de asfalto son extremadamente pequeños y casi enteramente de tamaño coloidal (del orden de las 2 micras). Las emulsiones asfálticas se preparan en mezcladores de alta velocidad o molinos coloidales.

Se fabrican comercialmente 2 tipos de emulsiones asfálticas: las emulsiones aniónicas y las emulsiones catiónicas. Los 2 tipos se elaboran a partir de cementos asfálticos de determinadas consistencias. Una forma modificada de emulsión asfáltica puede fabricarse usando un asfalto líquido de fraguado rápido, medio o lento. Estas son las llamadas emulsiones inversas, lo que indica que el agua es dispersada en la fase de asfalto, en vez de que el asfalto sea el que se disperse en la fase acuosa. Se usa una variedad de agentes emulsificantes para controlar las propiedades de las emulsiones asfálticas.

COMPOSICIÓN DEL ASFALTO

Componentes fundamentales

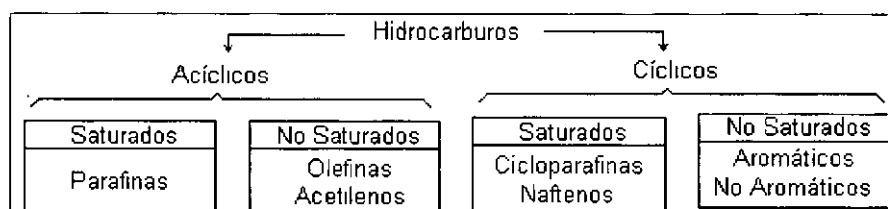
El asfalto es un compuesto constituido fundamentalmente por la mezcla de un gran número de hidrocarburos de diversos tipos, asociados en proporciones también muy variables.

La mayoría de estos hidrocarburos están presentes en el petróleo crudo, pero el proceso de destilación origina ciertas transformaciones químicas y hace que se eliminen los hidrocarburos ligeros, quedando en el asfalto sólo hidrocarburos pesados.

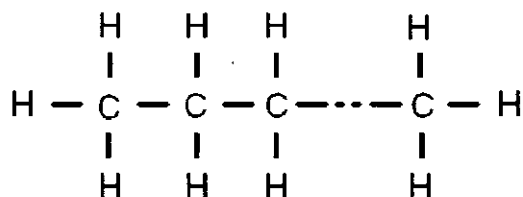
En los hidrocarburos constituyentes del asfalto los átomos de carbono se unen entre sí mediante cadenas o enlaces sencillos, dobles o triples y cuyas valencias libres se saturan con átomos de hidrógeno.

Clasificación general de los hidrocarburos

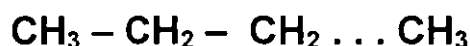
Los hidrocarburos pueden clasificarse en general, de la siguiente manera:



Los hidrocarburos acíclicos son aquéllos en los que la cadena de átomos de carbono no se cierra. Son saturados, si todos los enlaces entre los átomos de carbono son simples, y no saturados, en caso contrario. Unos y otros pueden ser ramificados si un átomo de hidrógeno es sustituido por una nueva cadena de carbonos. Los hidrocarburos acíclicos saturados se llaman parafinas y su fórmula es del tipo siguiente:

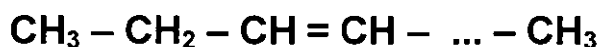


Que se puede escribir más simplemente:



El número de átomos de carbono puede variar desde uno (CH_4), hasta valores teóricamente tan grandes como se quiera. Los cuatro primeros términos de la serie son gaseosos, del 5 al 16 son líquidos y los demás sólidos. Las parafinas se caracterizan químicamente por su gran estabilidad.

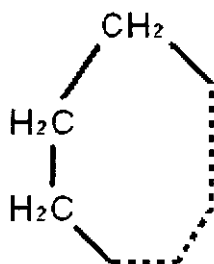
Los hidrocarburos acíclicos en que existen enlaces dobles se llaman olefinas. Su fórmula típica es:



El número mínimo de átomos de carbono es de 2. Los cuatro primeros términos de la serie son gaseosos; hasta el 18, son líquidos y los demás sólidos. Hierven a temperaturas ligeramente más altas que los hidrocarburos saturados del mismo número de átomos de carbono. Tienen gran tendencia a combinarse químicamente con multitud de sustancias y polimerizarse, es decir, a reunir varias de sus moléculas, dando lugar a un cuerpo más pesado.

Los hidrocarburos cíclicos que presentan un triple enlace entre 2 átomos de carbono se denominan hidrocarburos acetilenos.

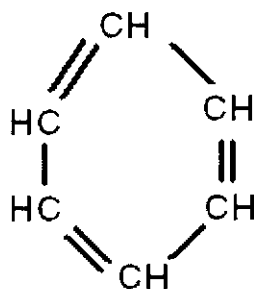
Los hidrocarburos cíclicos son aquéllos en que la cadena de átomos de carbono llega a cerrarse, formando anillos. Los hidrocarburos cíclicos saturados se llaman cicloparafinas o naftenos, cuya fórmula general es:



Los tipos más estables y, por tanto, más frecuentes, tienen 5 o 6 carbonos. En estos hidrocarburos cíclicos, igual que en los acíclicos, uno o varios átomos de hidrógeno pueden estar sustituidos por nuevas cadenas de átomos de carbono.

Las propiedades de los naftenos son muy similares a las de las parafinas. Las principales diferencias son mayor densidad y punto de ebullición más elevado que las parafinas correspondientes.

En los hidrocarburos cíclicos no saturados, uno o varios de los enlaces entre átomos de carbono son dobles. Son especialmente interesantes los hidrocarburos aromáticos, de los que el ejemplo típico es el benceno:



Son hidrocarburos caracterizados por la gran estabilidad del núcleo hexagonal presente en todos ellos. Los diferentes tipos de hidrocarburos que hemos mencionado pueden combinarse entre sí en infinidad de compuestos formados por uniones de cadenas parafínicas y olefínicas, anillos nafténicos simples o múltiples y anillos bencénicos, dando lugar a moléculas muy complicadas y prácticamente imposibles de clasificar.

Estructura físico-química del asfalto

El estudio de la composición química del asfalto en su conjunto resulta complicado, por lo que es frecuente recurrir al procedimiento de analizar primeramente su estructura física, que permite clasificar sus componentes en varias fracciones, y luego estudiar la composición química de cada una de estas fracciones en forma separada.

Los hidrocarburos que constituyen el asfalto forman una solución coloidal en la que un grupo de moléculas de los hidrocarburos más pesados están rodeadas por moléculas de hidrocarburos más ligeros, sin que exista una separación franca entre ellas, sino por el contrario, una transición gradual.

Los núcleos de hidrocarburos más pesados forman los asfaltenos. Rodeando a los asfaltenos existen las resinas, que constituyen la fase intermedia y, finalmente, ocupando el espacio restante, se encuentran los aceites.

Podemos representar esquemáticamente la estructura física del asfalto como se muestra en la Figura 2.

La separación del asfalto en sus 3 fracciones o componentes principales, puede lograrse si se le disuelve en un hidrocarburo saturado de bajo punto de ebullición, con el que se logra romper la estructura coloidal, disolviéndose parte del material, mientras que el resto precipita en forma de partículas terrosas de color muy oscuro. Los cuerpos que precipitan son los asfaltenos y a los que se disuelven se les llama maltenos, estando integrados por las resinas y los aceites.

Las resinas y los aceites que constituyen los maltenos se separan a su vez haciendo pasar la solución anterior a través de un filtro de arcilla activada, que retiene las resinas y conserva en disolución los aceites. Los aceites pueden separarse de la solución destilando ésta y las resinas lavando el filtro con un disolvente más activo y destilando también posteriormente.

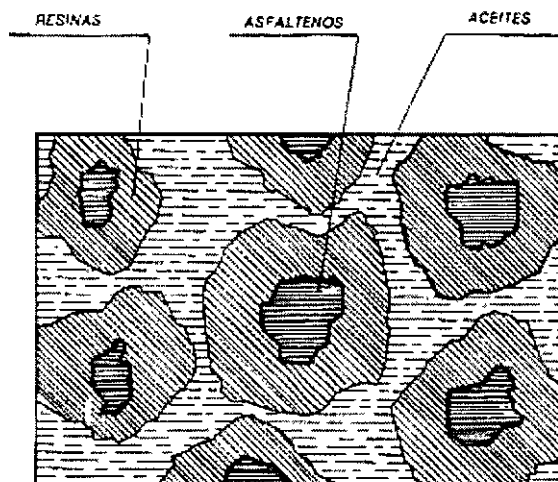


FIGURA 2. REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LOS COMPONENTES DEL ASFALTO

La distinción que hemos hecho entre asfaltenos, resinas y aceites, no es absoluta, ya que las proporciones varían con el tipo de disolvente empleado en la precipitación de los asfaltenos y con el tipo de filtro empleado para la separación de las resinas, de tal manera que si se da como característica de un asfalto su contenido de asfaltenos, debe indicarse simultáneamente el tipo de disolvente empleado para la separación.

Esto confirma el hecho real de que no existen en la composición coloidal del asfalto fronteras bien definidas entre las fases, sino que todos sus componentes ordenan en una transición gradual que va desde los asfaltenos más pesados hasta los aceites más ligeros, del mismo modo que se pasa insensiblemente de un color a otro en el espectro luminoso.

Los métodos disponibles para el análisis químico de los asfaltenos y de los maltenos (resinas y aceites), como por ejemplo, el método de la combustión, revelan que los asfaltenos se componen de hidrocarburos aromáticos con pocas cadenas parafínicas y los maltenos están constituidos principalmente por hidrocarburos saturados, tanto nafténicos como parafínicos, con cierto número de anillos aromáticos, elevado en las resinas pesadas y reducido en los aceites ligeros.

Otros materiales presentes en el asfalto

Además de los hidrocarburos que, como hemos indicado, son los componentes fundamentales de asfalto, tanto en el asfalto natural como en el procedente de la destilación del petróleo, se encuentran a veces trazas de oxígeno, nitrógeno, azufre y algunos otros elementos, cuya forma de presentación no es bien conocida

En los asfaltos naturales existen además diversas sustancias minerales, algunas de las cuales son simples impurezas que se sedimentan cuando se funden dichos asfaltos y otras existen en suspensión coloidal unidas íntimamente a la masa del propio asfalto y no son separables por filtración, de tal manera que a veces modifican sus propiedades en medida importante, facilitando en determinados casos

algunas aplicaciones. En estos asfaltos naturales existen igualmente otras impurezas de origen vegetal, procedentes de los suelos existentes en el lugar del yacimiento.

Asimismo, tanto en los asfaltos nativos como en los que se obtienen de la destilación del petróleo, es factible encontrar trazas del metal de los hornos o depósitos con los que han estado en contacto.

PROPIEDADES DEL ASFALTO

Características generales que imparten al asfalto sus diferentes componentes: asfaltenos, resinas y aceites.

Los asfaltenos son responsables de las características de dureza de los asfaltos. Las resinas le proporcionan sus propiedades cementantes o aglutinantes y los aceites la consistencia adecuada para hacerlos trabajables.

Cuando los núcleos de asfaltenos y resinas se encuentran dentro de una gran proporción de aceites, la consistencia del asfalto está fijada por los aceites.

Si por un proceso de destilación, por ejemplo, reducimos el contenido de aceites, los núcleos de asfaltenos comienzan a ponerse en contacto y la fricción que este fenómeno origina hace que el asfalto adquiera viscosidad. La proporción en que exista cada uno de los componentes determina, por tanto, la consistencia del asfalto. En el caso de los cementos asfálticos predominan los asfaltenos y las resinas y es bajo el contenido de los aceites.

Los aceites protegen a los asfaltenos y a las resinas de la oxidación provocada por los agentes del intemperismo y es lógico pensar que esta protección será más eficiente, cuanto mayor sea la proporción de aceites en el asfalto. Esta acción del intemperismo produce cambios en la estructura interna del asfalto, haciendo que con el tiempo los aceites se transformen en resinas y éstas a su vez en asfaltenos, lo cual hace aumentar la dureza del asfalto al incrementarse la proporción de los citados asfaltenos.

Este efecto del intemperismo es menos perjudicial cuando el asfalto se aplica en películas que no son muy delgadas, por lo que en el caso de mezclas para capas de rodamiento, conviene que la película de asfalto sea lo más gruesa posible, compatible, desde luego, con la estabilidad de la capa; cuando la película es muy delgada, se aceleran los cambios en la estructura del asfalto, se origina una rigidez inconveniente en la mezcla y se propicia su agrietamiento.

Propiedades superficiales e interfaciales que influyen en la adhesividad o adherencia del asfalto con los materiales pétreos.

La adhesividad entre agregado y asfalto puede definirse como la propiedad de éste de adherirse a la superficie del agregado y de mantener esta condición en presencia del agua. El fenómeno por el que se efectúa la adhesividad o adherencia del asfalto al material pétreo es un fenómeno complejo y existen varias teorías que pretenden explicarla. Entre ellas, son dignas de mencionarse las siguientes:

EL CONCEPTO DE REACCIÓN QUÍMICA. Cuando los agregados son "mojados" por el asfalto ocurre una adsorción selectiva en la frontera, seguida de una reacción química entre el material adsorbido y los constituyentes de la fase sólida. Bajo estas condiciones, los componentes ácidos del material bituminoso reaccionan con el material básico del agregado para formar compuestos insolubles en el agua. De acuerdo con esto, los agregados que contienen un exceso de constituyentes básicos son hidrófobos, como las calizas y las dolomitas, y los que contienen un exceso de constituyentes ácidos son hidrófilos, como la cuarcita y el granito.

EL CONCEPTO MECÁNICO. Según este concepto, la textura superficial agregado es el factor principal que afecta la adhesividad mecánica. Factores tales como el tamaño de las caras de los cristales individuales, porosidad agregado, adsorción, cubrimiento de la superficie y angulosidad de partículas, influyen mecánicamente en la adhesividad en presencia del agua.

EL CONCEPTO DE ENERGÍA EN LA SUPERFICIE. Se considera que la adhesividad es el resultado de las relaciones de energía interfacial en la frontera agregado-asfalto-agua-aire, que permiten explicar los mecanismos de cubrimiento, mojado y desprendimiento de la superficie del agregado. Generalmente cuando un líquido y un sólido se ponen en contacto, el líquido: puede no cubrir ni mojar la superficie sólida; b) puede cubrir la superficie mojarla; o c), puede cubrir y mojar la superficie. El grado de cubrimiento, mojado y desprendimiento es una función de la tensión superficial, la tensión interfacial y la tensión de adhesión de las fases involucradas. Generalmente tensión de adhesión agua-agregado es mayor que la de asfalto-agregado; por tanto, el agua tenderá a desalojar o desprender la cubierta asfáltica en la frontera. La cantidad de desprendimiento dependerá de la magnitud de las energías libres que están en juego.

Dentro de estas 3 teorías, la que corresponde al concepto de energía en la superficie es la más ampliamente aceptada. Proporciona una base física para establecer una expresión cuantitativa y una evaluación de las condiciones de adhesividad y el efecto del agua. Esta expresión puede obtenerse del estado de equilibrio de las fuerzas interfaciales en el punto de contacto de agregado, agua y asfalto.

Para que exista el cubrimiento, la tensión interfacial agregado-asfalto, debe por tanto ser menor que la tensión interfacial agua-asfalto y es ésta desde luego la condición primaria que se requiere para que pueda existir adhesividad, pues si no hay cubrimiento no tiene sentido hablar de adhesividad. Entre menor sea el ángulo de contacto, mayor será el potencial de adhesividad entre el agregado y el asfalto. Logrado el cubrimiento, la mayor o menor adhesividad estará en función de la mayor o menor atracción que exista entre la superficie del material pétreo y el asfalto, la que a su vez dependerá de las cargas eléctricas presentes en la superficie de contacto.

Los materiales básicos mencionados anteriormente, presentan por lo general una superficie electropositiva y en los de naturaleza ácida la superficie tiene cargas electronegativas. Por tanto, un asfalto con cargas eléctricas negativas, tendrá buenas características de adhesividad con los materiales básicos, por la atracción eléctrica existente y no presentará adecuada adhesividad con los materiales ácidos,

al tener éstos cargas del mismo signo. Análogamente, si el asfalto tiene cargas eléctricas positivas, será atraído por los materiales ácidos que son electronegativos y no lo será por los materiales básicos, cuyas cargas son electropositivas.

Por tanto, las mejores condiciones de adhesividad entre un asfalto y un material pétreo se presentarán cuando la tensión superficial del asfalto sea baja y al mismo tiempo las cargas eléctricas existentes en uno y otro, sean de signos opuestos.

Procedimientos para mejorar las características de adhesividad asfalto - agregado

La durabilidad de las mezclas asfálticas de pavimentación puede lograrse asegurando y manteniendo la adherencia entre asfalto y agregado en presencia del agua. La pérdida de adhesividad en la mezcla, que ocasiona el desprendimiento de la película de asfalto, induce inestabilidad y propicia condiciones de falla en el pavimento. Esta situación puede observarse con frecuencia en mezclas asfálticas en las que se han usado materiales pétreos hidrófilos.

No siempre es posible elegir el tipo de agregados adecuados para obtener características durables de adhesividad en las mezclas asfálticas. En algunos lugares sólo se dispone de materiales hidrófilos y ya que el acarreo de agregados de buena calidad desde zonas alejadas resulta antieconómico, es inevitable uso de dichos materiales locales, por lo que debe recurrirse entonces a ciertas modificaciones para asegurar una buena adhesividad. Tales modificaciones pueden ser

Modificación de las propiedades adhesivas del asfalto, mediante el uso de agentes tenso-activos, que abaten su tensión superficial.

Modificación de las propiedades superficiales del material pétreo mediante la aplicación, previa a la elaboración de la mezcla o la construcción de un tratamiento superficial, en su caso, de una solución de cemento Pórtland-agua o cal hidratada-agua. La acción de estos fillers en la mezcla puede ser similar a la que se logra con los agentes tenso-activos que se agregan al asfalto.

Cambios en el tipo de asfalto, que no afecten las características generales del trabajo o tratamientos al material pétreo, como lavado, trituración, etc., que hagan que las partículas del mismo ofrezcan caras más favorables para una mejor adhesividad.

Propiedades reológicas

La reología es la rama de la Mecánica que estudia el comportamiento de la materia a través del tiempo de aplicación de una carga, e incluye propiedades de flujo y deformación, como la viscosidad, ductilidad, fragilidad, etc.

La estructura coloidal de los ligantes asfálticos hace bastante complicado el estudio de sus propiedades reológicas, que se dificulta aún más por el acentuado carácter termoplástico de estos materiales. Este carácter, o sea la propiedad que tienen de ablandarse y hacerse deformables por efecto del calor, recuperando al enfriarse sus

propiedades originales, es el que ha hecho posible el empleo del asfalto como ligante desde la más remota antigüedad, pero es también el que más complica sus propiedades reológicas, pues todas deben estudiarse en general como funciones de la temperatura representadas por curvas o menos complicadas.

Consistencia y susceptibilidad

La consistencia de un asfalto, como de cualquier otro material, es el estado físico que presenta en un momento dado, con relación a los estados sólido, sólido y gaseoso de la materia. Como lo hemos mencionado anteriormente, el asfalto, a las temperaturas ambientes normales, es un material sólido o semisólido que mediante calentamiento pasa gradualmente al estado líquido. Es decir, la consistencia del asfalto depende principalmente de su temperatura, propiedad que se menciona usualmente como susceptibilidad.

MUESTREO DE MATERIALES ASFÁLTICOS

Aquí se describe el procedimiento para el muestreo de los materiales asfálticos, a fin de comprobar que éstos cumplan con los requisitos de calidad establecidos en dicha Norma.

El muestreo consiste en obtener una porción representativa del volumen de material asfáltico en estudio. Se realiza en materiales almacenados en uno o varios depósitos o durante las maniobras de carga, descarga o aplicación. El muestreo incluye las operaciones de envase, identificación y transporte de las muestras.

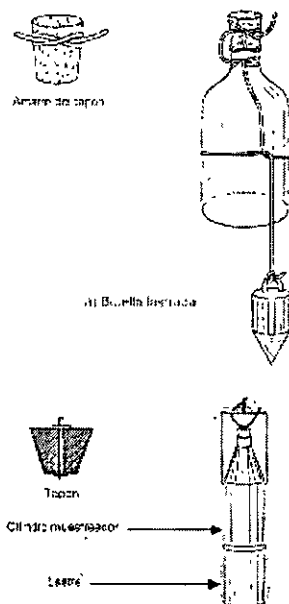
MUESTREO EN UN SOLO DEPÓSITO

El muestreo del material asfáltico que esté almacenado en un solo depósito, como tanque estacionario, fosa o carro tanque, se hace tomando en cuenta lo siguiente.

Previamente se observan las condiciones en que se encuentra el material asfáltico, y en caso de que existan cantidades apreciables de impurezas tales como sedimentos, agua libre o espuma, entre otros, se estima el volumen de éstas, y de ser necesario se toman muestras de dichas impurezas para su identificación.

Los materiales asfálticos sólidos o semisólidos se calientan solamente lo indispensable para facilitar su muestreo.

Para la ejecución del muestreo, todo el equipo a emplear ha de estar en condiciones óptimas para su uso, limpio, completo en todas sus partes y sin desgaste. Consiste fundamentalmente en un muestreador como los que se ilustran en la Figura 1 de este Manual, formado por un recipiente metálico o de vidrio, convenientemente lastrado y provisto de un tapón de corcho que pueda retirarse desde el exterior mediante una cadena o cordel. El recipiente ha de estar sujeto al extremo de una varilla metálica o de madera, o bien a otro cordel, de tal forma que estando tapado y con la boca hacia arriba pueda sumergirse hasta la profundidad deseada.



Para la obtención de las muestras de material asfáltico de un depósito, se procede como se indica a continuación:

Para extraer las muestras, se sumerge el muestreador perfectamente seco y limpio, tomándolas, en su caso, de la parte media o de los tercios superior, medio e inferior del contenido del depósito. El número de muestras, así como su nivel de extracción, se determina según lo indicado en la Tabla 1 de este Manual.

Cada muestra será de aproximadamente 2 L en el caso de cementos asfálticos y de 4 L si se trata de emulsiones asfálticas o asfaltos rebajados. Para obtener estos volúmenes es necesario llenar varias veces el muestreador, introduciéndolo a igual profundidad cuando se integre una misma muestra, evitando alterar las condiciones del material que está siendo muestreado.

TABLA 1.- Número de muestras y nivel de muestreo en función del tirante de asfalto en el depósito

Tirante del material asfáltico en por ciento del tirante máximo	Nivel de muestreo en por ciento del tirante máximo			Número total de muestras
	Superior	Medio	Inferior	
100	80	50	20	3
90	75	50	20	3
80	70	50	20	3
70	---	50	20	2
60	---	50	20	2
50	---	40	20	2
40	---	---	20	1
30	---	---	15	1
20	---	---	10	1
10	---	---	5	1

[1] El tirante máximo corresponde al diámetro vertical de tanques horizontales o la altura de depósitos verticales.

[2] Se debe extraer una muestra por cada nivel señalado.

[3] Cuando el tirante sea menor del 10% no se debe utilizar el material asfáltico.

Las muestras obtenidas a distintas profundidades se depositan en diferentes recipientes con objeto de analizar cada una y determinar si existe heterogeneidad en el material; sólo en el caso de que éste vaya a ser homogeneizado para su utilización, se pueden mezclar para formar una muestra integral, como sigue:

Si se trata de depósitos verticales, la muestra integral se forma con partes iguales de las muestras tomadas a diferentes profundidades según lo indicado en la Tabla 1.

Si se trata de tanques cilíndricos horizontales, la muestra integral se forma de acuerdo con lo indicado en la Tabla 2.

TABLA 2.- Composición de muestras integrales de materiales asfálticos que se almacenen en tanques cilíndricos horizontales

Tirante del material asfáltico en por ciento del diámetro vertical	Porcentajes en volumen para formar la muestra integral		
	Superior	Medio	Inferior
100	30	40	30
90	30	40	30
80	20	50	30
70	---	60	40
60	---	50	50
50	---	40	60
40	---	---	100
30	---	---	100
20	---	---	100
10	---	---	100

MUESTREO EN VARIOS DEPÓSITOS

El muestreo del material asfáltico que esté envasado en varios recipientes o depósitos, como tambores o cuñetes, se hace tomando en cuenta lo siguiente:

Previamente al muestreo, se evalúa el estado físico en que se encuentra el material asfáltico y se agrupan los recipientes por lotes del mismo producto, origen y fabricación, para fijar el número de muestras parciales que deban obtenerse.

Para la ejecución del muestreo, todo el equipo a emplear ha de estar en óptimas condiciones para su uso, limpio, completo en todas sus piezas y sin desgaste.

El equipo que se requiere cuando el material asfáltico esté en estado líquido, es el que se describió o bien, si está en estado sólido o semisólido, herramientas como hacha, martillo y espátula.

OBTENCIÓN DE LA MUESTRA

Para la obtención de las muestras de material asfáltico envasado en varios recipientes o depósitos, se procede como se indica a continuación:

Según lo indicado en la Tabla 3 de este Manual, se determina el número de recipientes o depósitos a muestrear, seleccionándolos aleatoriamente. Si en un almacenamiento se encuentran depósitos con material asfáltico de dos o más lotes, se aplica lo anterior a cada uno de ellos.

TABLA 3.- Número de depósitos a muestrear

Número de depósitos que forman el lote (Lo)	Número de depósitos que deben muestrearse (n)
2 a 10	2
11 a 30	3
31 a 65	4
66 a 125	5
126 a 215	6
216 a 345	7
346 a 515	8
516 a 735	9
736 a 1000	10
más de 1000	$n=Lo^{1/3}$

En cada uno de los depósitos seleccionados de materiales asfálticos líquidos, se procede como se indicó anteriormente, excepto que el muestreo puede efectuarse en uno o dos niveles, obteniendo las muestras de lugares que disten más de 10 cm de la superficie del material y de las paredes del depósito. Las muestras tomadas se prueban en forma individual si así se requiere o bien, pueden mezclarse para formar una muestra integral.

Cuando se trate de materiales asfálticos sólidos o semisólidos, que no resulte práctico fluidificar para el muestreo, se utiliza hacha, cincel, o herramienta similar. Una vez que han sido seleccionados los recipientes o depósitos de acuerdo con lo indicado anteriormente, se toman muestras de aproximadamente 2 kg, a una profundidad mayor de 10 cm de la superficie del material asfáltico, en su parte central.

MUESTREO DURANTE LAS MANIOBRAS DE CARGA Y DESCARGA O DE APLICACIÓN DEL MATERIAL ASFÁLTICO.

El muestreo durante las maniobras de carga y descarga o de aplicación del material asfáltico, se hace directamente en el conducto de la descarga, tomando tres porciones, en recipientes de 2 L de capacidad y de boca ancha, una al iniciarse la maniobra, otra a la mitad y la última al final. Las porciones tomadas se mezclan en un recipiente limpio, del que se obtiene una muestra integral de 2 L si se trata de cementos asfálticos o de 4 L en el caso de emulsiones asfálticas o asfaltos rebajados.

ENVASE, IDENTIFICACIÓN, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

Las muestras obtenidas se envasan, identifican, transportan y almacenan, tomando en cuenta lo siguiente:

Las muestras se envasan en recipientes de volumen suficiente, perfectamente limpios y secos antes de ser llenados, que pueden ser de lámina, vidrio o plástico cuando se trate de emulsiones asfálticas o asfaltos rebajados, y solamente de lámina de boca ancha cuando se trate de cementos asfálticos. Durante el envase se han de tener las siguientes precauciones:

- Que las muestras no se contaminen con polvo u otras materias extrañas.
- Que los recipientes queden llenos cuando se trate de materiales asfálticos líquidos y en cualquier caso, perfectamente tapados con objeto de evitar pérdidas de su contenido.
- Que en ningún caso utilicen tapones de hule.

IDENTIFICACIÓN

Las muestras se identifican mediante etiquetas que se fijan en los envases, en las cuales se anotan los siguientes datos claramente escritos:

- Remitente
- Tipo de material
- Procedencia del material
- Número de lote
- Tamaño del lote (expresado mediante el número de recipientes o depósitos que compone el lote y el volumen o masa promedio del material que contiene cada uno, o cuando se trate de un solo depósito, mediante el volumen de material que contiene)
- Fecha de fabricación o suministro del material
- Uso a que se destina
- Obra
- Tipo de muestra (parcial o integral) y su número
- Lugar de muestreo
- Temperatura del producto al momento del muestreo, con una aproximación de $\pm 1^\circ \text{C}$.
- Nivel a que se tomó la muestra
- Observaciones
- Fecha y hora del muestreo

Los datos indicados en el Inciso anterior también se anotan en una libreta de campo, así como todas las observaciones que se consideren necesarias.

TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

Para transportar las muestras correctamente envasadas, del sitio de su obtención al laboratorio encargado de su análisis, se acomodan en el vehículo de transporte de tal modo que no se golpeen o dañen. Una vez recibidas en el laboratorio, se registran asignándoles un número de identificación para su prueba y se almacenan perfectamente tapadas en lugares frescos que no estén sujetos a cambios bruscos de temperatura. En general no es conveniente conservar las muestras en el laboratorio durante más de un mes antes de ser ensayadas.

VISCOSIDAD DINÁMICA DE CEMENTOS Y RESIDUOS ASFÁLTICOS

Este Manual describe el procedimiento de prueba para determinar la viscosidad dinámica de los cementos asfálticos o residuos de la destilación de emulsiones y asfaltos rebajados, en muestras tomadas conforme al Manual para *Muestreo de Materiales Asfálticos*.

Esta prueba permite determinar la consistencia de los materiales asfálticos mediante sus características de flujo a una temperatura de 60° C (40° F). Es aplicable a materiales asfálticos que tengan una viscosidad 4.2 a 20 000 Pa.s (42 a 200 000 P).

La prueba consiste en determinar el tiempo que tardan en pasar 20 mL del material por probar a través de un tubo capilar al vacío bajo condiciones de presión y temperatura preestablecidas, corregido por el factor de calibración del viscosímetro.

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, calibrado, limpio y completo en todas sus partes. Todos los materiales por emplear serán de alta calidad, considerando siempre la fecha de su caducidad.

VISCOSIMETRO

De tipo capilar, cilíndrico, hecho de vidrio de borosilicato templado. Puede ser de los siguientes tipos:

Viscosímetro capilar de vacío del Instituto del Asfalto (AIVV)

Como el mostrado en la Figura 1 y que cumpla con las características establecidas en la Tabla 1. Contará con bulbos de medición (B, C y D) localizados en el brazo (M) del viscosímetro, el cual es un capilar de vidrio perforado de precisión. Los bulbos serán segmentos capilares y estarán separados por marcas para cronometraje (F, G, H, I). Además, el viscosímetro contará con un soporte que lo mantenga en posición vertical cuando se coloque en el baño. Este soporte se puede conseguir comercialmente; sin embargo, es posible fabricar uno, taladrando dos orificios en un tapón N°11 de hule, de 22 y 8 mm respectivamente, con una distancia de centro a centro de los orificios de 25 mm. Se hace una ranura entre ambos orificios y también entre el orificio de 8 mm y la orilla del tapón. Cuando se coloca en un orificio de 51 mm (2") en la cubierta del baño, el tapón mantiene al viscosímetro en su lugar.

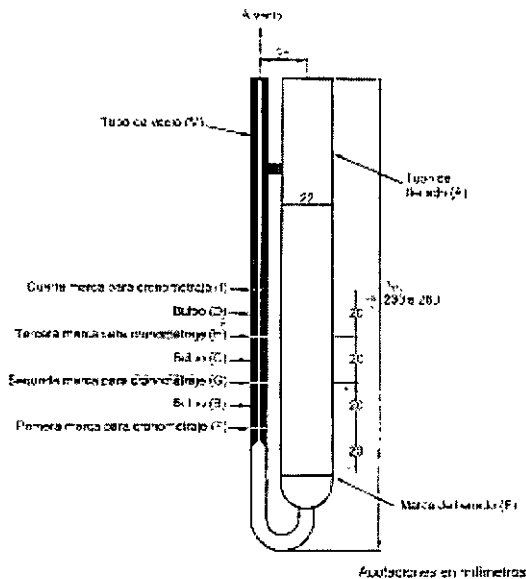


FIGURA 1. Viscosímetro capilar de vacío del Instituto del Asfalto (AIVV)

Viscosímetro de vacío Koppers modificado (MKVV)

Como el mostrado en la Figura 2 de este Manual y que cumpla con las características establecidas en la Tabla 2. Consistirá en un tubo de llenado (A) y un tubo de vidrio perforado capilar de vacío de precisión (M), unidos por una junta de borosilicato (N), con un filo estándar 24/40. Los bulbos de medición (B, C, y D), serán segmentos capilares de 20 mm de longitud, separados por marcas para cronometraje (F, G, H, I).

Además contará con un soporte que lo mantenga en posición vertical cuando se coloque en el baño. Este soporte se puede conseguir comercialmente, sin embargo es posible fabricar uno, taladrando un orificio de 28 mm en el centro de un tapón N°11 de hule y cortando al tapón entre el orificio y la orilla. Cuando se coloca en un orificio de 51 mm (2") en la cubierta del baño, el tapón mantiene al viscosímetro en su lugar.

TABLA 1.- Tamaños de viscosímetros estándar, radio capilar, factores de calibración aproximados (K) y rangos de viscosidad para viscosímetros capilares de vacío del Instituto del Asfalto(AIVV)

Tamaño nominal	Radio capilar mm	Factor de calibración aproximado (K) capilar vacío de 300 mm Hg Pa (P/s)			Rango de viscosidad dinámica, Pa.s (P)
		Bulbo B	Bulbo C	Bulbo D	
25	0,125	0,2 (2)	0,1 (1)	0,07 (0,7)	4,2 a 80 (42 a 800)
50	0,25	0,8 (8)	0,4 (4)	0,3 (3)	18 a 320 (180 a 3 200)
100	0,50	3,2 (32)	1,6 (16)	1 (10)	60 a 1 280 (600 a 12 800)
200	1,0	12,8 (128)	6,4 (64)	4 (40)	240 a 5 200 (2 400 a 52 000)
400	2,0	50 (500)	25 (250)	16 (160)	960 a 20 000 (9 600 a 200 000)
400R	2,0	50 (500)	25 (250)	16 (160)	960 a 14000 (9 600 a 140 000)
800R	4,0	2 00 (2 000)	100 (1 000)	64 (640)	3 800 a 580 000 (38 000 a 5 800 000)

- [1] Los factores de calibración exactos se obtendrán con viscosidad estándar.
- [2] Los rangos de viscosidad corresponden a tiempos de llenado de 60 y 400 s. En ocasiones especiales se pueden utilizar tiempos de flujo mayores, incluso superiores a 1 000 s.
- [3] En estos casos se tienen marcas adicionales a 5 y 10 mm arriba de la marca para cronometraje F (ver Figura 1), para diseños especiales de asfaltos en cubiertas. Así, el rango de viscosidad máxima medible se incremento respecto a aquel que utiliza al factor de calibración del bulbo B.

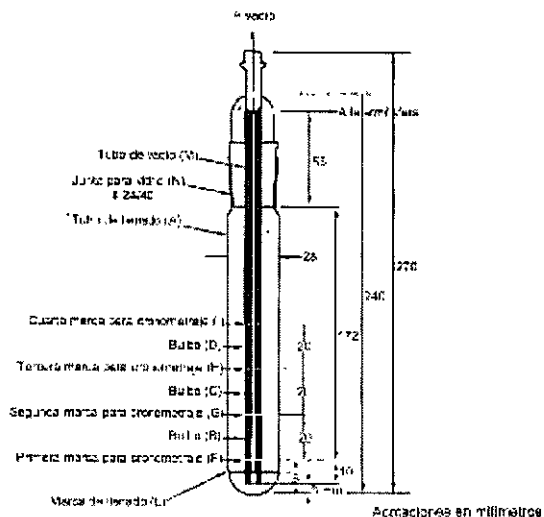


FIGURA 2.- Viscosímetro capilar de vacío Koppers modificado (MKVV)

TERMÓMETROS

De inmersión total, con escala que abarque de 0 a 150°C y aproximación de 0,2°C.

TABLA 2.- Tamaños de viscosímetros estándar, radio capilar, factores de calibración aproximados (K), y rangos de viscosidad para viscosímetros capilares de vacío Koppers modificados (MKVV)

Tamaño nominal	Radio capilar mm	Factor de calibración aproximado (K) capilar vacío de 300 mm Hg Pa (P/s)			Rango de viscosidad dinámica, Pa.s (P)
		Bulbo B	Bulbo C	Bulbo D	
25	0,125	0,2 (2)	0,1 (1)	0,07 (0,7)	4,2 a 80 (42 a 800)
50	0,25	0,8 (8)	0,4 (4)	0,3 (3)	18 a 320 (180 a 3 200)
100	0,50	3,2 (32)	1,6 (16)	1 (10)	60 a 1 280 (600 a 12 800)
200	1,0	12,8 (128)	6,4 (64)	4 (40)	40 a 5 200 (2 400 a 52 000)
400	2,0	50 (500)	25 (250)	16 (160)	960 a 20 000 (9 600 a 200 000)

[1] Los factores de calibración exactos se obtendrán con viscosidad estándar
 [2] Los rangos de viscosidad corresponden a tiempos de llenado de 60 y 400 s. En ocasiones especiales se pueden utilizar tiempos de flujo mayores, incluso superiores a 1 000 s.

BAÑO

Con las dimensiones adecuadas para que la marca para cronometraje superior de los viscosímetros, pueda ubicarse por lo menos a 20 mm por debajo de la superficie del líquido del baño.

Que permita observar en todo momento tanto el viscosímetro como el termómetro.

Que forme parte integral del viscosímetro t o que cuente con un soporte firme para este último.

SISTEMA DE VACIO

Que tenga un sistema general como el que se muestra esquemáticamente en la Figura 3.

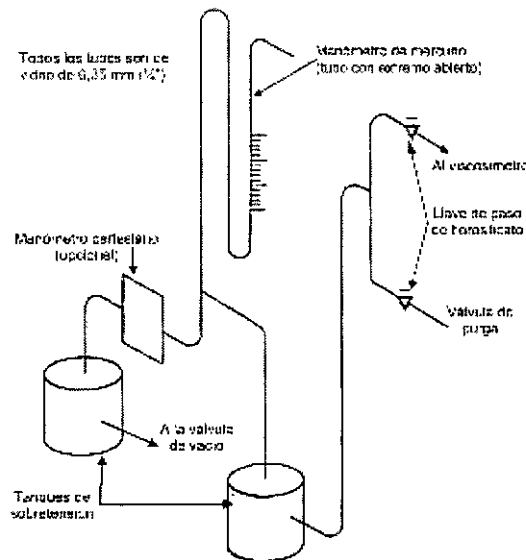


FIGURA 3 Sistema de vacío sugerido para viscosímetros capilares de vacío

Capaz de mantener un nivel d vacío de hasta 300 mm Hg con aproximación de $\pm 0,5$ mm Hg.

A base de tubos de vidrio con un diámetro interior de 6,35 mm (1/4"), con juntas herméticas entre los tubos que garantizan que no se pierda el vacío.

Que cuente con un manómetro de mercurio con un extremo abierto, con aproximación de 1 mm Hg y una bomba de vacío.

CRONÓMETROS

Dos cronómetros, con aproximación de 0,1 s y precisión de $\pm 0,05\%$.

LÍQUIDO PARA LLENAR EL BAÑO

Agua destilada.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La muestra de prueba, según se trate de cemento asfáltico, del residuo de la prueba de película delgada o del residuo asfáltico obtenido por destilación de una emulsión o de un asfalto rebajado, se prepara como se indica a continuación:

Todos los tubos son de Manómetro de mercurio vidrio de 6,35 mm (¼") tubo con extremo abierto)

MUESTRA DE CEMENTO ASFÁLTICO

Se calienta la muestra en un recipiente apropiado, agitándola ocasionalmente para evitar el sobrecalentamiento local y distribuir el calor uniformemente hasta que adquiera la fluidez suficiente que facilite su vaciado.

Se vacían 20 mL de la muestra en un contenedor adecuado y se calienta hasta alcanzar una temperatura de $135 \pm 5.5^\circ \text{C}$ ($275 \pm 10^\circ \text{F}$), agitándola ocasionalmente para evitar el sobrecalentamiento local, distribuir el calor uniformemente y evitar que quede aire atrapado.

RESIDUO DE LA PRUEBA DE PELÍCULA DELGADA

El residuo de la prueba de película delgada, según se indica en el Manual para *Pruebas en el Residuo de la Película Delgada de Cementos Asfálticos*, se prepara colocando las charolas sobre las placas de asbesto-cemento; después se acomoda el conjunto sobre la plataforma circular, se introduce en el horno, que estará a una temperatura de 163°C y se hace girar la plataforma a una velocidad de 5 a 6 rpm durante 15 min. Hecho esto, se sacan las charolas del horno y se vierte su contenido en una sola de ellas con ayuda de una espátula, agitándolo para homogeneizarlo. Hecho lo anterior se procede como se indica en este Manual.

MUESTRA DEL RESIDUO POR DESTILACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA

Inmediatamente después de obtener el residuo por destilación de la emulsión asfáltica mediante el procedimiento de prueba indicado en el Manual *Destilación de Emulsiones Asfálticas*, se destapa el alambique utilizado en esa prueba, se homogeneiza su contenido con la espátula, se toma una muestra de prueba de aproximadamente 20 mL en un contenedor apropiado, vertiendo el residuo a través de la malla N° 50, y se procede como se indica en este Manual.

MUESTRA DEL RESIDUO POR DESTILACIÓN DE UN ASFALTO REBAJADO

Inmediatamente después de obtener el residuo por destilación del asfalto rebajado mediante el procedimiento de prueba indicado en el Manual *Destilación de Asfaltos Rebajados* y tan pronto como deje de vaporizar en la cápsula metálica utilizada en esa prueba, se homogeneiza con la espátula, se toma una muestra de prueba de aproximadamente 20 mL en un contenedor apropiado y se procede como se indica en este Manual.

DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD DINÁMICA

CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

Calibración del viscosímetro de vacío por medio de viscosidad estándar

Se calibrará mediante un aceite de viscosidad estándar cuando en la muestra de prueba se esperen las viscosidades dinámicas aproximadas señaladas en la Tabla 3 de este Manual.

TABLA 3.- Viscosidades estándar de aceites utilizados para la calibración de los viscosímetros

Viscosidad estándar	Viscosidad dinámica aproximada, η Pa.s (P)	
	A 20° C (68° F)	A 38° C (100° F)
N 30 000	150 (1 500)	24 (240)
N 190 000	800 (8000)	160 (1600)
S 30 000	---	24 (240)

Se selecciona de la Tabla 3, un aceite de viscosidad estándar que tenga un tiempo mínimo de flujo de 60 s a la temperatura de calibración.

Se carga un viscosímetro limpio y seco con el aceite estándar hasta ± 2 mm de la línea de llenado E (ver las Figuras 1 y 2 de este Manual).

Se coloca el viscosímetro cargado en el baño, manteniendo la temperatura de calibración con aproximación de $\pm 0,01^\circ$ C ($\pm 0,02^\circ$ F).

Se establece un vacío de $300 \pm 0,5$ mm de Hg en el sistema de vacío y se conecta éste al viscosímetro con la llave de paso cerrada en la línea que va a este último.

Después de que el viscosímetro ha estado en el baño por 30 ± 5 min, se inicia el flujo del aceite estándar abriendo la llave de paso en la línea que va al sistema de vacío.

Se mide el tiempo requerido para que la orilla principal del menisco, es decir, la parte superior visible del mismo, pase entre las marcas F y G, con aproximación de 0,1 s. Utilizando otro cronómetro, se mide el tiempo requerido para que la orilla principal del menisco pase entre las marcas para cronometraje G y H, con aproximación de

1s. Si el instrumento contiene marcas para cronometraje adicionales, se determina de la misma manera el tiempo de flujo para cada bulbo sucesivo.

Se calcula el factor de calibración K , para cada bulbo como sigue:

$$K = \frac{\eta_e}{t}$$

Donde:

K = Factor de calibración del bulbo (a 300 mm Hg), (Pa)

η_e = Viscosidad dinámica del aceite de viscosidad estándar a la temperatura de calibración, (Pa.s)

t = Tiempo de flujo, (s)

Se repite el procedimiento de calibración utilizando la misma viscosidad estándar u otra viscosidad estándar distinta.

Se calcula y registra el promedio del factor de calibración K para cada bulbo. Los resultados obtenidos en las dos determinaciones no deben variar más del 2% respecto a su promedio, en caso contrario se repetirá el procedimiento hasta que esto se cumpla.

Es importante hacer notar que los factores de calibración del bulbo son independientes de la temperatura.

Calibración del viscosímetro de vacío por medio del viscosímetro de vacío estándar

Se elige cualquier material asfáltico que tenga un tiempo de flujo de al menos 60 s y se selecciona un viscosímetro estándar con factores de calibración de bulbo (K) conocidos

Se monta el viscosímetro estándar junto con el viscosímetro que va a ser calibrado en el mismo baño a 60° C (140° F) y se determinan los tiempos de flujo del material asfáltico en el procedimiento descrito en este Manual.

Se calcula el factor de calibración K para cada bulbo como sigue:

$$K = \frac{K_2 \times t_2}{t_1}$$

Donde:

K_1 = Factor de calibración del bulbo del viscosímetro que se está calibrando, (Pa)

K_2 = Factor de calibración del bulbo del viscosímetro estándar, (Pa)

t_1 = Tiempo de flujo del bulbo del viscosímetro que se está calibrando, (s)

t_2 = Tiempo de flujo del bulbo del viscosímetro estándar, (s)

PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

El procedimiento de prueba varía ligeramente según el tipo de viscosímetro que se utilice, por lo que, además de lo indicado a continuación, es necesario considerar las características particulares de los viscosímetros señaladas en este Manual.

Se mantiene el baño a $6^\circ \pm 0,01^\circ\text{C}$ ($140 \pm 0,02^\circ\text{F}$), aplicando, en su caso, las correcciones necesarias en todas las lecturas del termómetro.

Se selecciona un viscosímetro limpio y seco, que dé un tiempo de flujo mayor de 60 s. y se precalienta a $135 \pm 5,5^\circ\text{C}$ ($275 \pm 10^\circ\text{F}$).

Se carga el viscosímetro vertiendo la muestra preparada a ± 2 mm. de la línea de llenado E (ver Figuras 1 y 2 de este Manual).

Se coloca el viscosímetro cargado en un horno o un baño, mantenidos a $135 + 5.5^\circ\text{C}$ ($275 \pm 10^\circ\text{F}$) por un período de 10 ± 2 min, para eliminar la mayor parte de las burbujas de aire atrapadas.

Se retira el viscosímetro del horno o del baño y, en un tiempo no mayor de 5 min, se inserta el viscosímetro en un soporte y se coloca verticalmente en el baño, de tal manera que la marca para cronometraje superior, esté al menos 20 mm. por debajo de la superficie del líquido de baño.

Se establece un vacío de $300 \pm 0,5$ mm. Hg en el sistema de vacío y se conecta éste al viscosímetro con la llave de paso cerrada.

Después de que el viscosímetro ha estado en el baño por 30 ± 5 min, se inicia el flujo del material asfáltico abriendo la llave de paso en la línea que va al sistema de vacío.

Se mide el tiempo requerido para que la orilla principal del menisco pase entre dos marcas para cronometraje sucesivas, que es el tiempo de flujo. Se reporta el primer tiempo de flujo que sea mayor de 60 s entre dos marcas para cronometraje sucesivas, registrando la letra de identificación de estas últimas.

Una vez completada la prueba se deja drenar el viscosímetro para después limpiarlo perfectamente enjuagando varias veces con un solvente apropiado completamente miscible con la muestra, seguido por un solvente totalmente volátil. Posteriormente se seca el viscosímetro pasando por una corriente lina de aire seco filtrado durante 2 min, o hasta que la última marca de solvente desaparezca

CÁLCULOS Y RESULTADOS

Se selecciona el factor de calibración (K) que corresponda al par de marcas para cronometraje utilizadas para la determinación del tiempo de flujo. Se calcula la viscosidad mediante la siguiente ecuación:

$$\eta_e = K \times t$$

Donde:

η = Viscosidad dinámica, (Pa.s)

K = Factor de calibración seleccionado, (Pa)

t = Tiempo de flujo, (s)

La viscosidad dinámica se reportará con una aproximación al milésimo, anotando además, la temperatura de prueba y la presión de vacío utilizada.

PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, se observan las siguientes precauciones:

Sumergir los termómetros de tal forma que sólo la columna de mercurio este cubierta por el agua y el resto del tallo y la cámara de expansión estén expuestos a la temperatura del laboratorio y a la presión ambiental, ya que en caso contrario podrían obtenerse mediciones inexactas y tendrían que hacerse correcciones.

Verificar que el viscosímetro esté calibrado de acuerdo con lo establecido en este Manual.

Limpiar periódicamente el viscosímetro con una solución limpiadora de ácido crómico para remover depósitos orgánicos, enjuagándolo completamente con agua destilada y acetona, y secándolo con aire seco y limpio. Se puede preparar solución limpiadora de ácido crómico, adicionando con las precauciones normales, 800 mL de ácido sulfúrico concentrado a una solución de 92 g de dicromato de sodio en 458 ml. de agua. Es aceptable el uso de soluciones limpiadoras de ácido sulfúrico comercial similar. El uso de soluciones limpiadoras alcalinas puede producir un cambio en la calibración del viscosímetro, por lo que no son recomendables.

Cuidar que la variación de temperatura en la muestra durante las calibraciones y las pruebas, esté dentro de la tolerancia indicada.

2.2. Funcionamiento de la planta de asfalto

OPERACIONES DE PLANTA

OBJETIVOS DEL INSPECTOR

Al concluir este capítulo del manual, el inspector deberá:

- Conocer la función de una planta de asfalto.
- Conocer los dos tipos básicos de plantas de asfalto y sus componentes principales.
- Reconocer los procedimientos correctos para manejar, almacenar, y muestrear el agregado.
- Conocer las partidas que deben aparecer en los registros de planta del inspector.
- Conocer la operación de los sistemas de alimentación de agregados fríos.
- Reconocer las características que deben ser verificadas en una inspección visual de la mezcla en caliente.
- Conocer los procedimientos básicos de muestreo y ensayo para verificar las características de la mezcla en caliente.
- Conocer los requisitos de seguridad necesarios para mantener una operación de planta eficiente y segura.

INTRODUCCIÓN

Una planta de asfalto es un conjunto de equipos mecánicos electrónicos en donde los agregados son combinados, calentados, secados y mezclados con asfalto para producir una mezcla asfáltica en caliente que debe cumplir con ciertas especificaciones. Una planta de asfalto puede ser pequeña o puede ser grande. Puede ser fija (situada en un lugar permanente) o puede ser portátil (transportada de una obra a otra). En términos generales cada planta puede ser clasificada como (1) planta de dosificación (Figura 4.1), o como (2) planta mezcladora de tambor (Figura 4.2). Las diferencias entre las plantas de dosificación y las plantas mezcladoras de tambor se describen más adelante.

RESPONSABILIDADES DEL INSPECTOR DE PLANTA

El inspector de planta es un miembro importante dentro del equipo de personas que comparte la responsabilidad de producir una mezcla de alta calidad. Su función principal consiste en observar la operación de la planta y muestrear los productos

finales para revisar la conformidad de la mezcla. El inspector debe saber “cómo” y “porqué” se debe efectuar el trabajo. El debe estar enterado de todo lo que esta sucediendo y deberá notificar cualquier problema al supervisor de la planta. Sin embargo, un inspector nunca deberá asumir la responsabilidad de graduar cualquiera de los controles de la planta, o de fijar cualquier medidor, manómetro o contador.

Es muy importante que el inspector mantenga una actitud de cooperación y ayuda, mostrando a la vez firmeza y justicia en sus decisiones, y siendo siempre fiel a sus responsabilidades.

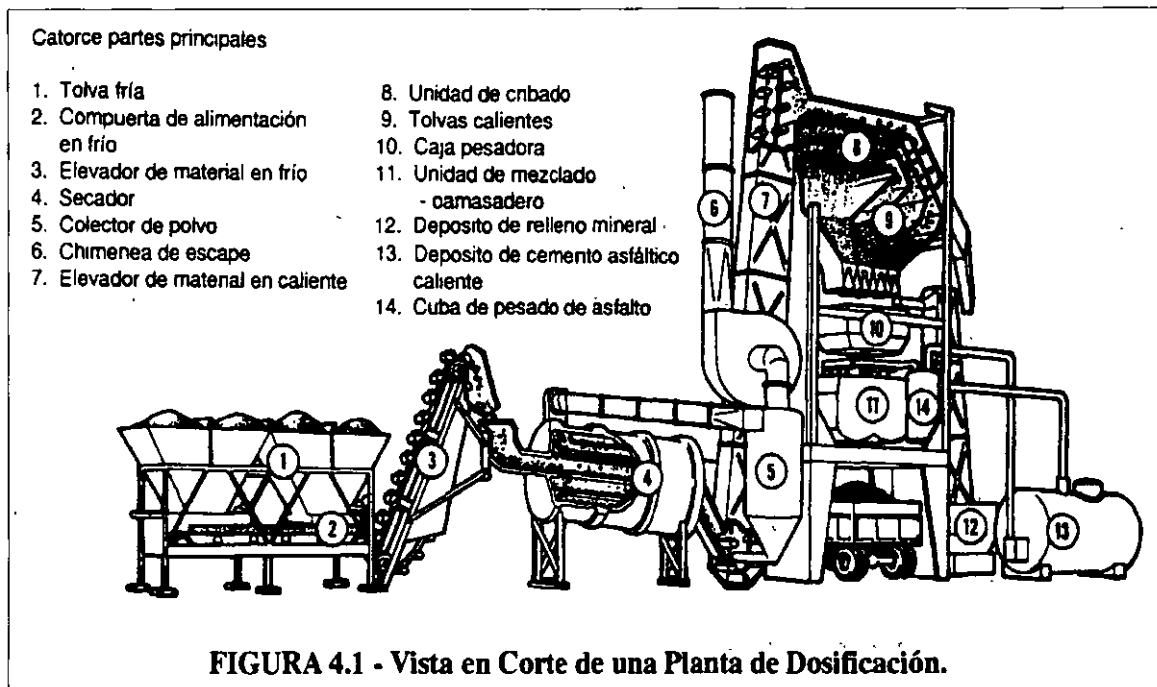


FIGURA 4.1 - Vista en Corte de una Planta de Dosificación.

En general, las obligaciones del inspector incluyen:

- Sacar muestras, ensayar y evaluar los materiales para revisar conformidad con las especificaciones.
- Conocer el procedimiento para calibrar correctamente los medidores de asfalto y los alimentadores de agregado.
- Monitorear las operaciones de planta para garantizar el calentamiento correcto y el secado del agregado, la temperatura correcta del asfalto, la distribución correcta de los materiales, y la producción uniforme de concreto asfáltico conforme con las especificaciones.
- Mantener registros oficiales completos y exactos.
- Mantener un diario personal de la operación de planta.
- Ejercitar procedimientos de seguridad, estando constantemente alerta de condiciones o practicas peligrosas, y notificando dichas condiciones o practicas a las autoridades pertinentes.

El inspector también debe estar enterado de todas las regulaciones y ordenanzas federales, estatales y locales relacionadas con la operación de la planta - tales como regulaciones en la polución del aire y del agua, requerimientos anti-ruido, horas restringidas de Operación, etcétera. Cualquier violación de dichas regulaciones deberá ser notificada al contratista.

PROPÓSITO Y DISPOSICIÓN DE LOS EQUIPOS

El propósito es el mismo sin importar el tipo de planta. El propósito es de producir una mezcla en caliente que posea las proporciones deseadas de asfalto y agregado, y que cumpla con todas las especificaciones. Ambos tipos de planta (plantas de dosificación y plantas mezcladoras de tambor) están diseñados para lograr este propósito. La diferencia entre los dos tipos de planta es que las plantas de dosificación secan y calientan el agregado y después, en un mezclador separado, lo combinan con el asfalto en dosis individuales; mientras que las plantas mezcladoras de tambor secan el agregado y lo combinan con el asfalto en un proceso continuo y en la misma sección del equipo. En la Figura 4.3 se ilustran similitudes y diferencias físicas entre ambos tipos de planta.

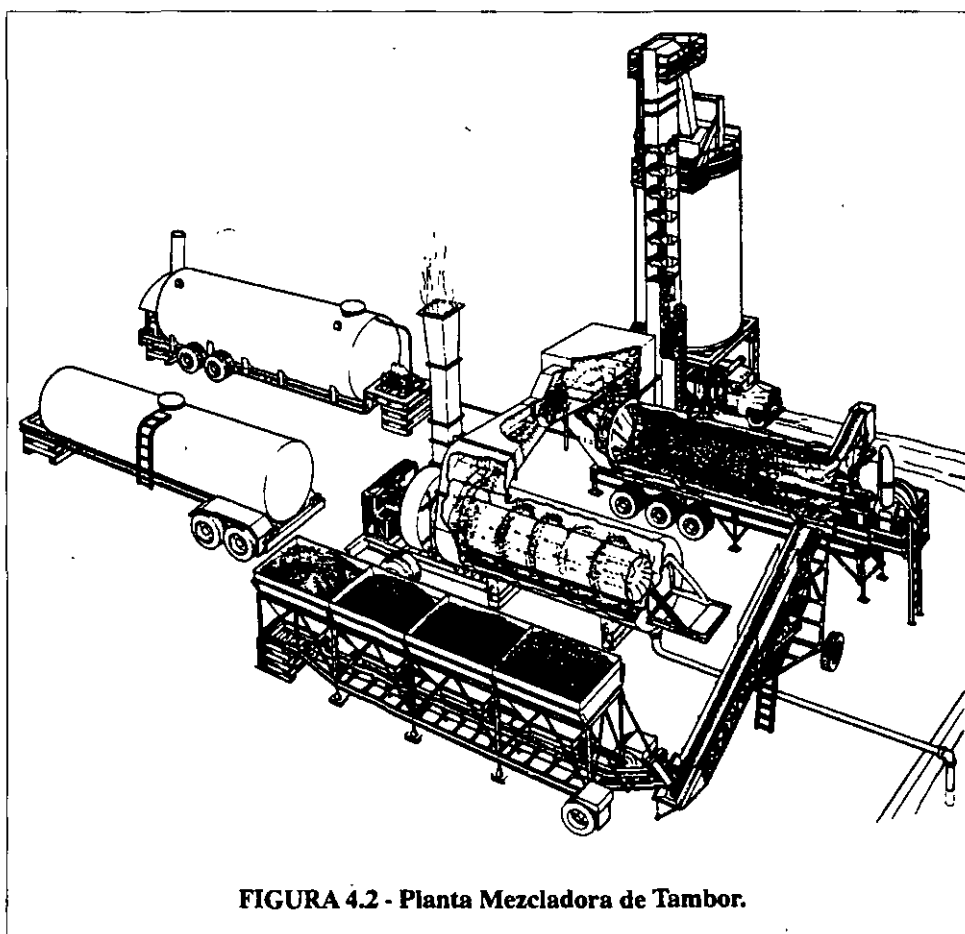


FIGURA 4.2 - Planta Mezcladora de Tambor.

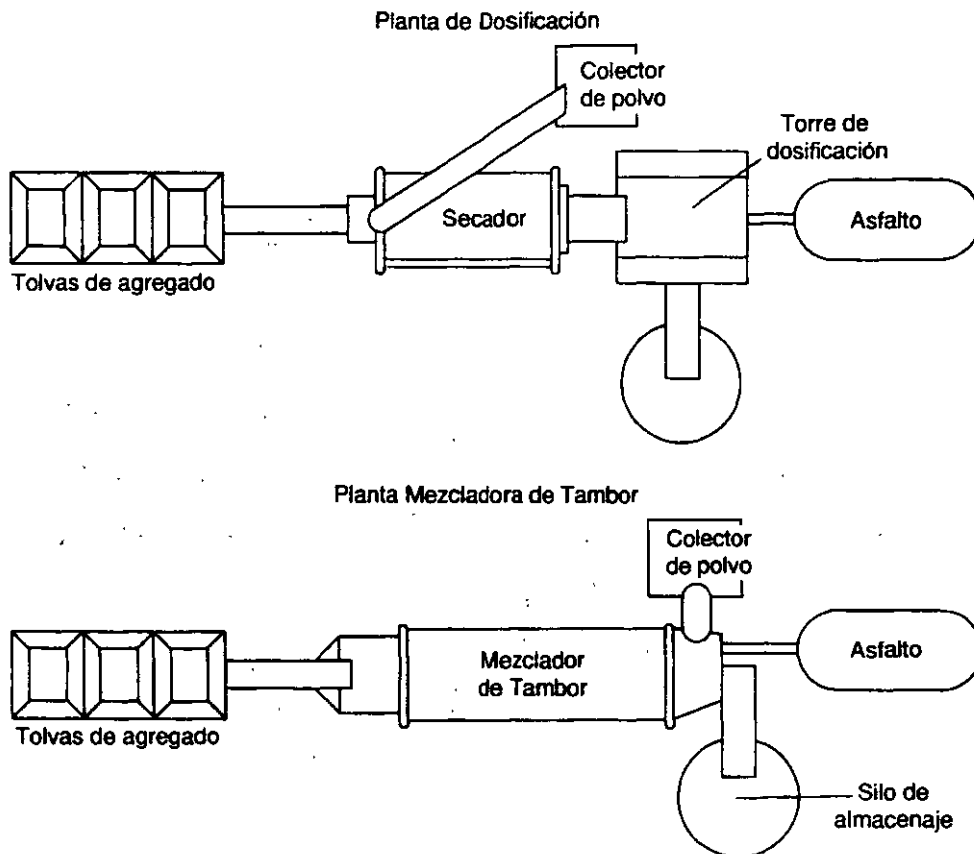


FIGURA 4.3 - Disposición Típica de Equipos en la Planta de Dosificación y en la Planta Mezcladora de Tambor.

MATERIALES

La calidad de la mezcla en caliente producida es tan buena como la calidad de los materiales usados en la planta. Por lo tanto, una de las obligaciones primordiales del inspector es la de garantizar la disponibilidad de una adecuada reserva de materiales apropiados antes de, y durante, las operaciones de la planta. En las secciones siguientes se examina el manejo y control del asfalto y del agregado. Los fundamentos presentados se aplican a todas las plantas de concreto asfáltico.

ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE AGREGADOS

El inspector tiene la responsabilidad de ver que los agregados sean acopiados y manejados de tal manera que se minimice la degradación y la segregación, y se evite la contaminación. El área de acopio deberá estar limpia y estable para prevenir contaminación. Se deberán tomar las medidas necesarias para prevenir que los diferentes agregados se entremezclen. Dichas medidas incluyen tener un espacio suficiente que permita la separación de las pilas de agregado, o el uso de muros de

contención entre las pilas. Si se usan muros, estos deberán extenderse hasta la altura completa de la pila para prevenir rebalses. También deberán ser lo suficiente fuertes para no ceder bajo los esfuerzos aplicados.

La manera como los agregados deben ser manejados durante el acopio depende de la naturaleza misma del material. Los agregados finamente graduados (tales como arenas y materiales finos) y los de un solo tamaño no requieren el mismo cuidado en su manejo que los agregados gruesos compuestos de varios tamaños de partícula. Las arenas, el agregado triturado fino, y los agregados de un solo tamaño (especialmente los tamaños pequeños) pueden ser manejados y almacenados casi de cualquier manera. Las combinaciones de agregados, sin embargo, requieren de un manejo especial. Por ejemplo, si un material que contiene partículas gruesas y finas se coloca en una pila con forma de cono, es probable que presente segregación debido a que las partículas grandes van a rodar por la pendiente de la reserva (Figura 4.4.B). Esta segregación puede ser minimizada si se construye la pila en capas (Figura 4.4.A).

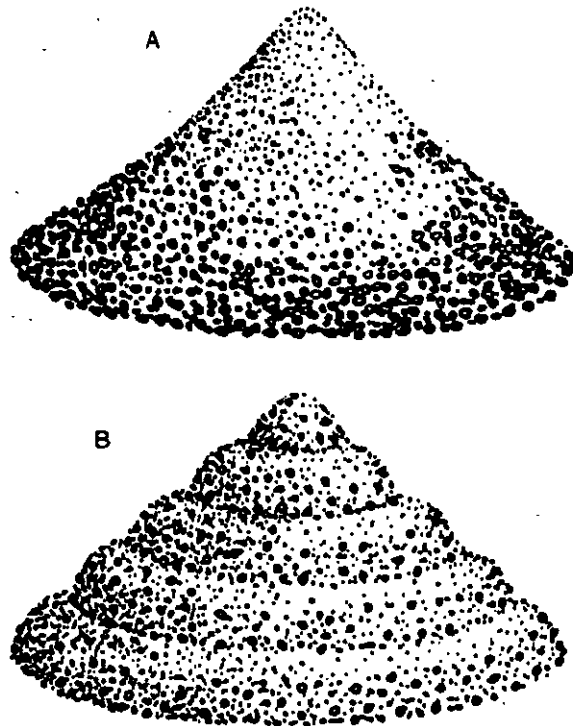


FIGURA 4.4 - Método (A) Incorrecto e (B) Correcto para Apilar Agregado con Partículas Grandes y Pequeñas.

Si los agregados son transportados en camión, se puede construir una pila en capas vaciando las camionadas, una cerca de otra, sobre la superficie total del montón. El tamaño de las camionadas determinará el espesor de cada capa. Cuando el apilamiento se hace con grúa, las cargas deberán depositarse (sin ser arrojadas) una cerca de otra para formar capas de espesor uniforme. Cada capa deberá ser terminada antes de comenzar a apilar la capa siguiente, como lo muestra la Figura 4.5.

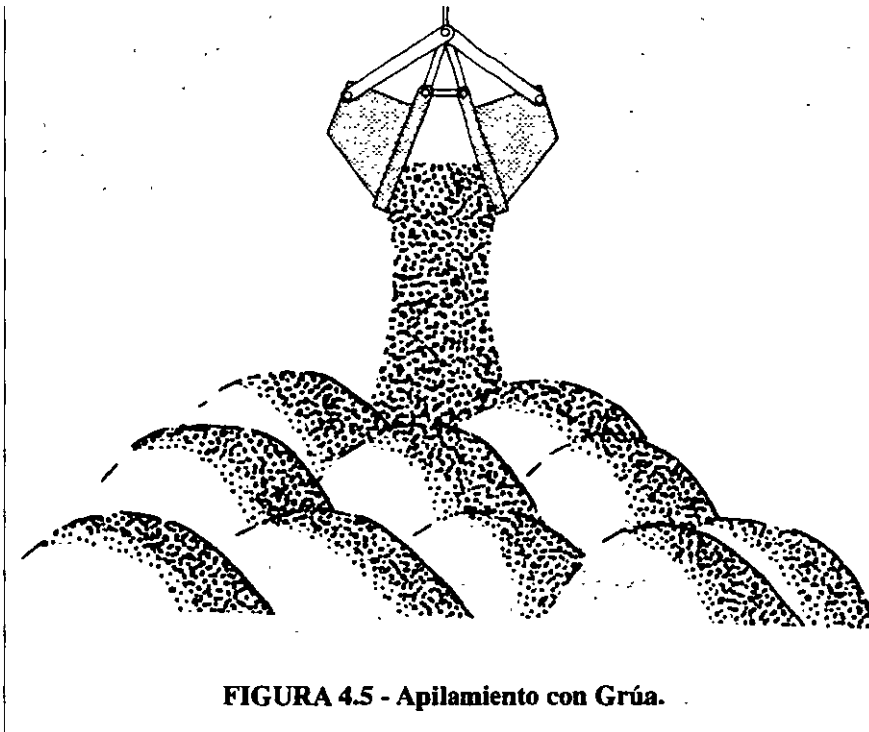


FIGURA 4.5 - Apilamiento con Grúa.

Si se usa una topadora (buldozer) para construir la pila, la topadora tendrá que depositar el agregado de tal forma que la pila crezca en capas uniformes. Cada capa no deberá tener un espesor de más de 1.20 metros (4 pies). La manipulación de agregados con topadora deberá ser mínima, debido a que cualquier movimiento del agregado puede causar segregación y degradación.

Si se permite el uso de topadoras en el manejo de pilas de agregado, estas no deberán trabajar continuamente sobre el mismo nivel. Si esto llegara a ocurrir, el material fino, producido por la acción moledora de la banda de rodamiento, encontrará el camino hacia la parte baja de la rampa que está siendo usada por la topadora (Figura 4.6). Por lo tanto, el material tendrá que volver a ser tamizado antes de ser usado en la mezcla. De otra manera, el material deberá ser desechado. Este problema no está únicamente limitado al uso de topadoras y otros vehículos de tracción; también ocurre cuando se usan equipos con llantas de caucho.

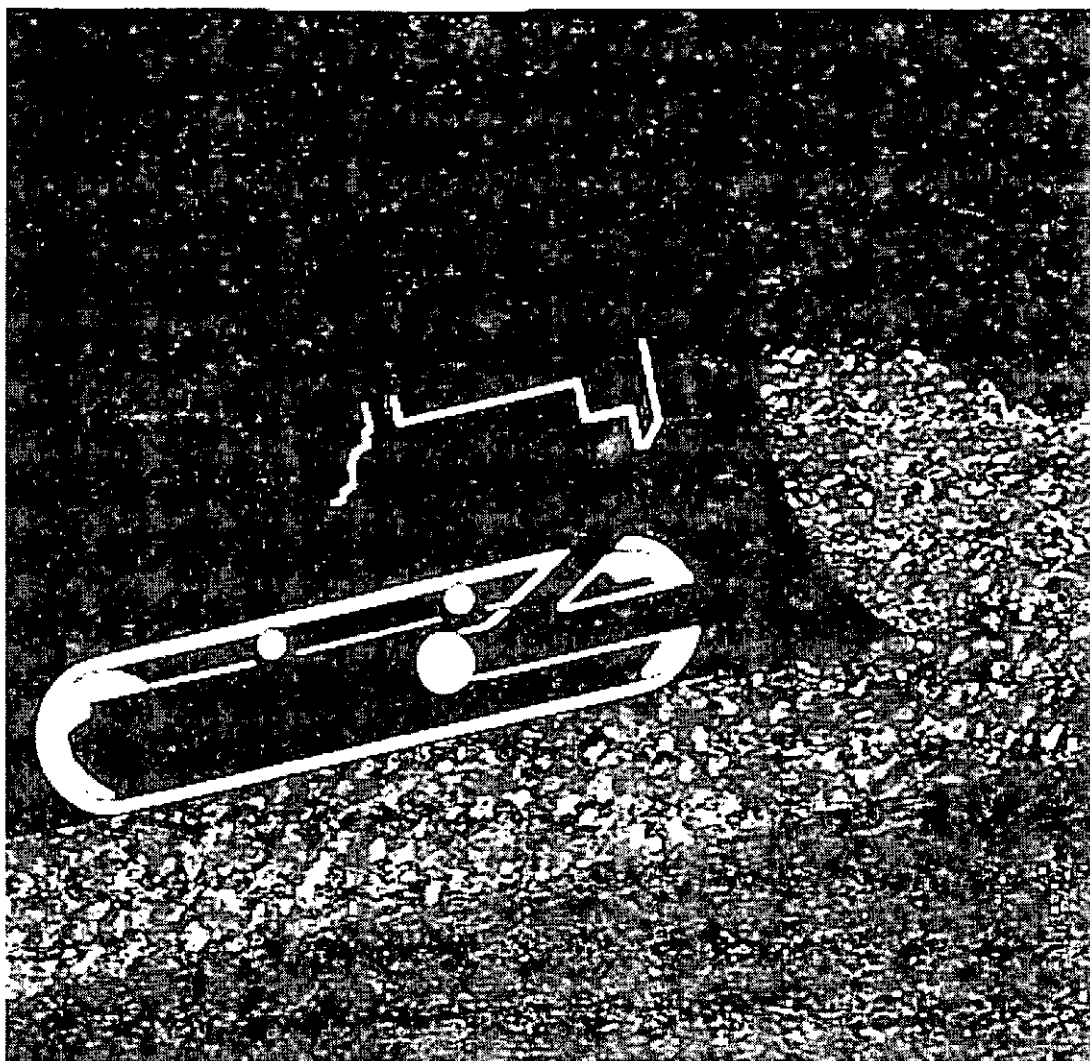


FIGURA 4.6 - Segregación Causada por la Topadora.

Para garantizar que la pila mantenga una graduación uniforme se deben tomar muestras del agregado, y ensayarlas con frecuencia. Cada muestra de la pila debe ser un compuesto de agregados tomados de diferentes niveles de la pila - cerca a la cima, en la mitad, y cerca de la base. Es posible usar un escudo de madera o metal medido verticalmente en la pila, justo por encima del área de muestreo, para prevenir que partículas sueltas de agregado se derrumben sobre la muestra durante la operación de muestreo.

Para obtener muestras, use una pala de punta cuadrada con bordes doblados hacia arriba tal que formen una cuchara. Introduzca horizontalmente la cuchilla de la pala dentro de la pila y remueva una palada de material. Tenga cuidado de no dejar caer ninguna de las partículas. Luego coloque el agregado en un balde. Las paladas siguientes serán colocadas en el mismo balde.

Asegúrese de obtener una palada de agregado, en el área de muestreo, de cada nivel de la pila. Es importante que las áreas de muestreo no estén en línea vertical. Estas deberán estar más bien escalonadas alrededor, o dentro, de la pila, para garantizar muestras representativas.

MUESTRO DEL AGREGADO

Las cantidades usadas para muestreo de agregado están señaladas en la Figura 47. La información incluye pesos recomendados de muestras basados en el tamaño máximo de partícula del agregado. Recuérdese que las muestras mas representativas son tomadas de la banda de alimentación, y no de la pila o la tolva. El muestreo estadístico esta fuera del alcance de esta discusión Si llegara a ser necesario, la norma ASTM D 3665, Método Normalizado para Muestreo Aleatorio, describe procedimientos para dicho muestreo.

Tamaño Máximo Nominal de Partículas, (Porcentaje que pasa)		Peso mínimo de muestras de campo*	
mm	Agregado Fino	lb	kg
2.36	No. 8	10	5
4.75	No. 4	10	5
Agregado Grueso			
9.5	3/8 in.	10	5
12.5	1/2 in.	20	10
19.0	3/4 in.	30	15
25.0	1 in.	50	25
37.5	1-1/2 in.	70	30
50.0	2 in.	90	40
63	2-1/2 in.	100	45
75	3 in.	125	60
90	3-1/2 in.	150	65

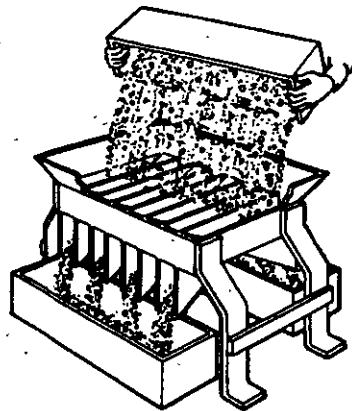
*Las muestras para los ensayos deben obtenerse de la muestra de campo mediante un cuarteo, o mediante cualquier otro medio que garantice una porción representativa.

FIGURA 4.7 - Tamaño de Muestras.

Después de haber seleccionado una muestra de agregado, es a veces necesario reducir su tamaño (volumen) a uno mas conveniente para que pueda ser manejada y ensayada. Debido a que este proceso de reducción puede causar segregación, es necesario tener mucho cuidado para poder preservar la integridad de la muestra. La Figura 4.8 ilustra dos ejemplos de métodos de reducción. Generalmente, es preferible usar el partidor mecánico de muestras con agregados gruesos o agregados finos secos. Por otro lado, el cuarteo es el mejor método cuando la muestra de agregado esta húmeda. La norma AASHTO T 248 describe ambos métodos en detalle.

ALMACENAMIENTO Y MANEJO DEL ASFALTO

Las cantidades de asfalto almacenadas en la planta deben ser suficientes para permitir una operación uniforme en la misma, aún si se tienen en cuenta los cargamentos retrasados y el tiempo de los ensayos de aceptación. La mayoría de las plantas tienen al menos dos tanques de asfalto - un tanque de trabajo y uno de reserva (Figura 4.9). Cuando se requiere más de un grado de asfalto para una obra, es necesario disponer de un tanque para cada grado.



Metodo usando partidor de muestras

Cuarteo de Muestras

Los tamaños de muestras también pueden reducirse. El método de cuarteo deberá ser usado cuando no se disponga de partidores mecánicos. El cuarteo simplemente requiere de una tela para cuarteo y de un palo o vara - y se hace de la siguiente manera:

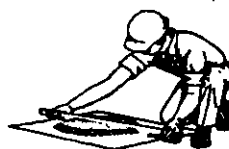
1. Vacíe el contenido del balde de ensayo sobre una tela de cuarteo.



2. Nivele la muestra sobre la tela, usando la vara.



3. Introduzca una vara por debajo de la tela y levante los extremos para dividir la muestra en dos partes iguales.



4. Repita el paso 3, dividiendo la muestra en cuatro partes.



5. Utilice dos partes diagonales para las pruebas.

Si la muestra no llega a ser lo suficiente pequeña, repita el procedimiento de cuarteo.

Metodo de cuarteo

FIGURA 4.8 - Reducción de Muestras de Agregado.

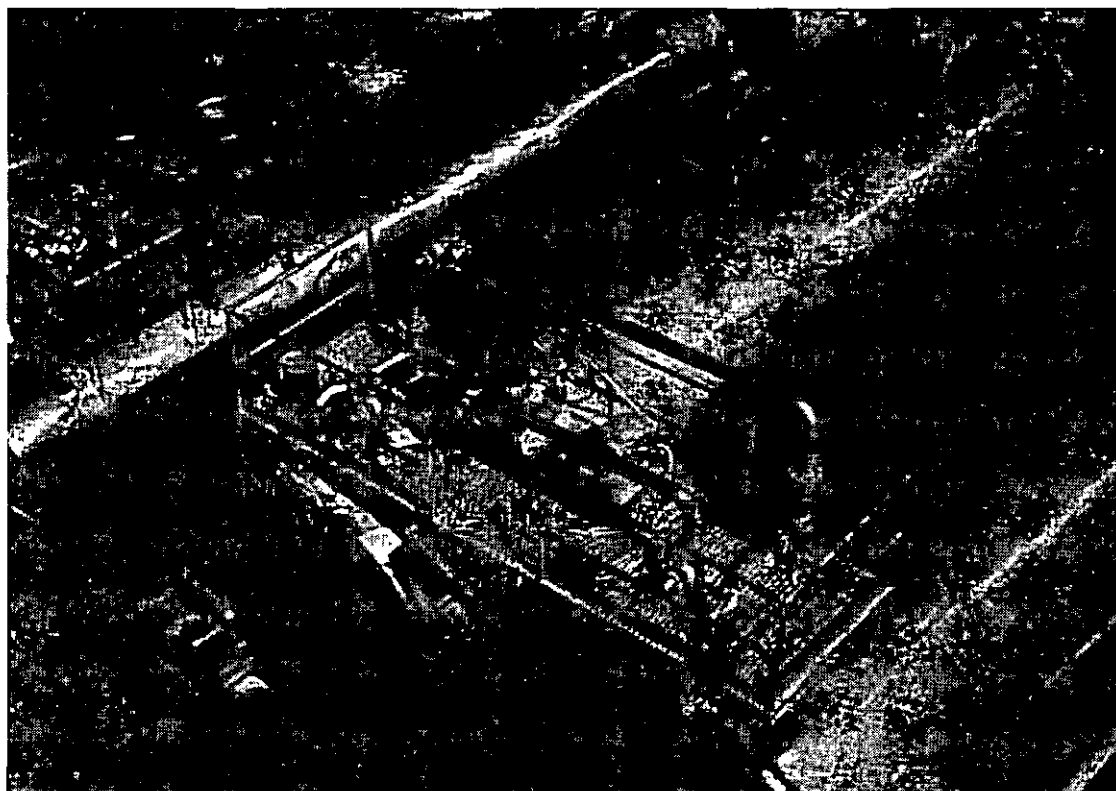


FIGURA 4.9 - Una Serie de Tanques de Almacenamiento de Asfalto.

Los tanques de almacenamiento de asfalto deberán ser calibrados para que la cantidad remanente de material en el tanque pueda ser determinada en cualquier momento. También deberán ser calentados para mantener el asfalto lo suficiente fluido para que pueda moverse por las líneas de carga y descarga. El calentamiento se hace eléctricamente o circulando aceite caliente a través de serpentines en el tanque. Independientemente del método usado, nunca una llama de fuego deberá entrar en contacto directo con el tanque.

Cuando se usa aceite circulante caliente, el nivel de aceite en el depósito de la unidad de calentamiento deberá revisarse periódicamente. Una disminución en el nivel puede indicar escape de aceite hacia el tanque, lo cual puede causar contaminación del asfalto.

Todas las líneas de transferencia, bombas y cubetas pesadoras deben tener calentadores de serpentín o chaquetas para que el asfalto siempre permanezca con suficiente fluidez para ser bombeado. Uno o más termómetros deberán colocarse en el sistema de alimentación de asfalto para garantizar el control de la temperatura del asfalto.

Las líneas de retomo que descargan en el tanque de almacenamiento deberán estar siempre por debajo del nivel de asfalto para prevenir que el asfalto se oxide durante su circulación (Figura 4.10). Para romper el vacío creado en las líneas cuando se invierte la bomba, y para limpiar las líneas, se deben cortar dos o tres ranuras

verticales en la línea de retorno dentro del tanque, por encima de la marca de máximo nivel.

Se puede instalar una válvula o espiga en el sistema de circulación para permitir muestreo de asfalto. Cuando se este muestreando en el sistema de circulación, se deberá tener mucha precaución, puesto que la presión en las líneas puede causar salpicaduras de asfalto caliente.

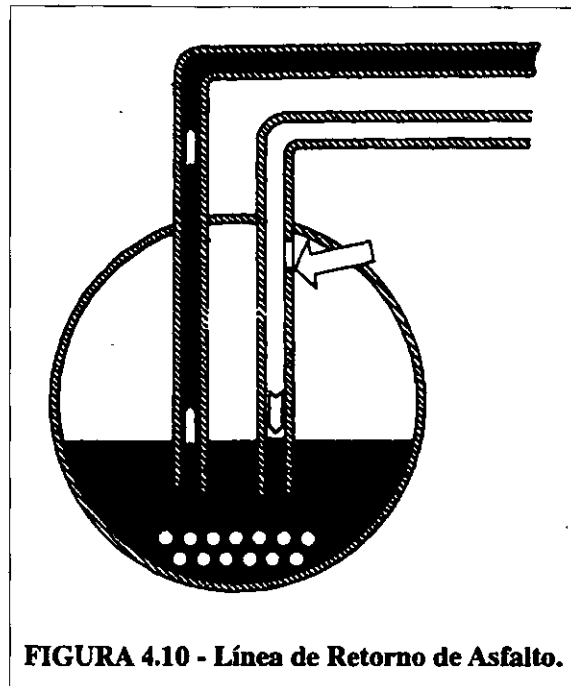


FIGURA 4.10 - Línea de Retorno de Asfalto.

MUESTREO DE ASFALTO

Normalmente las muestras de asfalto se toman de una válvula de muestreo en un tanque de camión o de almacenamiento. A continuación se presentan unas reglas importantes que deben seguirse durante el muestreo de asfalto:

Tome las muestras en las válvulas de muestreo diseñadas para este propósito, para garantizar que las muestras sean representativas de todo el cargamento (Figura 4.11). Las muestras de inmersión tomadas de la parte alta del tanque no son generalmente representativas. La norma AASHTO T 40 describe otros métodos de muestreo, y también algunas especificaciones de agencias gubernamentales.

- Use solamente recipientes nuevos, limpios, y secos.
- Permita que por lo menos un litro de asfalto drene de la válvula antes de tomar la muestra. Esto limpia la válvula y las líneas y ayuda a proporcionar una muestra representativa.
- Selle inmediatamente los recipientes llenos con tapas limpias, secas, y de ajuste apretado. Limpie cualquier material que se haya derramado sobre el recipiente usando un trapo limpio y seco. NUNCA use un trapo empapado o sumergido en solvente.

- Marque todos los recipientes claramente. No marque las tapas, porque una vez la tapa sea removida será imposible identificar la muestra en el recipiente. Para marcar use un marcador indeleble. Solamente use rótulos cuando no hay peligro de que se pierdan durante el transporte de las muestras.
- Siga todas las precauciones de seguridad necesarias para manejar y almacenar asfalto caliente. Recuerde que el cemento asfáltico está muy caliente cuando es muestreado. Por esta razón, use ropa de protección (guantes, careta, camisa de manga larga) para evitar quemaduras.

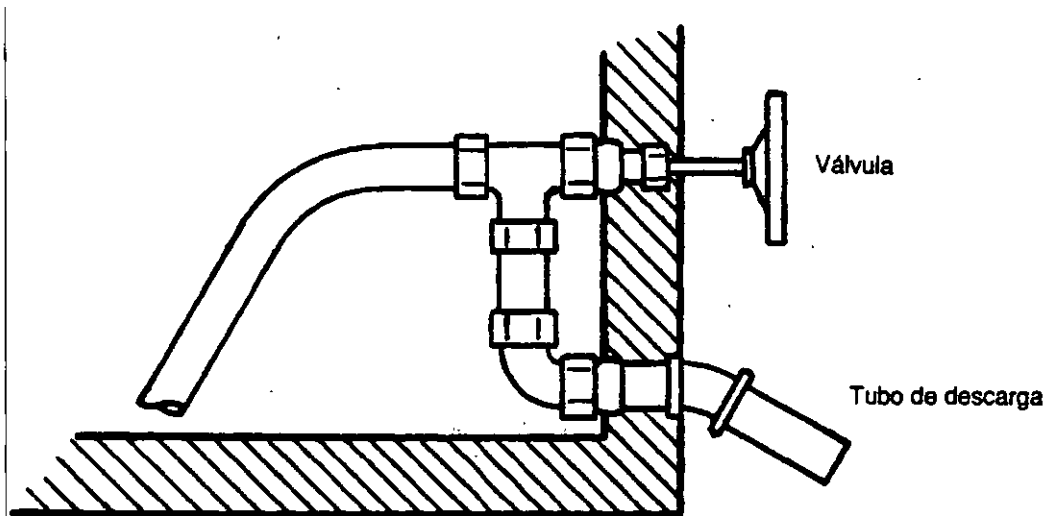


FIGURA 4.11 - Dispositivo Usado en Tanques de Camión o de Almacenamiento para Muestrear Asfalto.

MANEJO Y ALIMENTACIÓN DEL RELLENO MINERAL

Almacenamiento y Manejo

El relleno mineral está sujeto a aglutinamiento o endurecimiento a causa de la humedad. Por lo tanto, es necesario un almacenaje separado para proteger al relleno de la humedad. En operaciones de planta donde el uso de finos es grande, se usa frecuentemente un sistema de silo para almacenaje de finos para mantener una reserva de varios días (Figura 4.12). Dicho sistema puede tener un dispositivo mecánico, o uno neumático, para alimentar la planta con relleno mineral. En los sistemas neumáticos el relleno mineral es arrastrado por una corriente de aire y es manejado como un fluido, lo cual ofrece un control exacto y elimina taponamientos.

El sistema neumático generalmente consiste de una tolva receptora, un transportador de tornillo sin fin, un elevador hermético al polvo, y un silo (Figura 4.12). El elevador carga el silo, de donde el relleno es dosificado a la planta. El silo también puede ser cargado directamente de camiones. El relleno mineral es

normalmente introducido a la mezcla en la tolva pesadora de la planta de dosificación. En algunas plantas puede existir un sistema separado de pesaje.

En una planta mezcladora de tambor el relleno mineral es introducido neumáticamente, a través de tubería, por el mismo lugar donde es introducido el asfalto.

En las plantas donde el volumen de asfalto usado no justifica un silo, podrá usarse un sistema alimentador de sacos. Este sistema consiste de un alimentador, un elevador hermético al polvo, una tolva, un transportador de tomillo sin fin o un alimentador de paletas, y un conducto de rebose.

En ambos sistemas, de silo y de sacos, la dosificación final del relleno mineral en la mezcla se logra a través de un alimentador de paletas de velocidad variable, o alimentador de tomillo o banda, dependiendo del material a ser manejado y de la capacidad requerida. En cada caso, el mecanismo alimentador de relleno mineral esta entrelazado con los mecanismos de alimentación de agregado y asfalto para garantizar un proporcionamiento uniforme.

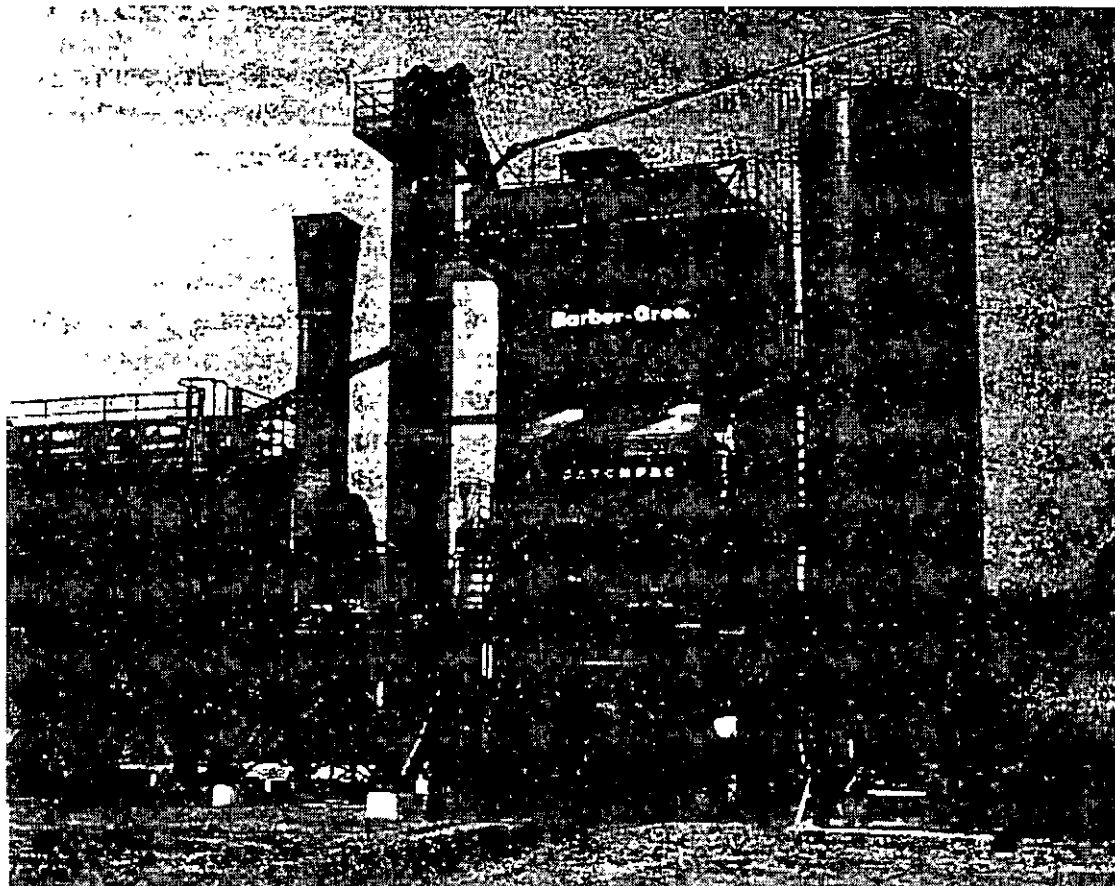


FIGURA 4.12 - Sistema de Silo para Alimentación de Relleno Mineral.

El manejo de relleno mineral también incluye un sistema colector de polvo. Los colectores de polvo están diseñados para atrapar el relleno mineral que se escapa de la mezcla de agregado y luego devolverlo a la planta para ser incorporado en la mezcla en caliente.

Cuando se presenta un exceso de finos en la alimentación del agregado en bruto, puede emplearse un sistema de paso para recibir el relleno recogido por el colector de polvo. La cantidad que se requiere de relleno es luego realimentada en la mezcla y cualquier cantidad en exceso es desviada hacia un depósito de almacenaje para ser evacuada o para otros usos.

CONTROL DE ALIMENTACIÓN

Cuando el relleno mineral es adicionado a la mezcla su proporción debe ser exacta. En consecuencia, el flujo de relleno mineral hacia la planta debe ser cuidadosamente controlado y revisado con frecuencia.

El porcentaje de relleno mineral que va hacia la mezcla en caliente puede ser calculado midiendo la cantidad de relleno consumida en la planta durante la producción de una cantidad dada de mezcla en caliente.

Cuando el relleno mineral es suministrado y almacenado en masa (el caso de silos), no es generalmente práctico medir la cantidad almacenada. En lugar de ello, se debe revisar con sumo cuidado, y con frecuencia, la calibración de los mecanismos de alimentación y pesaje.

REGISTROS DE LOS MATERIALES

Siempre se deberá mantener a mano suficiente material para prevenir una operación del tipo "pare y siga" Todos los materiales que van a ser usados en la mezcla deberán ser muestreados, ensayados, y evaluados para verificar su conformidad con las especificaciones de calidad de la obra.

AGREGADOS

A medida que los agregados son recibidos en la planta, se deberá registrar una descripción de los mismos, anotando la fecha y la cantidad entregada, y si el material ha sido o no ensayado antes de la entrega Si el material ha sido ensayado, se deberá registrar el número de identificación del ensayo y se deberán tomar las muestras necesarias para verificar los resultados del ensayo El tamaño y la frecuencia de estas muestras de verificación variara de acuerdo a la política de la agencia que esta estableciendo las especificaciones, y deberá estar estipulada en las especificaciones o en el manual de operación

Si el material no ha sido ensayado antes de ser entregado, se deberán obtener muestras aleatorias y efectuar los ensayos requeridos para garantizar conformidad con todas las especificaciones Como mínimo se deben efectuar ensayos para determinar tamaño y graduación (análisis granulométrico), limpieza (análisis granulométrico por lavado), y equivalente de arena Frecuentemente se toman muestras para medir absorción, gravedad específica, tenacidad (sanidad), y tendencia al desprendimiento (afinidad con el asfalto) Estas son enviadas al laboratorio central.

Los registros para los materiales que no han sido previamente ensayados deberán incluir:

- Nombre del dueño o vendedor.
- Lugar del origen del suministro.
- Cantidad disponible aproximada.
- Cantidad representada por cada muestra

ASFALTO

En la mayoría de los casos el asfalto viene de una fuente ya ensayada y es aceptado por certificación. Aun así, es necesario mantener un registro de todas las entregas de asfalto a la planta. La siguiente información deberá ser incluida en estos registros:

- Identificación del proyecto.
- Fecha de entrega.
- Numero del recibo de entrega.
- Numero del ensayo previo.
- Cantidad de asfalto por peso o volumen calculado, basado en una medición directa. Cuando el volumen es calculado, la siguiente información debe ser suministrada:
 - a) Identificación del gráfico de calibración.
 - b) Medición inicial - antes de descargar.
 - c) Medición final - después de la descarga.
 - d) Temperatura del asfalto.
 - e) Factor de corrección de temperatura para reducir a galones equivalentes a una temperatura de 15°C (60°F).
 - f) Galones equivalentes.
 - g) Numero de la muestra de verificación.

OTROS MATERIALES

Registros similares deberán ser mantenidos para todo material que va a ser incorporado en la mezcla; tal como aditivos de relleno mineral.

OPERACIONES SIMILARES: PLANTAS DE DOSIFICACIÓN Y MEZCLADORAS DE TAMBOR

Ciertas operaciones de planta son comunes para la planta de dosificación y la planta mezcladora de tambor. Estas operaciones incluyen:

- Almacenamiento y alimentación de agregado frío.
- Control y colección de polvo.
- Almacenamiento de mezcla.
- Pesaje y manejo.

Cada uno de estos tópicos es discutido mas adelante en diferentes sub-secciones. También, común a todas las plantas es la importancia de la uniformidad y el balance, tanto en los materiales usados como en las operaciones de planta. La uniformidad garantiza que la mezcla en caliente cumpla consistentemente con las especificaciones, e incluye la uniformidad en los materiales, uniformidad en el proporcionamiento de materiales, y uniformidad continua en la operación de todos los componentes de la planta. Los cambios en las características o proporciones de materiales, y las interrupciones y arranques intermitentes en las operaciones de la planta, hacen que la producción de una mezcla en caliente, conforme con las especificaciones de la obra, sea una labor extremadamente difícil.

El balance abarca la coordinación cuidadosa de todos los elementos de producción. El balance de las cantidades de materiales con la producción de planta, y el balance de la producción de la planta con las operaciones de colocación del pavimento, garantiza un esfuerzo continuo y uniforme de producción y colocación.

La uniformidad y el balance están garantizados cuando hay una preparación cuidadosa. Los materiales deben ser muestreados y ensayados, y los componentes de la planta deben ser cuidadosamente inspeccionados y calibrados, antes de comenzar la producción.

ALMACENAJE Y ALIMENTACIÓN EN FRÍO DE AGREGADO

Descripción General

El sistema de acopio y alimentación en frío de agregado mueve agregado frío (sin calentar) del almacenaje a la planta.

El alimentador de agregado frío es el primer componente principal de la planta de mezclas asfálticas en caliente. El alimentador en frío puede ser cargado usando cualquiera, o una combinación, de tres métodos diferentes:

- (1) Tolvas abiertas con dos, tres o cuatro compartimientos, usualmente alimentadas por un cucharón de almeja de una grúa o por un cargador de tractor.
- (2) Túnel debajo de apilamientos separados por muros de contención. Los materiales son apilados sobre el túnel mediante banda transportadora, camión, grúa, o cargador de tractor.
- (3) Arcones o tolvas grandes. Estos son usualmente alimentados por camiones, descargadoras de vagón, o vagones de descarga inferior descargando directamente sobre los arcones.

Al cargar las tolvas frías (Figura 4.13) se debe tener mucho cuidado para minimizar la segregación y degradación del agregado. Deberá mantenerse suficiente material en todas las tolvas para proveer un flujo constante y uniforme.

Si el nivel del apilamiento por encima del túnel es mantenido con cucharón de almeja o de arrastre, el operador no deberá recoger material del montón a nivel del suelo. La cuchara deberá sostenerse a suficiente altura por encima del suelo para prevenir contaminación cuando se este trabajando.

Cuando se usan camiones para cargar la tolva, estos deberán depositar sus cargas directamente encima del alimentador.

Cuando el apilamiento es reabastecido mediante bandas superiores o transportadores elevados, deberá controlarse la caída libre de material usando placas desviadoras o chimeneas perforadas.

Las unidades de alimentación de agregado deberán colocarse debajo de las tolvas de almacenaje, o de los apilamientos, o en lugares que garanticen un flujo uniforme de agregados.

Las compuertas, localizadas en la parte baja de las tolvas, alimentan la línea transportadora, que lleva los agregados al secador, con cantidades controladas. Controles de alimentación regulan la cantidad de agregado que sale de cada tolva, proporcionando de este modo un flujo uniforme y continuo de mezcla de agregado, correctamente graduada, hacia la planta.

Existen varios tipos de alimentadores en frío. Entre los más comunes se encuentran: (1) tipo continuo de banda, (2) tipo vibratorio, y (3) tipo mandil. Cada uno está ilustrado en la Figura 4.14.

4.14.

Generalmente, los alimentadores continuos de banda se consideran los mejores para agregados finos. Cualquiera de los tres tipos de alimentadores son adecuados para manejar agregados gruesos.

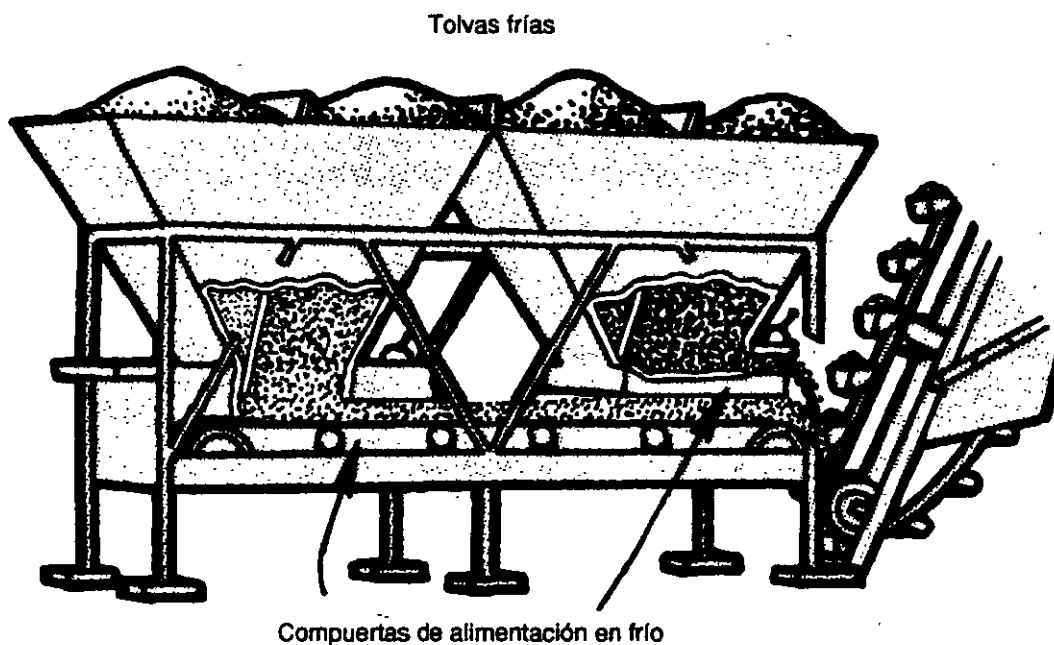
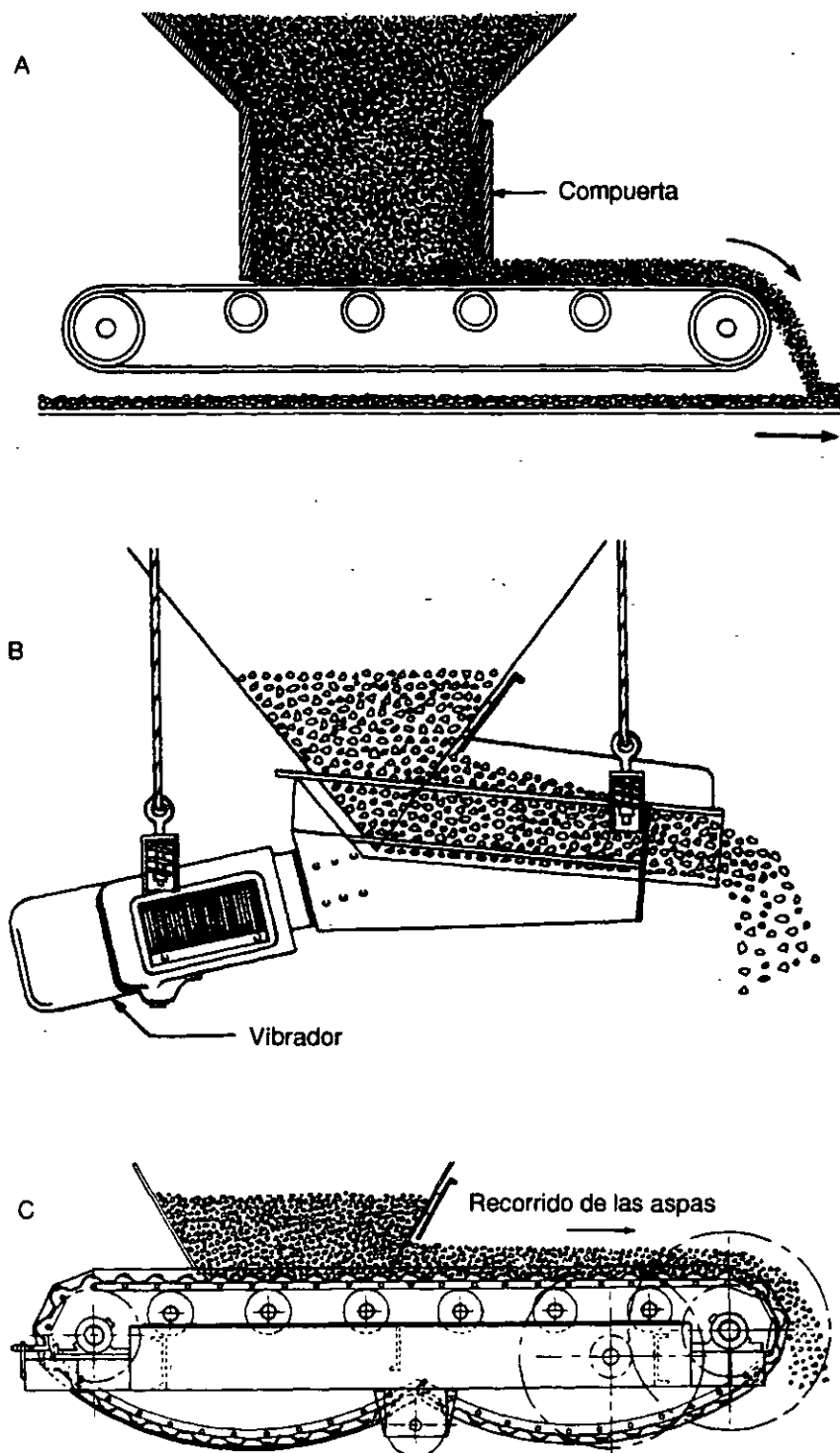


FIGURA 4.13 - Sistema Típico de Tolva para Alimentación en Frío.



GURA 4.14 - Sistemas Típicos de Alimentación en Frío : A. Alimentador Continuo de Banda, B. Alimentador Vibratorio, y C. Alimentador de Aspas (Tipo Mandil).

GARANTIZANDO EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL ALIMENTADOR

El inspector deberá revisar el sistema alimentador antes y durante la producción para asegurarse que este funcionando correctamente. Esto se debe a que es importante, para la producción de mezcla en caliente, tener un flujo uniforme de agregado correctamente graduado. Las condiciones que el inspector puede revisar para ayudar a garantizar un correcto funcionamiento del alimentador incluyen:

- Tamaños correctos de agregados en las pilas y en las tolvas frías.
- Ninguna segregación de agregados.
- Ningún entremezclado de reservas de agregado.
- Compuertas alimentadoras calibradas, aseguradas y ajustadas con exactitud.
- Ninguna obstrucción en las compuertas alimentadoras o en las tolvas frías.
- Ajustes correctos en los controles de velocidad.

CALIBRANDO Y AJUSTANDO LOS ALIMENTADORES

Las compuertas alimentadoras de agregado frío deben estar calibradas, ajustadas y aseguradas para garantizar un flujo uniforme de agregado. Mientras que esta calibración es responsabilidad del contratista, el inspector también deberá estar enterado de los métodos y procedimientos usados.

Las compuertas deberán estar calibradas para cada tipo y tamaño de agregado usado. Los fabricantes generalmente suministran calibraciones aproximadas para las aberturas de compuerta de sus equipos, pero la única manera exacta para fijar las compuertas es la de preparar gráficos de calibración basados en los agregados que van a ser usados en la mezcla. El inspector deberá examinar los gráficos de calibración de los alimentadores en frío para estar enterado de los ajustes de cantidades de producción.

Existen dos métodos para calibrar los alimentadores en frío de agregado: (1) aberturas ajustables de compuerta con alimentadores de banda de velocidad fija, y (2) aberturas semi-fijas de compuerta con alimentadores de banda de velocidad variable.

Aberturas Ajustables de Compuerta con Alimentadores de Banda de Velocidad Fija

En este método, la calibración comienza al abrir primero una compuerta un 25 por ciento, o menos, de su máxima abertura, y luego poniendo en marcha el alimentador. Cuando el alimentador esté funcionando aproximadamente a la misma velocidad a la cual operará durante la producción real, se procede a recoger en un recipiente, y a pesar, el agregado que sale de la compuerta después de un determinado intervalo de tiempo. Si la compuerta que esta siendo calibrada es del tipo que descarga directamente sobre el sistema alimentador principal de banda transportadora, entonces deberá determinarse el flujo por minuto de material, para la abertura de compuerta que se esta revisando, usando la siguiente ecuación:

$$q = \frac{WR}{r(1+m)}$$

Donde

q = tasa de flujo del agregado seco (kg. por minuto)

W = peso del agregado medido (kg.)

r = longitud de la sección de banda de donde el material fue removido (en metros)

R = velocidad de banda (metros por minuto); y

m = contenido de humedad del agregado

En sistemas alimentadores en frío como los de flujo continuo de banda y flujo de aspas, en donde la compuerta descarga el material sobre un transportador pequeño en vez de un transportador grande principal, el flujo de material puede ser calculado usando el número de revoluciones de la banda pequeña. En este cálculo se usa la ecuación anterior con:

r = el numero de revoluciones de la banda pequeña durante la recolección de agregado (en revoluciones), y

R = revoluciones de la banda por minuto (revoluciones por minuto)

La operación se repite para tres o mas aberturas diferentes en cada compuerta. Después de que se hayan hecho cálculos, múltiples para cada compuerta que va a ser usada durante la producción, se procede a preparar un gráfico de calibración. Sobre el gráfico, se trazan las aberturas de compuerta en la escala horizontal (en centímetros), y las tasas de flujo del agregado en la escala vertical (en kilogramos por minuto).

Una vez se haya construido el gráfico de calibración, se procede a determinar las aberturas exactas de compuerta necesarias para la producción, usando la tasa requerida de flujo de agregado.

Para hacer esto, se usa la siguiente formula:

$$Q = \frac{TP}{6}$$

Donde

Q = tasa de flujo requerida (kg. por minuto)

T = producción de la planta (toneladas por hora)

P = porcentaje en peso total de mezcla.

A continuación se presenta un problema de ejemplo para mostrar el método usado para desarrollar un gráfico de calibración (Figura 4.15) y para determinar las aberturas correctas de las compuertas de alimentación en frío. Una vez hayan sido determinadas las aberturas exactas de compuerta, éstas se ajustan en la posición correcta.

Problema Ejemplo:

El diseño de mezcla de concreto asfáltico para una obra requiere de cuatro tipos de agregado:

(1) piedra triturada gruesa (20 por ciento), (2) piedra triturada intermedia (40 por ciento), (3) agregado fino (30 por ciento), y (4) relleno mineral (10 por ciento). Cada uno de estos materiales es cargado en tolvas separadas de alimentación en frío.

La Tolva # 1 contiene la piedra triturada gruesa que se requiere para la mezcla. Durante las pruebas de calibración, la compuerta de la Tolva # 1 fue ensayada para cuatro aberturas diferentes (5, 10, 15 y 20 centímetros), y muestras de agregado fueron recogidas y pesadas. Debido a que el tipo de sistema utilizado descarga directamente el material sobre un transportador principal, es necesario usar la primera ecuación:

$$q = WR/r(1+m)$$

Ahora, para la abertura de 5 centímetros, los siguientes datos fueron recopilados:

Abertura de compuerta	W	R	r	m
5 cm.	14.3 kg.	75 m/minuto	1.5 m.	0.03 (3%)

Usando la ecuación,

$$\begin{aligned}
 q &= \frac{WR}{r(1+m)} \\
 &= \frac{(14.3)(75)}{1.5(1+0.03)} \\
 &= 694 \text{ kg./minuto}
 \end{aligned}$$

Cuando la compuerta se abre 5 centímetros, la Tolva #1 suministra agregado a una tasa de 694 kg./minuto.

A continuación se muestran los resultados y los cálculos de las tasas de flujo para las otras aberturas de compuerta de la Tolva #1, y para las aberturas de compuerta de las otras tolvas.

Tolva #1 Piedra Triturada (gruesa)

<u>Abertura (cm.)</u>	<u>W (kg.)</u>	<u>R (m./min.)</u>	<u>r (m.)</u>	<u>m (%)</u>	<u>q (kg./min.)</u>
5	14.3	75	1.5	3	694
10	31.2	75	1.5	3	1515
15	37.9	75	1.2	3	2300
20	36.2	75	1	3	2636

Tolva #2 Piedra Triturada (intermedia)

<u>Abertura (cm.)</u>	<u>W (kg.)</u>	<u>R (m./min.)</u>	<u>r (m.)</u>	<u>m (%)</u>	<u>q (kg./min.)</u>
5	13	75	1.5	6	613
10	26.9	75	1.5	6	1269
15	32.3	75	1.2	6	1904
20	31.2	75	1	6	2208

Tolva #3 Agregado Fino

<u>Abertura (cm.)</u>	<u>W (kg.)</u>	<u>R (m./min.)</u>	<u>r (m.)</u>	<u>m (%)</u>	<u>q (kg./min.)</u>
5	11.2	75	1.5	3	544
10	21.5	75	1.5	3	1044
15	31.7	75	1.5	3	1539
20	39.2	75	1.2	3	2379

Tolva #4 Relleno

<u>Abertura (cm.)</u>	<u>W (kg.)</u>	<u>R (m./min.)</u>	<u>r (m.)</u>	<u>m (%)</u>	<u>q (kg./min.)</u>
5	8.4	75	1.5	4	404
10	18.9	75	1.5	4	909
15	27.4	75	1.5	4	1317
20	34	75	1.5	4	1635

Teniendo ya el gráfico completo de calibración, se procede a determinar las aberturas correctas de compuerta para cada tolva. Al hacer esta determinación, la cantidad de descarga de cada compuerta debe ser balanceada con las cantidades de descarga de las otras compuertas para garantizar la correcta graduación en la mezcla.

Las aberturas de compuerta dependen de la producción proyectada en la planta, en toneladas por hora. Para el problema del ejemplo considere una tasa de producción en la planta de 250 toneladas por hora. Las aberturas de compuerta necesarias para esta tasa de producción se calculan usando la segunda ecuación:

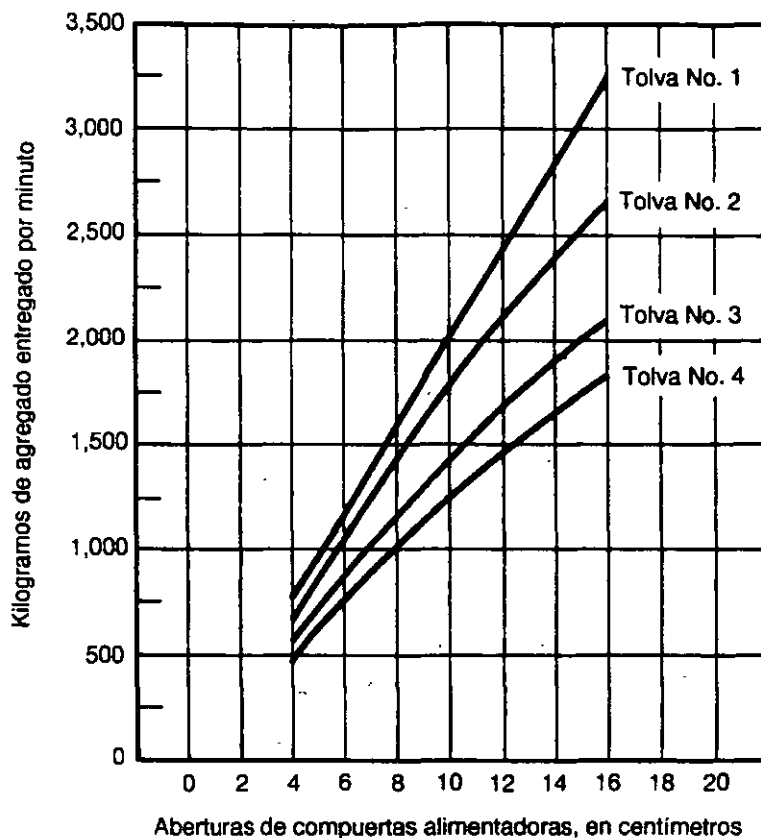


FIGURA 4.15 - Ejemplo de Gráfico de Calibración para Alimentadores de Agregado.

$$Q = \frac{TP}{6}$$

y haciendo después referencia al gráfico de calibración, como se explica a continuación. En el ejemplo, las proporciones requeridas de agregado para la mezcla de la obra son:

Piedra Triturada Gruesa	20% (Tolva #1)
Piedra Triturada Intermedia	40% (Tolva #2)
Agregado Fino	30% (Tolva #3)
Relleno Mineral	10% (Tolva #4)

La tasa de flujo para cada tolva se calcula de la siguiente manera:

Tolva #1 Piedra Triturada (gruesa)

$$Q = \frac{TP}{6} = \frac{250 \times 20}{6} = 833 \text{ kg./minuto}$$

Haciendo luego referencia al gráfico de calibración (Figura 4.15), encontramos que la abertura de compuerta de la Tolva #1 para una cantidad de flujo de agregado de 833 kg./min. es de 6 centímetros.

Usando el mismo método, encontramos las aberturas de compuerta para las otras tolvas:

Tolva #2	13 cm.
Tolva #3	12 cm.
Tolva #4	5 cm.

Aberturas Semi-Fijas de Compuerta con Alimentadores de Banda de Velocidad Variable

En muchas plantas modernas, las compuertas de alimentación en frío no son ajustadas para cada rango, sino que son controladas por alimentadores de banda y alimentadores vibratorios de velocidad variable (medida en revoluciones por minuto - RPM).

La velocidad de la banda es ajustada de acuerdo a la tasa de producción deseada. Para efectuar esta calibración todas las tolvas son llenadas con sus respectivos tamaños de agregados. Luego la planta es puesta en marcha y el primer alimentador se ajusta para que funcione a un determinado RPM. Una vez la planta esta operando uniformemente, se procede a recoger y pesarla cantidad de material descargado durante un periodo determinado de tiempo, por ejemplo 30 minutos. Este procedimiento se repite por lo menos para tres calibraciones (20, 50, y 70 RPM, por ejemplo) en la misma tolva o alimentador. La tasa de producción para el primer alimentador, para cada una de las RPM, es luego calculada y trazada sobre una gráfica similar a la de la Figura 4.16. El procedimiento completo es repetido para cada uno de los alimentadores restantes.

Para determinar el nivel de graduación de las RPM en cada alimentador, para una tasa específica de producción total, se sigue un procedimiento parecido al que se mostró en el ejemplo anterior.

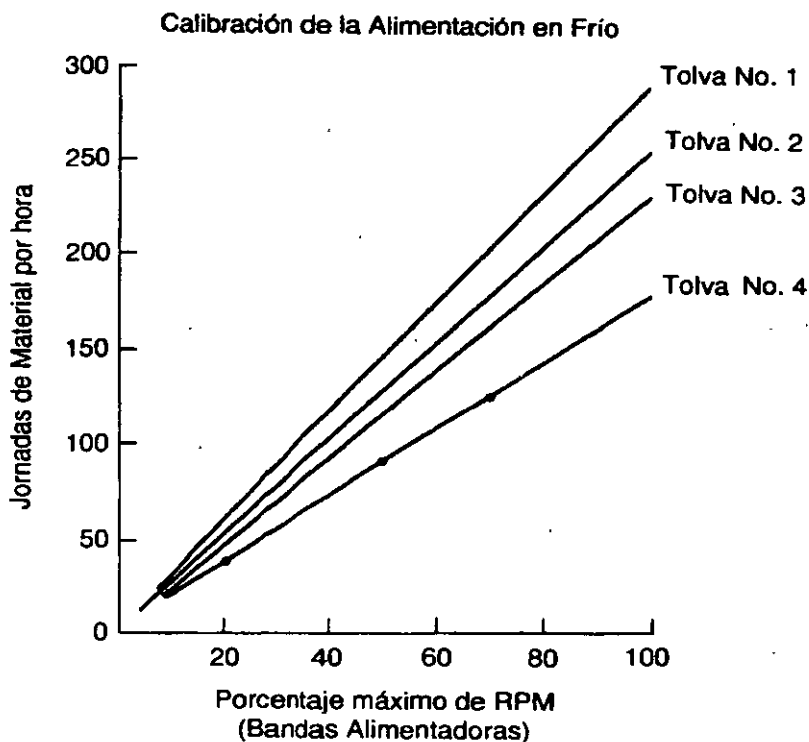


FIGURA 4.16 - Gráfico de Calibración.

La información de calibración, las mediciones de abertura de compuerta, y la velocidad de los alimentadores (RPM) deberán ser registradas por el inspector como parte de su diario. Los datos también deberán permanecer en un archivo en el laboratorio de la planta.

SISTEMAS DE CONTROL DE POLVO Y DE RECOLECCIÓN

La imposición de códigos o regulaciones de polución de aire es usualmente ejercida por la autoridad local de control de polución. Debido a que el sistema de control de polvo esta integrado en la operación de la planta, el inspector deberá, por lo menos, conocer los controles y equipos necesarios para cumplir con estas regulaciones.

DESCRIPCIÓN GENERAL

Los fabricantes de plantas de asfalto reconocen el problema de la polución de aire y han desarrollado equipos que restringen el escape de contaminantes en sus plantas. Aun así, durante la operación de una planta de asfalto algunos contaminantes gaseosos y partículas pueden escapar hacia el aire. Estos contaminantes deben ser limitados para cumplir con las regulaciones establecidas para aire limpio. Se requiere que el contratista este familiarizado con las leyes locales y estatales referentes a polución del aire.

Los códigos y regulaciones del control de polución de aire que conciernen a plantas de asfalto, incluyen, normalmente, una combinación de normas para control de emisiones en las chimeneas. La norma del método visual hace uso de un gráfico para clasificar la densidad del humo. El gráfico ilustra los colores y la claridad de varias densidades de humo. La revisión de emisiones se hace al comparar y emparejar el color y densidad de la salida de escape, por encima de la chimenea de la planta, con una de las áreas del gráfico. El método visual no determina exactamente la cantidad de material contaminante liberado porque el humo negro aparece más denso que el polvo blanco. En consecuencia, los medidores electrónicos de opacidad (usan pilas fotoeléctricas para medir el paso de luz) están reemplazando los gráficos de opacidad debido a que tienen mayor precisión.

Las normas más definidas están basadas en la cantidad de partículas emitidas por la chimenea. El requerimiento más común consiste en establecer un límite superior para el peso de partículas siendo emitidas en comparación con el volumen de gas liberado con este peso. Otras normas relacionan la cantidad de partículas emitidas con el peso de material producido.

Un interés mayor en la planta de asfalto, respecto a la polución de aire, se centra alrededor de la unidad de combustión. Los quemadores sucios y taponados, y las mezclas inapropiadas de aire - combustible, generan humo excesivo y productos indeseables de combustión. Es importante, entonces, revisar continuamente, y muy de cerca, la limpieza y el ajuste de los quemadores y del equipo adjunto.

Otra fuente de polución de aire en una planta de asfalto es el polvo del agregado. Las emisiones más grandes de polvo ocurren en el secador rotatorio de la planta, en donde los colectores de polvo son comúnmente usados para cumplir con los requisitos de anti-polución de aire.

Comúnmente se usan tres tipos de colectores para atrapar el polvo del secador. Estos son los colectores centrífugos de polvo, los depuradores húmedos, y los compartimientos de filtros (filtros de tejido). Cada uno de estos tipos es discutido más adelante. Es posible que dos o tres de estos colectores tengan que ser usados en secuencia cuando el agregado es muy polvoroso.

Parte del polvo emitido en una planta es polvo oculto - polvo que se escapa de partes de la planta, excluyendo los colectores principales. Un plan programado de mantenimiento es requerido para mantener un nivel mínimo de polvo oculto.

COLECTORES CENTRÍFUGOS DE POLVO

Los colectores centrífugos de polvo (tipo ciclón) operan bajo el principio de la separación centrífuga. El escape de la parte superior del secador aspira el humo y los materiales finos, y los dirige hacia la centrifuga en donde son movidos en espiral (Figura 4.17). Las partículas grandes golpean la pared exterior y caen al fondo de la centrifuga; el polvo y el humo son descargados a través de la parte superior del colector. Los finos recogidos en el fondo de la centrifuga son levantados por una barrena de retomo de polvo y pueden ser devueltos a la planta o desechados.

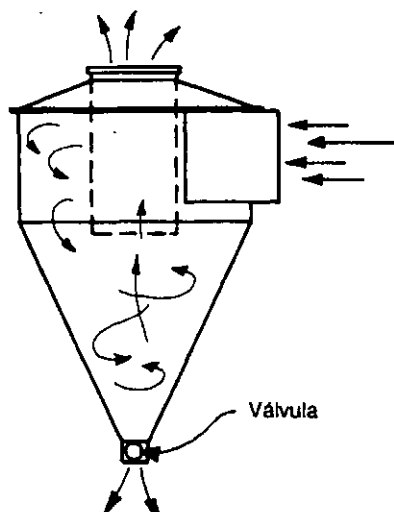
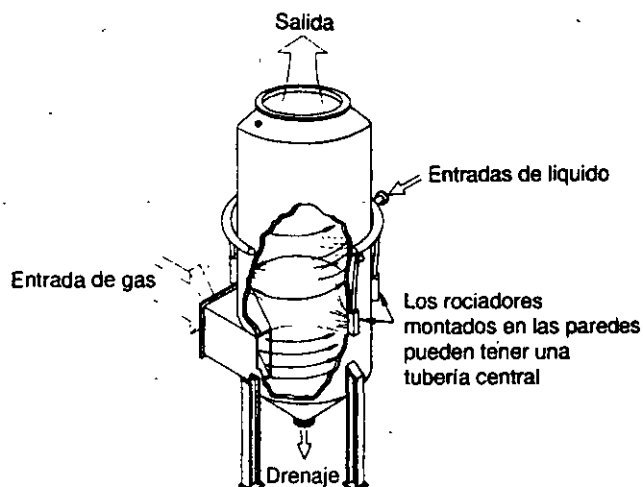


FIGURA 4.17 - Colector Centrifugo de Polvo (Típico).

FIGURA 4.18 - Depurador Húmedo (Típico).

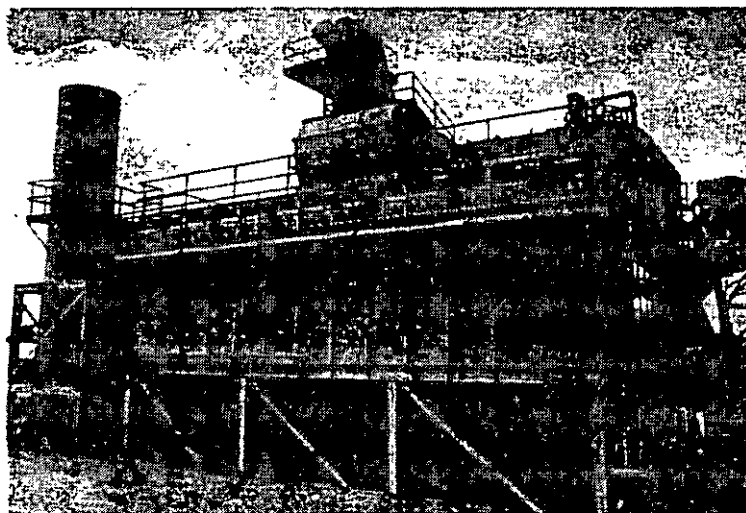
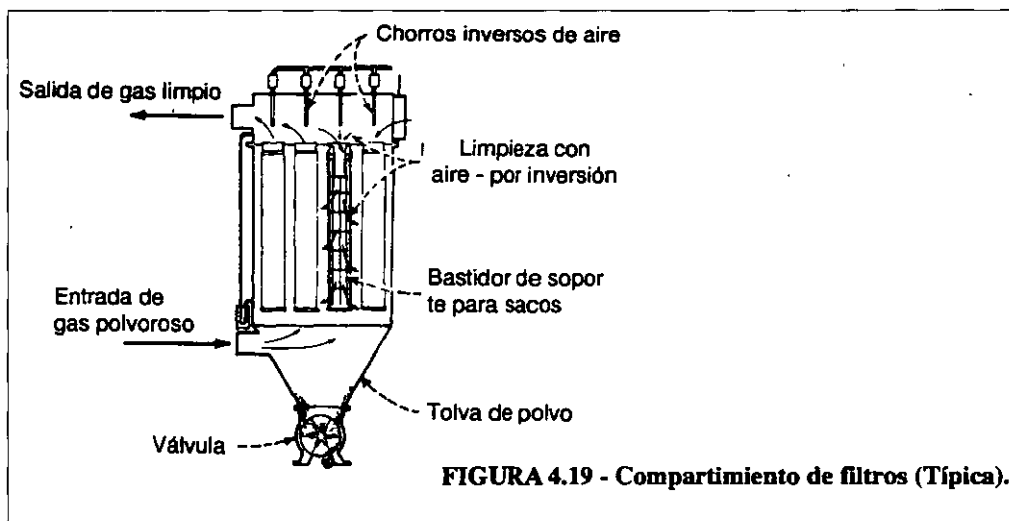


En el pasado, los colectores centrífugos de polvo habían sido el tipo más comúnmente usado, especialmente en áreas rurales de los Estados Unidos. Sin embargo, bajo las leyes actuales (más estrictas) de contaminación, se usa este tipo de colectores en combinación con otro - ya sea el depurador húmedo o el compartimiento de filtros.

DEPURADORES HÚMEDOS

El propósito de un depurador húmedo (Figura 4.18) es el de atrapar partículas de polvo en gotas de agua y removerlas de los gases del escape. Esto se logra al romper el agua en pequeñas gotas y poniendo estas en contacto directo con los gases cargados de polvo. Como lo ilustra la figura, los gases del secador son introducidos en la cámara a través de una toma de entrada, mientras que el agua es rociada dentro de la cámara mediante boquillas que se encuentran alrededor de la periferia.

Los depuradores húmedos son equipos relativamente eficientes. Sin embargo tienen ciertas desventajas. Primero, el polvo atrapado en las gotas no se puede recuperar. Segundo, el agua de desecho que contiene el polvo debe ser manejada correctamente para prevenir que se convierta en otra fuente de polución. Adicionalmente, los depuradores húmedos necesitan una fuente grande de agua, puesto que pueden usar más de 300 galones por minuto. La mayoría de los depuradores húmedos se usan en combinación con un colector de centrifuga. El ciclón (centrifuga) recoge los materiales mas gruesos y el depurador húmedo remueve los finos.



COMPORTAMIENTO DE FILTROS (Filtros de Tejido)

Un compartimiento de filtros (Figura 4.19) es un lugar grande de metal que contiene cientos de bolsas de tejido sintético, resistente al calor, usualmente tratadas con silicona para aumentar su capacidad de recoger partículas muy finas de polvo. Un compartimiento de filtros trabaja muy parecido a como trabaja una aspiradora de

polvo. Un ventilador grande de vacíos crea una succión dentro del compartimiento, la cual atrae aire sucio y lo filtra a través del tejido de las bolsas. Para manejar el inmenso volumen de gases provenientes del escape del secador de agregado, se requiere un número muy grande de bolsas (una unidad típica puede contener hasta 800).

Un compartimiento de filtros está dividido en una cámara de gas sucio y una cámara de gas limpio. Las bolsas filtrantes se encuentran en la cámara de gas sucio, a donde entra el aire proveniente del secador. El flujo de aire que lleva las partículas de polvo pasa a través del tejido de las bolsas filtrantes, depositando el polvo en la superficie de la bolsa. El aire luego continúa hacia la cámara de gas limpio. Durante la operación los tejidos filtrantes atrapan grandes cantidades de polvo. Eventualmente, el polvo se acumula en una "torta de polvo" que debe ser removida antes de que disminuya o pare el flujo de gas a través del filtro. Hay muchas maneras de limpiar las bolsas en un colector, pero los métodos más comunes consisten en doblar las bolsas al reverso, hacer una limpieza al reverso con aire limpio, o ambas cosas. El polvo removido de los filtros cae en un barreno situado en el fondo de la casa y es transferido a un silo de almacenamiento, donde frecuentemente es usado para la mezcla en caliente.

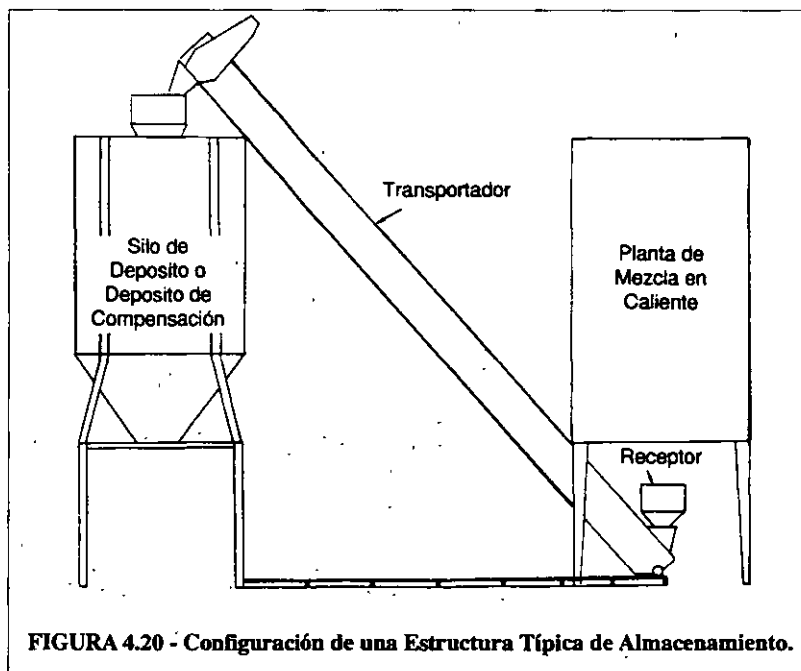


FIGURA 4.20 - Configuración de una Estructura Típica de Almacenamiento.

ALMACENAMIENTO DE MEZCLA EN CALIENTE

La mayoría de las plantas están equipadas con silos de almacenaje (depósitos de compensación) para el almacenamiento temporal de mezcla asfáltica en caliente, con el fin de prevenir paros en la planta debido a interrupciones temporales en las operaciones de pavimentación, o debido a la escasez de camiones que transportan material de la planta al lugar de pavimentación. La mezcla en caliente recién

elaborada es depositada por medio de un transportador, o elevador de material caliente, en la parte superior del depósito o silo (Figura 4.20), y es descargada en los camiones por la parte baja. Los silos o depósitos aislados (Figura 4.21) pueden almacenar mezcla en caliente hasta por 12 horas sin tener pérdidas grandes de calor o de calidad. Las capacidades fluctúan tanto como varios cientos de toneladas. Las estructuras de almacenamiento no-aisladas son generalmente pequeñas y solamente pueden almacenar mezcla por un periodo corto de tiempo.

Los silos de almacenaje trabajan bien, siempre y cuando se tomen ciertas precauciones, pero pueden causar segregación de la mezcla si no se usan correctamente. Una buena costumbre consiste en usar una placa deflectora, o un dispositivo similar, en el extremo de descarga del transportador que carga el silo. La placa deflectora ayuda a prevenir segregación de la mezcla a medida que esta cae dentro del depósito. Es también recomendable mantener la tolva llena, al menos en una tercera parte, para evitar segregación a medida que esta se desocupa, y para ayudar a mantener caliente la mezcla.

PESAJE Y TRANSPORTE

La mezcla asfáltica en caliente es transportada en camiones hacia los lugares de pavimentación. Los camiones transportadores varían en tamaño y tipo, pero una uniformidad en el equipo es muy conveniente en cualquier operación de pavimentación. Los camiones deberán ser inspeccionados cuidadosamente antes de ser usados. Las cargas de mezcla en caliente de los camiones deben pesarse en la planta para mantener un control exacto del material.

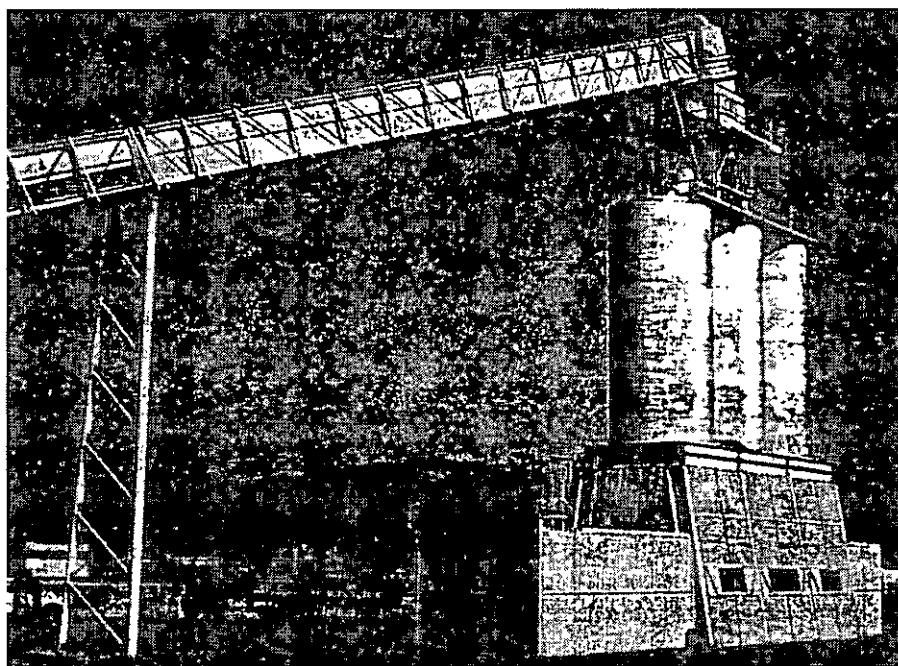


FIGURA 4.21 - Silos Aislados de Almacenaje de Alta Capacidad para Concreto Asfáltico.

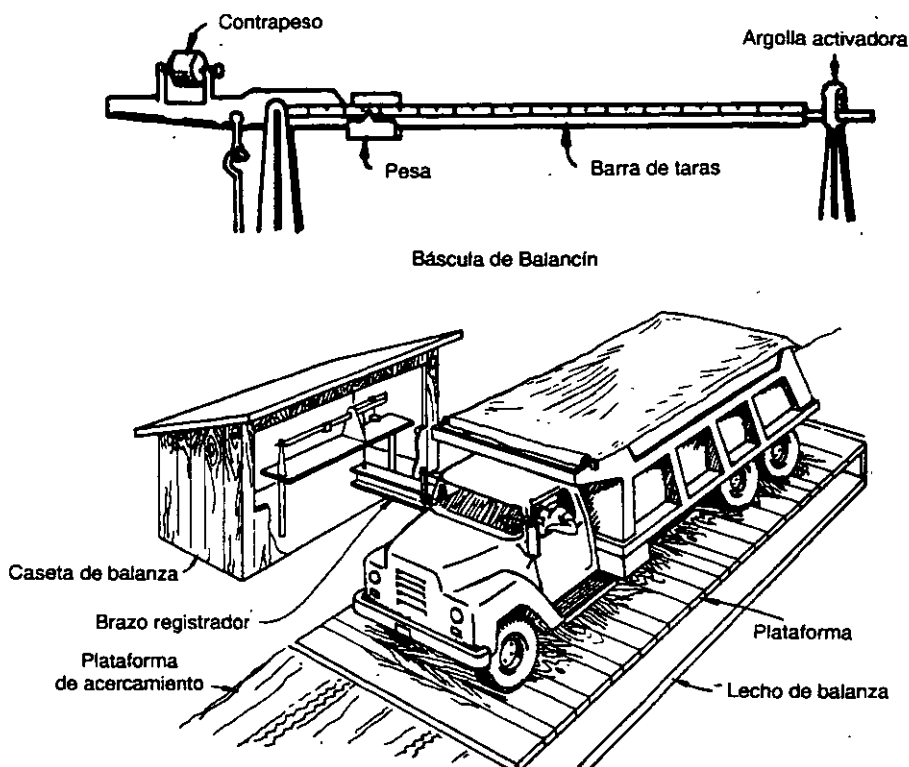


FIGURA 4.22 - Báscula de Camión y Plataforma Típica.

DETERMINANDO EL PESO DE MATERIAL ENTREGADO

La cantidad de mezcla en caliente entregada en el lugar de pavimentación puede ser determinada usando uno de dos métodos (1) pesando los camiones cargados en básculas, o (2) usando un sistema automático de registro en la planta (en el caso de plantas totalmente automatizadas) Cuando se usan básculas de camión estas deben ser del tipo que indica directamente el peso total del camión Deben ser horizontales y tener suficiente tamaño para pesar todos los ejes del camión al mismo tiempo El tipo de báscula de camión mas comúnmente usado es la báscula de balancín (Figura 4.22).

La exactitud de las básculas de camión debe ser revisada periódicamente Para este propósito, el contratista carga un camión con algún tipo de material, pesa en la báscula el camión cargado, y luego lo pesa en otra serie de básculas certificadas. Las básculas de camión también deben estar balanceadas antes de ser usadas.

Durante un día normal de operaciones, el inspector deberá revisar frecuentemente la báscula para verificar que esté balanceada. La báscula puede descalibrarse cuando los camiones dejan lodo o material extraño sobre la plataforma. Si hay muy poco material extraño sobre la plataforma, la báscula puede ser balanceada de nuevo al fijar el contrapeso. Si la báscula no entra en equilibrio después de fijar el contrapeso,

entonces deberá limpiarse la plataforma. Si después de limpiar la plataforma la báscula no entra en equilibrio entonces, las operaciones de planta deberán cesar hasta que la báscula vuelva a trabajar correctamente.

Además de las revisiones periódicas de la báscula y la plataforma, cada camión deberá ser aleatoriamente tarado (pesado cuando está vacío) y se deberá mantener un registro permanente de su peso neto en la caseta de pesaje.

Los boletos de pesaje impresos electrónicamente son ahora aceptados por varios estados y otras agencias (en los Estados Unidos). Estos boletos usualmente contienen pesos brutos, pesos de tara y pesos netos.

INSPECCIÓN DE LA MEZCLA EN CALIENTE

Las obligaciones del inspector no terminan con la revisión de los pesos de las cargas de los camiones. También debe hacer inspecciones visuales frecuentes de la mezcla a medida que esta es descargada de la planta al camión, y a medida que sale de la planta hacia el lugar de pavimentación. Muchos problemas graves en la mezcla pueden ser detectados mediante una cuidadosa inspección visual.

El control de la temperatura es siempre importante en todas las fases de producción de mezcla asfáltica en caliente. Una inspección visual puede detectar, con frecuencia, si la temperatura de una carga de mezcla se encuentra o no dentro del margen correcto. El humo azul que se levanta de una camionada de mezcla es, frecuentemente, indicación de un sobrecalentamiento. Si la temperatura de la mezcla está demasiado baja, la mezcla puede aparecer inactiva a medida que se deposita en el camión y puede mostrar una distribución no uniforme de asfalto. Un pico muy alto en la carga del camión también puede indicar una falta de calentamiento.

Un pico demasiado alto en la carga también puede ser indicación de que el contenido de asfalto en la mezcla es muy bajo. Por otro lado, si la mezcla se asienta (no forma un pico correcto) en el camión, puede ser que tenga demasiado asfalto o demasiada humedad.

Hay muchas causas comunes de la falta de uniformidad en la mezcla. La Figura 4.23 es una referencia práctica con la que el inspector puede identificar problemas en las mezclas y sus posibles causas.

Aunque las inspecciones visuales son importantes, ellas no son suficientes. El inspector también debe tomar mediciones. La medición más común es la de la temperatura de la mezcla. Normalmente la temperatura de la mezcla de concreto asfáltico es tomada en el camión. El inspector siempre deberá hacer saber al conductor del camión lo que está haciendo para que el camión permanezca quieto durante las inspecciones de la mezcla.

MUESTREO Y PRUEBAS DE MEZCLA EN CALIENTE

Propósito

El muestreo y las pruebas de la mezcla en caliente son las dos funciones más importantes en el control de planta. Los datos que surgen del muestreo y las pruebas determinan si el producto final cumple o no con las especificaciones. Por esta razón, los procedimientos de muestreo y de pruebas deben seguirse al pie de la letra para garantizar que los resultados provean un verdadero cuadro de las características y cualidades de la mezcla.

En muchas ocasiones, el inspector debe muestrear y ensayar material. En otras ocasiones, puede que solo sea responsable por muestrear material. Prescindiendo de sus responsabilidades en un proyecto específico, un inspector competente debe ser capaz de obtener muestras representativas, ejecutar ensayos de campo en laboratorio, e interpretar los resultados de las pruebas. Sin estas habilidades, el inspector será incapaz de determinar exactamente si la mezcla de pavimentación cumple o no con criterios de la obra.

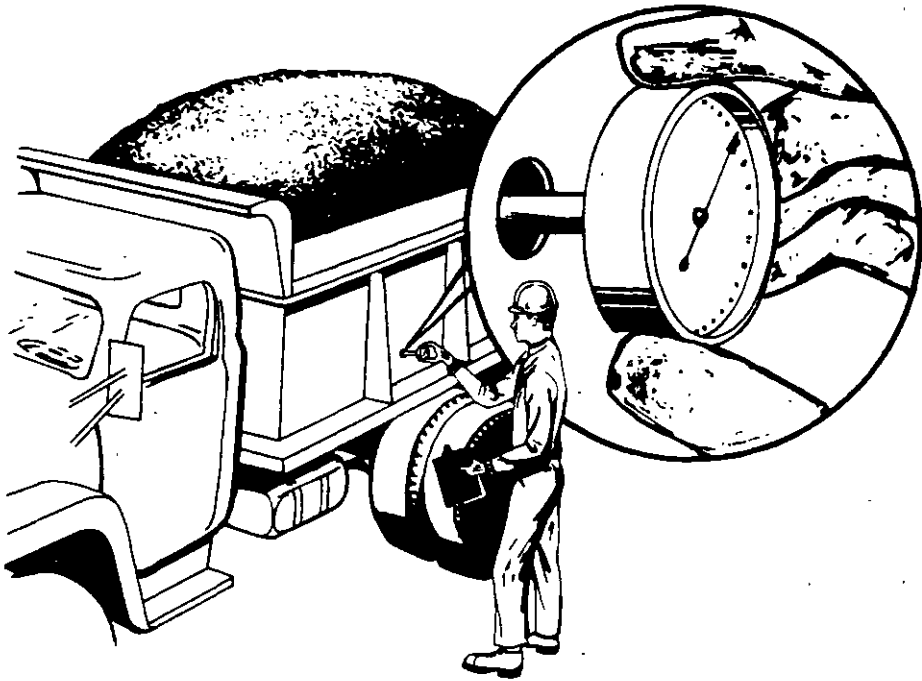


FIGURA 4.24 - Midiendo la Temperatura de la Mezcla en el Camión.

Programación

El programa de procedimientos de muestreo y de prueba es normalmente especificado por la agencia contratante. El programa incluye información sobre la frecuencia, el tamaño, y la localización del muestreo, así como las pruebas que deben llevarse a cabo. La Figura 4.25 presenta un programa sugerido de muestreo y de pruebas.

Muestra de	Frecuencia Mínima de Muestreo	Tamaño Mínima de Muestra	Prueba a ser efectuada	Designación del Método de Prueba
Mezcla sin Compactar	2 Diarias	20 lbs. (9.0 kg.)	Extracción Completa	AASHTO T-168 (ASTM D 979) AASHTO T-164 (ASTM D 2172) AASHTO T-30
Mezcla Compactada	2 Diarias	15 lbs. (6.8 kg.)	Densidad Estabilidad	AASHTO T-209 (ASTM D 2041) Requisitos de las Especificaciones de la obra

Notas:

⁽¹⁾ La frecuencia de muestreo será dictada por la agencia contratante y por las condiciones que cobijan la obra.

⁽²⁾ El tamaño de muestra puede estar dictado por la agencia contratante. El tamaño puede variar bajo condiciones especiales.

FIGURA 4.25 - Sugerencias para Programa de Muestreo y Ensayos.

Muestreo

La consideración más importante en el muestreo es la de estar seguro que la muestra tomada es representativa de la carga total de mezcla de donde la muestra es extraída. Los procedimientos para tomar muestras, marcar recipientes de muestras y prevenir contaminación de la muestra están descritos en la Sección 4.5, Materiales.

Pruebas

Además de ensayar la temperatura de la mezcla en caliente (Sección 4.7, Inspección de la Mezcla en Caliente), existen un número de pruebas usadas para determinar si la mezcla en caliente cumple o no con las especificaciones de la obra. Estas incluyen:

- Prueba de extracción.
- Prueba de análisis granulométrico.
- Análisis de estabilidad y densidad.

PRUEBA DE EXTRACCIÓN (AASHTO T 168)

La prueba de extracción mide el contenido de asfalto, y proporciona agregado para el análisis de granulométrico. Es la revisión final de todas las operaciones individuales que han hecho parte de la producción de la mezcla, y puede ser de gran ayuda en la evaluación de la calidad de la mezcla.

Cuando el ensayo muestre variaciones repetidas en las extracciones y graduaciones, se deberá efectuar una inspección cuidadosa de los alimentadores en frío, de la cubierta de la criba, de las paletas, y de la barra rociadora de asfalto. Adicionalmente, los tiempos de mezclado y de proporcionamiento deberán ser revisados.

PRUEBA DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (AASHTO T11 o T27) *

Un análisis granulométrico deberá efectuarse sobre el agregado extraído para revisar la graduación de las especificaciones (diseño de mezcla).

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y DENSIDAD (AASHTO T 209, T 245 o T 246 y T 247)

Las determinaciones de densidad en el pavimento terminado son necesarias para garantizar una correcta compactación de la mezcla. Estos ensayos se efectúan sobre muestras suministradas por el inspector de pavimentación. Comúnmente, las especificaciones requieren que el pavimento se compacte hasta un porcentaje mínimo de la densidad-máxima teórica o de la densidad obtenida mediante compactación de laboratorio. Cuando se usa la densidad máxima teórica, el inspector de planta debe obtener, del laboratorio central, las gravedades específicas de los componentes de la mezcla para poder calcular la densidad teórica. Cuando se usa la densidad obtenida mediante compactación de briquetas de laboratorio, las briquetas deben ser compactadas y sus densidades medidas de acuerdo al método designado por la agencia contratante.

Se deben tomar muestras representativas de mezcla en caliente en la planta mezcladora, y ensayarlas para verificarlas propiedades de diseño. (Ver Figura 3.19 o Figura 3.3 1).

REGISTROS DE INSPECCIÓN

El inspector debe mantener registros adecuados. Los registros suministran la base sobre la cual se determina la conformidad con las especificaciones y sobre la cual se efectúan los pagos. Estos deben, por lo tanto, ser claros, completos y exactos. Los registros también proveen una historia de la construcción y de los materiales que fueron usados en el proyecto. Como tal, los registros suministran una base para todos los estudios y las evaluaciones futuras del proyecto.

Para ser válidos, los registros y reportes deben ser completados en el momento que se hace un ensayo o se toma una medida, y deben mantenerse al día. Se debe llevar un diario para cada proyecto. La partida inicial del diario deberá registrar información básica: el número del proyecto, la localización de la planta, el tipo y marca de planta, la fuente de los materiales, los nombres del personal clave, y otros datos pertinentes. Cualquier cambio en la información deberá registrarse tan pronto ocurra. Además de fechas y comentarios rutinarios del tiempo, el diario deberá incluir una narrativa describiendo las principales actividades en la planta y en las operaciones del día. Los eventos inusuales deberán anotarse, particularmente aquellos que puedan tener un efecto desfavorable en la mezcla de pavimentación.

La Figura 4.26 muestra un ejemplo de un Reporte Preliminar de Inspección que el inspector puede usar, junto con la lista de revisión (Figura 4.27), cuando esta inspeccionando las condiciones de la planta. Los reportes preliminares usados en una obra específica pueden variar respecto al ejemplo mostrado; sin embargo, las partidas incluidas probablemente serán similares.

La Figura 4.27 presenta una serie de listas de revisión que el inspector puede usar para evaluar la condición y disposición de la planta para el proceso de producción. Note que la lista incluye partidas que deben ser revisadas para todas las plantas, así como partidas relacionadas solo con plantas de dosificación o solo con plantas mezcladoras de tambor. El inspector deberá tener en cuenta estas listas cuando estudie las secciones siguientes del manual referentes a plantas de dosificación y a plantas mezcladoras de tambor.

También se deberá mantener un reporte diario resumiendo las actividades de la planta. En el encabezamiento de este formulario se deberá registrar la misma información que aparece en el diario. El formulario deberá tener un resumen de los resultados de los ensayos ejecutados en el día, y una tabulación de las cantidades de materiales recibidas y usadas. La Figura 4.28 muestra un ejemplo de un formulario utilizado en los reportes diarios.

Deberá haber, además, un registro de los sitios en donde la mezcla asfáltica es colocada en la calzada; con referencia a la vía de tráfico, la capa, y la estación. Esta información se obtiene de los reportes escritos en el lugar de la pavimentación.

REPORTE PRELIMINAR DE INSPECCION - PLANTA DE MEZCLA EN CALIENTE

Proyecto _____ Municipio _____ Estado _____ Fecha _____

Información de la Planta Mezcladora
 Tipo de Planta: Dosificación _____ de Tambor _____ Permanente _____ Portátil _____
 Marca _____ Modelo o No. de Serie _____
 Condición General _____

Acopios	No.	Tamaño de Agr.	Tipo de Alimentador	Comentarios

Fuente Del Agregado _____
 Particiones o Muros de los Acopios: Adecuados _____ Inadecuados _____
 Método para Manejar Acopios hasta los _____
 Alimentadores: Almeja _____ Cargador _____ Otro _____
 Si otro, explique _____
 Comentarios (acopios) _____

Secador: Marca _____ No. Modelo _____ Tamaño: Dia _____
 Combustible _____ Tipo de Quemador _____ Capacidad Nominal _____
 Comentarios _____

Dispositivo indicador de Calo: _____
 Marca _____ Limite _____ Graduado hasta _____ grados
 Es ajustable? _____ Tiempo requerido para un cambio de 10° _____
 Localización del tubo _____
 Comentarios _____

Colector de Polvo: _____
 Marca _____ Tipo _____
 Control de retorno _____
 Comentarios _____

Tolva#	Abertura de Criba	Area de Criba	Tamaño Promedio de Agregado.	Condición de los tubos de reboso	Comentarios

Sobrante - Tolva No. 2 _____ No. 3 _____ No. 4 _____
 Comentarios _____

Balanzas Agregado	Marca	Tipo	Capacidad	Graduaciones	Fecha de Sello
Asfalto					
Plataforma					

Página 1

FIGURA 4.26 - Reporte Preliminar de Inspección.

1 Tolva de Prueba _____
 Comentarios _____

1 Amasadero: Marca _____ Capacidad _____ R.P.M. _____
 Condición del amasadero y las paletas _____

1 Dispositivo de Regulación del Amasadero: _____
 Marca _____ Precisión _____
 Tipo de señal _____ Enclavamiento? Si _____ No _____
 Comentarios _____

Termómetro de la línea de asfalto: _____
 Marca _____ Límites _____ Graduaciones _____
 Localización _____

Tanques de asfalto: No. y capacidades _____
 Extremo de la tubería circulante debajo de la superficie del asfalto? Si _____ No _____
 Método de calentamiento _____
 Tanques calibrados? Si _____ No _____ Interrupción automática de la planta _____
 Comentarios _____

1 Sistema de señal de la tolva de almacenamiento:
 Tipo _____ Interrupción Automática? Si _____ No _____
 Comentarios _____

1 Medidor de Fluido para Asfalto:
 Marca _____
 Líneas de asfalto y bomba de vapor? Si _____ No _____
 Comentarios _____

1 Alimentadores automáticos de agregados:
 Mecánico _____ Eléctrico _____ Enclavamiento con la bomba de asfalto? Si _____ No _____
 Contador de revoluciones _____ Lectura _____ Revolución _____
 Comentarios _____

Facilidades de Muestreo: De las tolvas de almacenamiento _____
 Tipo de Dispositivo de Muestreo _____
 De los tanques de asfalto _____
 2 De los alimentadores automáticos _____

Información adicional y comentarios _____

Inspeccionado por _____ Aprobado por _____
 Técnico de Planta Ingeniero Residente

1 Se aplica solo a plantas de dosificación
 2 Se aplica solo a plantas mezcladoras de tambor

Página 2

FIGURA 4.26 - Reporte Preliminar de Inspección.

LISTA DE REVISIÓN PARA MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE MATERIAL

1. Los agregados cumplen con las especificaciones?
2. Se están produciendo los tamaños correctos?
3. El almacenamiento de agregado es adecuado?
4. Se están separando correctamente los acopios?
5. Los acopios están contruidos correctamente?
6. Se esta manejando correctamente el agregado de los acopios?
7. Se esta controlando la segregación?
8. El relleno mineral esta en una condición seca?

LISTA DE REVISIÓN PARA LA ALIMENTACIÓN EN FRÍO

1. La disposición del sistema de alimentación en frío cumple con las especificaciones?
2. Las tolvas de la alimentación en frío contienen el tamaño correcto de agregados?
3. Se están cargando correctamente las tolvas de la alimentación en frío?
4. Los alimentadores en frío de agregado están trabajando correctamente?
5. Los alimentadores en frío de agregado están calibrados?
6. Las compuertas de los alimentadores en frío están correctamente ajustadas?
7. Todos los agregados en frío están siendo alimentados continuamente?

LISTA DE REVISIÓN PARA CALENTAMIENTO DE ASFALTO, CIRCULACIÓN Y TEMPERATURA DE MEZCLA

1. El asfalto esta siendo calentado uniformemente a la temperatura especificada?
2. Se han revisado todas las líneas para verificar si existen escapes?
3. Se esta manteniendo la temperatura especificada para la mezcla y sus componentes?

LISTA DE REVISIÓN PARA LA PLANTA MEZCLADORA DE TAMBOR

1. Los alimentadores de agregado están calibrados?
2. El alimentador de asfalto esta calibrado?
3. Los alimentadores de agregado y asfalto están unidos?
4. Todas las partes de la planta están en buena condición y bien ajustadas?
5. El asfalto se encuentra a la temperatura correcta cuando es introducido al tambor?

LISTA DE REVISIÓN PARA LA PLANTA DOSIFICADORA

1. Las básculas cumplen con las especificaciones?
2. Las básculas han sido calibradas?
3. Las básculas han sido revisadas para verificar sus tolerancias?
4. La cubeta de asfalto tara correctamente?
5. La caja pesadora cuelga libremente?

6. Las partes del mezclador están en buena condición y con buen ajuste?
7. Se esta mezclando el tamaño correcta de carga?
8. Se esta usando la secuencia correcta de descarga de las tolvas?
9. La distribución de asfalto es uniforme a lo largo del amasadero?
10. Los agregados y el asfalto están a la temperatura correcta cuando se introducen en los recipientes de pesaje?
11. Hay válvulas o compuertas que presentan escapes?

FIGURA 4.27 - Listas de Revisión para Plantas.

12. El tiempo de mezclado es adecuado?
13. Los puntos de las básculas están correctamente ajustados para los pesos de cargas?
14. Los ejes del mezclador están girando a la velocidad correcta?
15. La capacidad de las cribas es suficiente para manejar la máxima alimentación proveniente del secador?
16. Las cribas están limpias?
17. Las cribas están gastadas o rotas?
18. La sobrecarga es irregular o excesiva?
19. Las particiones de las tolvas calientes están lo suficiente fuertes?
20. Los escapes de sobrecarga tienen un flujo libre?
21. El equilibrio de las tolvas se mantiene?
22. El acceso al muestreo es adecuado?

LISTA DE REVISIÓN PARA EL SECADOR Y EL COLECTOR DE POLVO

1. El secador y el colector de polvo cumplen con las especificaciones?
2. El agregado es secado correctamente?
3. Los agregados están a la temperatura correcta?
4. Los componentes del secador están equilibrados?
5. El secador esta equilibrado con los otros componentes de la planta?
6. El dispositivo indicador de calor esta correctamente instalado?
7. El dispositivo indicador de calor ha sido revisado para determinar su precisión?
8. El colector de polvo esta equilibrado con el secador?
9. Los finos recogidos por el colector son desechados o son uniformemente alimentados de nuevo en las cantidades correctas?

LISTA DE REVISIÓN PARA MUESTREO Y ENSAYOS

1. Se están tomando muestras suficientes?
2. Las muestras son representativas?
3. Todos los ensayos se están ejecutando correctamente?
4. Todos los resultados de los ensayos están disponibles a tiempo para ser utilizados?

LISTA DE REVISIÓN PARA REGISTROS

Los registros están completos y al día?

LISTA DE REVISIÓN PARA RESPONSABILIDADES MISCELÁNEAS

1. Las cajas de los camiones han sido inspeccionadas?
2. Las cajas de los camiones han sido drenadas después de haber sido rociadas?
3. Los camiones cumplen con los requisitos de las especificaciones?
4. Los camiones están equipados con lonas impermeables?
5. La mezcla tiene una apariencia uniforme?
6. La apariencia general de la mezcla es satisfactoria?
7. La temperatura de la mezcla es uniforme y satisfactoria?
8. La mezcla cumple con los requisitos de colocación?
9. Sus asistentes han sido correctamente instruidos?
10. Se están observando todas las medidas de seguridad?

ASPHALT PLANT INSPECTOR'S DAILY REPORT

PROJECT: 1-708-A1 (1) & (2) COUNTY: Wash. STATE: DATE: 6/20/74
 MATERIAL: Mixed by: Stone Co. AT: REPORT NO.: 18
 CONIGNED TO: Stone Co. AT: Job no.:
 TYPE OF PLANT: Kelsie-Bath MIX TIME PER BATCH: 40 SECONDS

ASPHALT	KIND	SOURCE	CAR OR TRUCK NO.		DATE RECEIVED				AMOUNT				
	AC-20	Refinery	truck #23	Karr Co.	8/30	9/30	10/30	11/30	12/30	1/30	2/30	3/30	4/30
	AC-20	-	truck #31	Karr	8/30								
AGGREGATE	KIND	SOURCE	3/4"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	3/16"	3/32"	#100	#200	#300
COARSE	C. stone	Saylor Co.	100	71 0	36 4	10 9	8 3	1 1	0 4	0 0	0 0	0 0	0 1
INTER-MEDIATE	C. stone	Saylor Co.				100	84 8	68 6	31 9	19 7	12 8	9 0	6 0
FINE	Sand	Janus pit				100	89 8	91 9	87 0	87 7	88 9	18 9	9 1
FILLER	limestone	Kills Hour Co.								100	88 9	88 7	71 9
COMBINED GRADATION	CRASH 50%	INTER-MEDIATE 45%				100	91 8	81 8	82 4	83 1	80 8	84 4	89 7
JOB-MIX FORMULA	FILLER 4%					100	80 0	79 0	70 0	88 6	18 6	23 6	24 6

ANALYSIS OF HOT BIN AGGREGATES

BIN NO.	3/4"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	3/16"	3/32"	#100	#200	#300	ASPL.	
1							100	88 8	78 1	69 0	41 8	19 7	3 8
2					100	88 8	81 0	6 7	4 8	1 0	0 0	0 3	0 3
3	100	88 4	89 8	11 7	4 8	3 0	1 8	0 4	0 3	0 3	0 3	0 9	
4	100	30 0	8 6	9 4	1 1	0 6	0 4	0 0	0 2	0 1	0 1	0 1	

BATCH WEIGHTS, LBS., OR LBS. PER REVOLUTION

MIX TYPE	BIN 1	BIN 2	BIN 3	BIN 4	FILLER	ASPHALT	TOTAL
% of Total Mix	34 0	68 8	18 9	11 9	3 6	5 8	100 0
surface	1380	1080	785	466	180	280	3500

ANALYSIS OF MIX

SAMPLE	HOUR	TEMP °F	3/4"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	3/16"	3/32"	#100	#200	ASPL.
41	10 10	288	100	88 0	87 0	82 0	82 8	40 8	24 1	19 2	11 8	4 0	6 8
42	2 30	279	100	91 1	80 4	68 9	64 3	41 9	24 0	20 7	12 0	10 0	3 6
43	6 30	280	100	91 7	81 6	80 0	64 8	41 5	24 8	20 0	13 9	10 4	4 6
Average for day -		281	100	91 6	81 0	68 0	64 3	41 1	24 1	20 0	12 6	10 4	4 4
JOB MIX FORMULA			100	80 0	78 0	70 0	88 6	18 6	23 6	24 6	18 0	11 0	4 0

TEMPERATURE OF MIX, °F

TIME	8 15 a.m.	9 30	10 10	11 30	12 45 p.m.	1 40	2 30	3 38	4 30	6 30	8 10
°F	88 4	680	288	281	279	277	280	281	280	278	

CHARACTERISTICS OF MIX

SAMPLE LOCATION	TIME OR LOAD NO.	THERETICAL DENSITY	SPECIMEN DENSITY	% THED. DENSITY	STABILITY	FLOW 01 INCH	COHESSIONETER VALUE
from truck	9 30 a.m.	3 649	3 647	98 0	1876	10	
from truck	3 35 p.m.	3 649	3 648	98 7	1880	11	

WEATHER: A.M. cloudy overcast. P.M. clear & hot. TEMPERATURE: A.M. 81 °F. P.M. 84 °F.

PLANT OPERATED: FROM 8:30/18:00 TO 11:00/8:16

PRODUCTION: TONS PREVIOUS 22,199 TONS TODAY 1,008 TONS TOTAL 23,207

TYPE OF MIX: sample #1-3-4 & 6 surface

SAMPLE NO. 39 REPRESENTS 688 TONS OF surface FOR DATES 6/19/74
 SAMPLE NO. 41 REPRESENTS 1008 TONS OF surface FOR DATES 6/20/74

REMARKS: Samples 39 & 44 used to control lab.

SIGNED: PLANT INSPECTOR, RESIDENT ENGINEER, ETC.

(Note—This report is intended as a guide. When more materials are being used, or more than one mix type is being produced, additional spaces may be necessary.)

FIGURA 4.28 - Formulario para Reportes Diarios (Ejemplo).

SEGURIDAD

El inspector de la planta de asfalto debe estar siempre consciente de la seguridad, y debe estar alerta sobre cualquier peligro potencial para el personal o para la planta misma. Las consideraciones de seguridad deben ser siempre recalculadas.

El polvo es particularmente peligroso. No es tan solo una amenaza para los pulmones y los ojos, sino que puede contribuir a una mala visibilidad, especialmente cuando los camiones, los cargadores de tractor, o cualquier otra maquinaria esta operando alrededor de los apilamientos (acopios) o tolvas en frío. La visibilidad reducida en el área de trabajo es una gran causa de accidentes.

El ruido puede ser también de doble peligro. El ruido es dañino para el oído y puede distraer la atención de los trabajadores, ocasionando que pierdan la concentración en la maquinaria que están operando.

Las bandas que operan transportando agregado requieren de constante atención, así como las correas de los motores y las cadenas y ruedas de las transmisiones. Todas las poleas y correas, y los mecanismos de transmisión, deberán estar cubiertos, o protegidos. Nunca se deberá usar ropa suelta en una planta de asfalto, pues esta puede ser atrapada en el equipo.

Un buen cuidado de la planta es esencial para la seguridad de la misma. La planta y el patio deberán mantenerse libres de alambres o líneas sueltas, tubos, mangueras, o cualquier otro obstáculo libre. Las líneas de alto voltaje, las conexiones de campo, y las superficies mojadas del suelo constituyen otros peligros que el inspector debe tener en cuenta. Cualquier conexión suelta, alambres deshilachados, o equipo que no este propiamente conectado a tierra, deberá reportarse inmediatamente.

Los trabajadores de la planta no deberán trabajar en los acopios mientras la planta este operando. Nadie deberá caminar o pararse sobre los acopios, o sobre los arcones que están encima de las aberturas de las compuertas de alimentación. Muchas personas, sin tener advertencia alguna, han sido atrapadas y sepultadas vivas dentro del material.

Las llamas de los quemadores y las altas temperaturas alrededor de los secadores de la planta constituyen peligros obvios. En todas las líneas de combustible se deberán instalar válvulas de control que puedan ser operadas desde distancias seguras. También se deberán instalar dispositivos de seguridad para llamas en todas las líneas de combustible. No deberá permitirse ninguna humareda cerca de los tanques de almacenamiento de asfalto o de combustible. Revise frecuentemente las líneas de aceite de calentamiento y las líneas de vapor para ver si hay fugas, y las líneas de distribución de asfalto para ver si hay perforaciones. Asegurese de que haya válvulas de seguridad instaladas en todas las líneas de vapor, y que estén trabajando correctamente. Use pantallas, barreras de resguardo, y escudos como protección contra el vapor, el asfalto caliente, las superficies calientes, y otros peligros similares.

Cuando este manejando asfalto caliente, use gafas protectoras químicas y una careta. Los cuellos de las camisas deberán cerrarse completamente y los puños de las mangas deberán abrocharse. Los guantes con mangas que se extienden arriba del brazo deberán usarse un poco sueltos para que se puedan quitar rápidamente en el caso de que lleguen a cubrirse de asfalto. Los pantalones sin doblez deberán extenderse por encima de la parte alta de las botas.

El inspector deberá ejercitar extremo cuidado cuando este subiendo alrededor de la plataforma de la criba, cuando este inspeccionando las cribas y las tolvas calientes, o cuando este tomando muestras calientes de la tolva. Deberá exigir que haya

escaleras comunes, o de mano, cubiertas o protegidas, para que provean un acceso seguro a todas las partes de la planta. Todas las escaleras y plataformas deberán tener barandas seguras. El inspector (y todos los trabajadores alrededor de la planta) deberá siempre usar un casco duro.

Los patrones del tránsito de camiones deberán planearse teniendo en cuenta la seguridad y la conveniencia. Los camiones que entren a la planta a recoger una carga de mezcla en caliente no deberán cruzar el camino de los camiones cargados que salen de la planta. Además, los camiones no deberán dar contramarcha.

RESUMEN

En esta sección se han introducido los conceptos básicos, y la maquinaria fundamental, necesarios en el proporcionamiento y mezclado de asfalto y agregado en la planta mezcladora. También se han identificado dos tipos principales de plantas - de dosificación y mezcladora de tambor - y se han discutido las similitudes entre ellas. A la vez, se han descrito los procedimientos generales para manejo y almacenamiento, junto con los de muestreo, pruebas, y seguridad. Las secciones siguientes describen, en detalle, las operaciones específicas que conciernen a cada planta (de dosificación y mezcladora de tambor).

OPERACIONES DE LA PLANTA DOSIFICADORA

El propósito de esta sección es describir las funciones específicas de una planta de dosificación. A su vez, la sección desarrollará en el inspector las habilidades necesarias para que pueda distinguir la manera correcta en que la planta debe trabajar con el fin de producir una mezcla que cumpla con las especificaciones de la obra. Específicamente, al completar el estudio de esta sección, el inspector deberá:

- Conocer los componentes principales de una planta de dosificación.
- Entender el propósito y la función de cada componente.
- Reconocer los problemas potenciales que pueden ocurrir durante la operación de la planta y describir las medidas apropiadas para prevenir dichos problemas.
- Entender las responsabilidades específicas de un inspector de planta.

Adicionalmente, el inspector deberá haber hecho un completo análisis de los peligros potenciales en la planta y de la necesidad de estar constantemente alerta sobre prácticas inseguras.

INTRODUCCIÓN

Las plantas de dosificación obtienen su nombre del hecho de que, durante la operación, producen la mezcla caliente en cargas, produciendo una carga tras otra. El tamaño de la carga varía de acuerdo a la capacidad del amasadero de la planta (la cámara mezcladora donde se combinan el asfalto y el agregado). Una carga típica pesa como 2,722 kg. (6,000 lb.).

Las plantas de dosificación se distinguen de las plantas mezcladoras de tambor, en que no producen la mezcla en caliente en un flujo continuo.

HISTORIA DE LAS PLANTAS DE DOSIFICACIÓN

Las operaciones fundamentales de una planta de asfalto - secado, cribado, proporcionamiento, y mezclado - fueron combinadas por primera vez, en una planta de asfalto, alrededor de 1870. Las primeras plantas, aunque simples comparadas con las de hoy día, formaron la base para la producción de mezcla en caliente durante el siglo diecinueve.

Hacia los años 1900, las plantas habían mejorado su diseño, e incluían tolvas de agregado, elevadores de material en frío, secadores rotatorios, elevadores de material en caliente, tanques de asfalto, y plataformas de mezclado. Las plataformas de mezclado incluían un cajón para medir agregado, una cubeta para asfalto, y un amasadero montado lo suficiente alto para permitir el paso, por debajo, de vagones tirados por caballos.

Alrededor de 1930, las plantas estaban produciendo de 800 a 1,000 toneladas de mezcla por día (8 horas en un día). En los años treinta y cuarenta la introducción de bandas transportadoras, y el desarrollo de mejores compuertas y alimentadores, resultó en mejores sistemas de alimentación en frío. El uso de secadores más grandes se hizo más común. Los colectores centrifugos de polvo, las básculas sin resortes, los primeros sistemas electrónicos automáticos de pesaje, las cerraduras de tiempo en los ciclos de mezclado, y los pirometros de registro, aparecieron en estos años.

En los cincuenta la tendencia consistió en desarrollar plantas más grandes y de mayor capacidad. Sin embargo, los controles automáticos para los quemadores, y la automatización de las funciones de proporcionamiento y ciclado, también entraron en uso a principios de esta época.

En los sesenta hubo una proliferación de sistemas automáticos de control, con total automatización de los procesos de proporcionamiento y mezclado, así como de sistemas de control para los quemadores.

Los dos avances más importantes de los setenta fueron el surgimiento de los sistemas computarizados de control de plantas y los adelantos en el control de mido y polvo; estos últimos provenientes de la promulgación gubernamental de regulaciones de salud y seguridad.

A pesar de todos los cambios y avances incorporados en la planta de dosificación a través de los años, el proceso fundamental - secado, cribado, proporcionamiento y mezclado - sigue siendo el mismo. En las plantas de dosificación de hoy día (Figura 4.29), el diseño básico del equipo que efectúa las operaciones sigue siendo esencialmente el mismo.

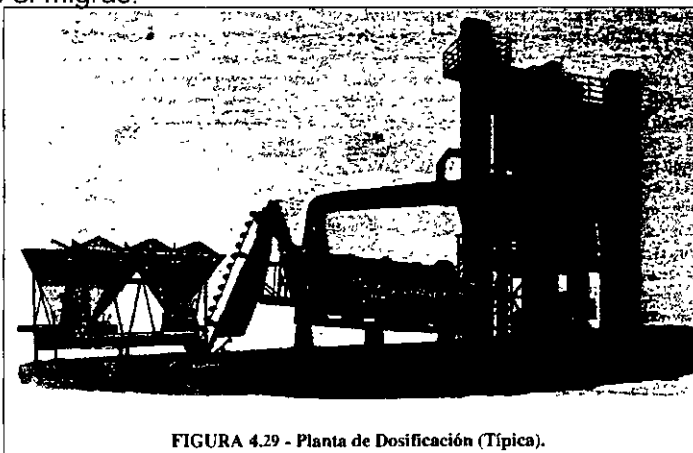


FIGURA 4.29 - Planta de Dosificación (Típica).

OPERACIONES Y COMPONENTES DE LA PLANTA DE DOSIFICACIÓN

En una planta asfáltica de dosificación, los agregados son combinados, calentados y secados, proporcionados, y mezclados con el cemento asfáltico para producir una mezcla asfáltica en caliente. Una planta puede ser pequeña o grande, dependiendo del tipo y la cantidad de mezcla asfáltica que se este produciendo. También puede ser estacionaria o portátil.

Ciertas operaciones básicas son comunes en todas las plantas de dosificación:

- Almacenamiento y alimentación en frío del agregado.
- Secado y calentamiento del agregado.
- Cribado y almacenamiento del agregado caliente.
- Almacenamiento y calentamiento de asfalto.
- Medición y mezclado de asfalto y agregado.
- Carga de la mezcla final en caliente.

La Figura 4.30 ilustra la secuencia de estas operaciones.

Los agregados son removidos, en cantidades controladas, del lugar de almacenaje o de los acopios, y luego pasados por un secador en donde son secados y calentados. Después, los agregados pasan por una unidad de cribado, la cual separa el material en fracciones de diferente tamaño, y lo deposita en tolvas para su almacenaje en caliente. Luego, los agregados y el relleno mineral (cuando este es usado) son pesados, en cantidades controladas, combinados con el asfalto, y mezclados en su totalidad para formar una carga. La mezcla es luego cargada en los camiones y transportada al lugar de pavimentación.

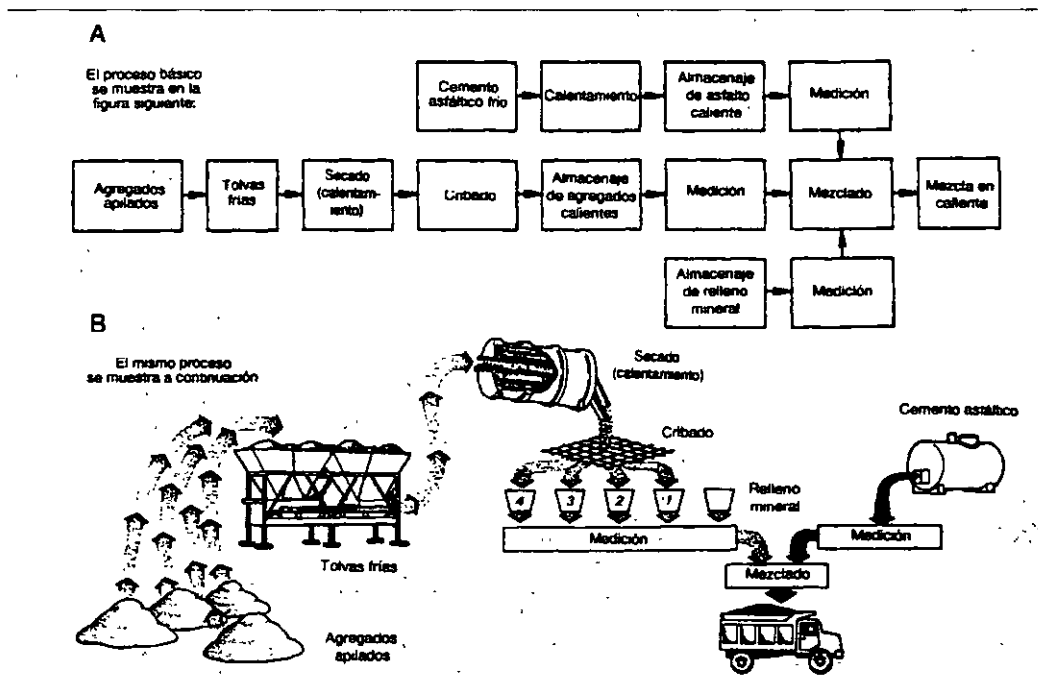
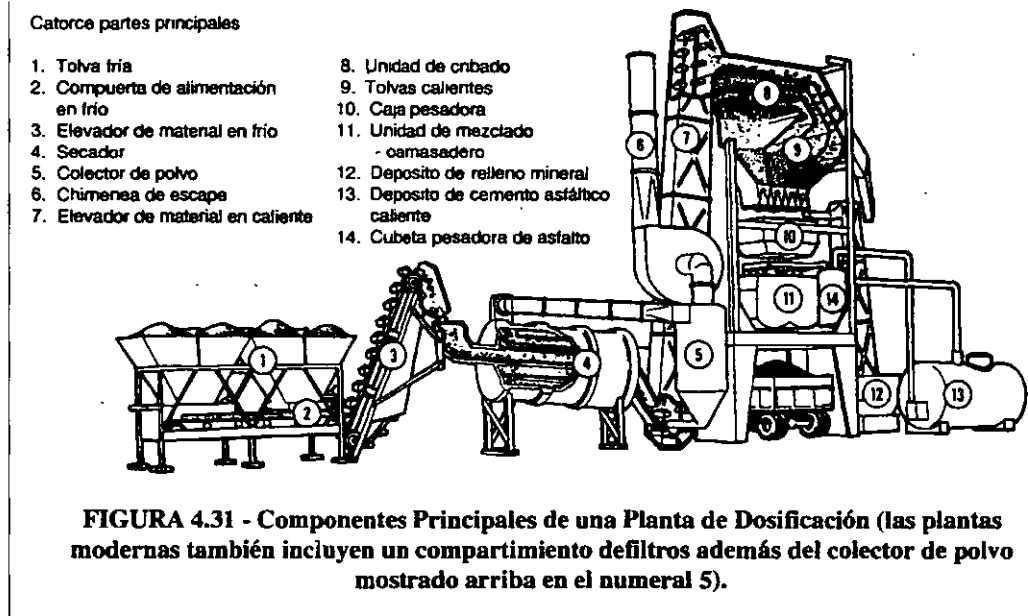


FIGURA 4.30 - Operaciones Básicas de una Planta de Dosificación en (A) Diagrama de Flujo y (B) Presentación Esquemática.

La Figura 4.31 ilustra los componentes principales de una planta asfáltica típica de dosificación. Cada componente o grupo de componentes está descrito en detalle en las secciones siguientes; sin embargo, una visión global de los procesos involucrados en las operaciones de la planta ayudará al inspector a entender las funciones y relaciones de las partes.



Los agregados fríos (sin calentar) almacenados en las tolvas frías (1) son proporcionados mediante compuertas de alimentación en frío (2) hacia una banda transportadora, o un elevador de cubetas (3), el cual descarga los agregados en el secador (4), en donde son secados y calentados. Los colectores de polvo (5) remueven cantidades indeseables de polvo del escape del secador. Los gases restantes del escape son eliminados a través de la chimenea de escape de la planta (6). Los agregados ya secos y calientes son luego llevados por un elevador de material en caliente (7) hacia la unidad de cribado (8), la cual separa el material en fracciones de diferente tamaño y lo deposita en tolvas calientes separadas (9) para un almacenamiento temporal. Cuando es necesario, los agregados calientes son medidos en cantidades controladas sobre la caja pesadora (10). Luego, los agregados son descargados dentro de la cámara mezcladora o amasadero (11), junto con la cantidad correcta de relleno mineral proveniente de la reserva (12), si es que este último es necesitado. El cemento asfáltico caliente, proveniente del tanque de almacenamiento de cemento asfáltico caliente (13), es bombeado hacia la cubeta pesadora de asfalto (14), la cual pesa el cemento asfáltico antes de ser descargado en la cámara mezcladora o amasadero, en donde es combinado en su totalidad con los agregados y el relleno mineral, si es que este es usado. La mezcla asfáltica en caliente proveniente de la cámara de mezclado es luego descargada en el camión, o almacenada.

ALIMENTACIÓN EN FRÍO DE AGREGADO

El manejo, almacenamiento, y alimentación en frío de agregados, en la planta de dosificación, es parecido al efectuado en los otros tipos de planta. Gran parte de la información común relacionada con esta área está incluida en la Sección 4.6. La información específica concerniente a plantas de dosificación está incluida bajo los tres artículos discutidos a continuación. Estos son: (1) alimentación uniforme en frío, (2) proporcionamiento de agregados fríos, e (3) inspección de la alimentación en frío.

ALIMENTACIÓN UNIFORME EN FRÍO

Los agregados finos y gruesos de diferente tamaño son colocados en tolvas frías separadas (Figura 4.32). Las tolvas deberán mantenerse lo suficiente llenas, en todo momento, para asegurar que siempre haya una cantidad suficiente de material tal que se garantice un flujo uniforme a través del alimentador. La alimentación uniforme en frío es necesaria por varias razones. Entre estas están:

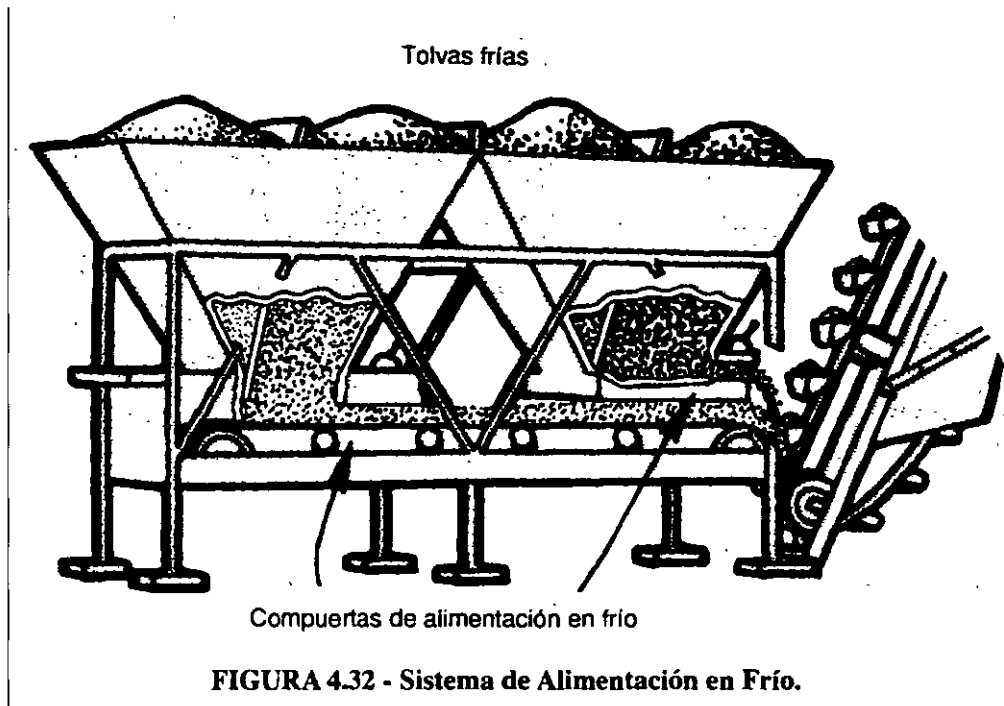
- La alimentación errática de material proveniente de las tolvas frías puede causar que algunas de las tolvas calientes se llenen demasiado mientras otras trabajen con muy poco material.
- Las variaciones grandes en la cantidad de un determinado agregado (particularmente de agregado fino), en la alimentación en frío, pueden causar un cambio considerable en la temperatura de los agregados que salen del secador.
- Una alimentación en frío excesiva puede sobrecargar el secador o las cribas.

Todos estos problemas contribuyen a la producción de una mezcla no-uniforme, la cual a su vez será causa de problemas en la carretera. El control de la alimentación en frío es, entonces, la clave de todas las operaciones posteriores.

PROPORCIONAMIENTO DE AGREGADOS FRÍOS

El proporcionamiento exacto de agregados fríos es importante porque, excepto por la pequeña cantidad de degradación que puede ocurrir durante el secado y el cribado, la granulometría de agregado en las tolvas calientes depende de la alimentación en frío. Para garantizar que las tolvas calientes permanezcan en equilibrio, (contengan las proporciones correctas de los diferentes agregados de tamaño variable para producir la granulometría de mezcla deseada), las proporciones de agregado que salen de las tolvas frías deben ser cuidadosamente monitoreadas y controladas.

Si el análisis granulométrico del material de la alimentación en frío exhibe cualquier diferencia grande con respecto a los requerimientos de la fórmula de obra, entonces, para corregir la gradación, se deben ajustar las cantidades que están siendo alimentadas por las diferentes tolvas frías. Esto no requiere volver a calibrar las aberturas de las compuertas sino simplemente ajustar las aberturas de acuerdo a los gráficos de calibración.



INSPECCIÓN DE LA ALIMENTACIÓN EN FRÍO

El inspector deberá observar los procedimientos de calibración de compuertas. Durante la producción, el inspector deberá revisar periódicamente los indicadores de apertura de compuerta, para estar seguro que las aberturas permanezcan correctamente ajustadas.

El inspector deberá observar frecuentemente el sistema de alimentación para poder detectar cualquier variación en la cantidad de agregados que están siendo alimentados. Una alimentación lenta puede ser causada por raíces o floculos de tierra que están obstruyendo las compuertas, impidiendo que el material salga libremente a través de la abertura de la compuerta. Una alimentación lenta también puede ser el resultado de humedad excesiva en el agregado u otro factor que impida el flujo uniforme de material hacia el secador. Si hay una o mas compuertas causando problemas, el inspector deberá informar al contratista.

SECADO Y CALENTAMIENTO DEL AGREGADO

Después de salir de las tolvas frías, los agregados son descargados en el secador. El secador realiza dos funciones: (1) remueve la humedad de los agregados y (2) eleva la temperatura del agregado al nivel deseado.

De importancia para el inspector son: (1) la operación básica de secado, (2) el control de temperatura, (3) la calibración de los indicadores de temperatura, y (4) las revisiones de humedad. Cada una es discutida a continuación bajo un encabezado diferente.

OPERACIÓN DE SECADO

El secador convencional de la planta de dosificación es un cilindro rotatorio que tiene un diámetro entre 1.5 y 3 metros (5 a 10 pies), y una longitud entre 6 y 12 metros (20 a 40 pies). El secador incluye un quemador de aceite o gas con un ventilador que proporciona el aire principal de combustión, y un ventilador reductor para crear tiraje a través del secador (Figura 4.33). El tambor también está equipado con canales longitudinales, llamados espas, que levantan el agregado y lo dejan caer a través de la llama del quemador y los gases calientes (Figura 4.34). La inclinación del secador, su velocidad de rotación, diámetro, longitud y la configuración y el número de espas determinan la cantidad de tiempo que el agregado irá a permanecer en el secador.

Para una operación eficiente de secado, el aire necesario para la combustión debe estar en equilibrio con la cantidad de combustible que está siendo suministrada al quemador. El ventilador reductor crea el tiraje de aire que transporta el calor a través del secador y remueve la humedad. Una falta de balance entre estos tres elementos puede causar problemas graves. Por ejemplo, respecto al aceite combustible, una deficiencia de aire o un exceso de flujo de aceite puede resultar en una combustión incompleta del combustible. Este aceite sin quemar deja un revestimiento aceitoso sobre las partículas de agregado, el cual puede afectar desfavorablemente la mezcla final.

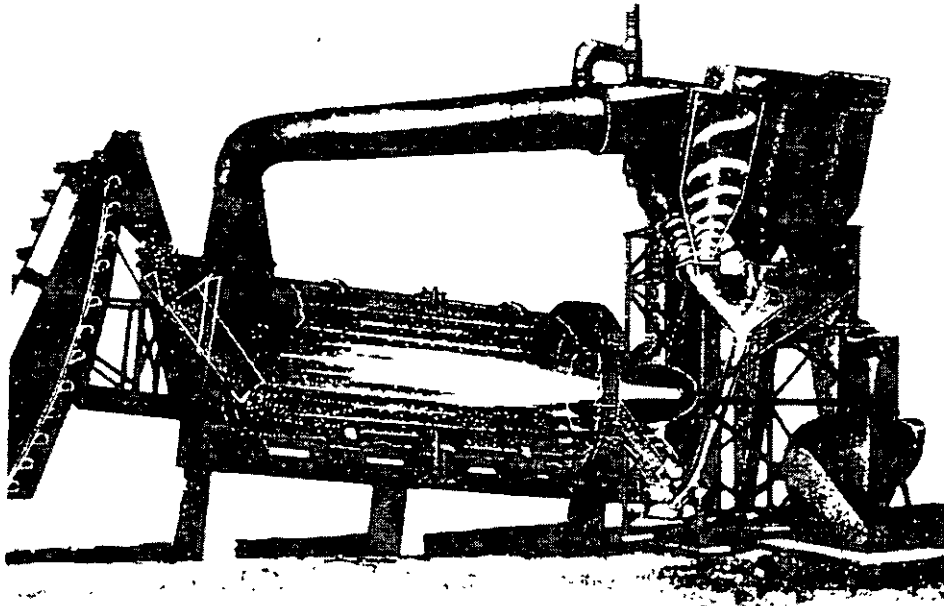


FIGURA 4.33 - Secador Típico.

Una manera rápida de revisar si puede haber revestimiento del agregado, es la de colocar, dentro de un balde con agua, una palada del agregado que está siendo descargado por el secador. Cualquier capa aceitosa flota hacia la superficie. Una película delgada de aceite no es de importancia; sin embargo, una película pesada sobre la superficie del agua requiere atención inmediata.

Una falta de equilibrio entre el aire de tiraje y las velocidades del ventilador puede causar una contrapresión dentro del tambor. Esto crea un "resoplido-reverso" de

descarga en el extremo del tambor donde esta el quemador, indicando que la velocidad del aire de tiraje es insuficiente para acomodar la presión de aire creada por el ventilador del quemador. En este caso, se debe reducir la resistencia al aire de tiraje o la presión de aire del ventilador.

Generalmente, los secadores están diseñados para tener máxima eficiencia cuando el agregado que están calentando y secando tiene un contenido dado (típicamente 5 por ciento) de humedad. Si el contenido de humedad del agregado es mas alto que el contenido para el cual el secador fue diseñado, se debe reducir la cantidad de agregados que están siendo alimentados al secador. Esta reducción conuera a una disminución en la capacidad horaria del secador.

Los secadores con quemadores de gas natural o petróleo líquido raramente presentan problemas de combustión. Sin embargo, todavía pueden ocurrir las faltas de equilibrio en la presión de gas, de aire de combustión y de tiraje.

El secado es la operación más costosa en la producción de la mezcla, debido al consumo de combustible. Es también uno de los cuellos de botella más comunes en la operación de la planta. La tasa de producción de toda la planta depende de la eficiencia del secador. El concreto asfáltico no puede ser producido más rápido de lo que el agregado puede ser secado y calentado.

CONTROL DE TEMPERATURA

Es esencial una temperatura correcta del agregado. La temperatura del agregado, y no del asfalto, controla la temperatura de la mezcla. La capa de asfalto puesta sobre cada partícula de agregado, durante el mezclado, adquiere la temperatura de ese agregado casi instantáneamente. Los agregados que son calentados excesivamente pueden endurecer el asfalto durante el mezclado. Los agregados que no son calentados lo suficiente son difíciles de revestir en su totalidad con asfalto, y la mezcla resultante es difícil de colocar en el proceso de pavimentación.

Un dispositivo para medir temperatura, llamado pirometro, es usado para monitorear la temperatura del agregado a medida que el material sale del secador. Existen dos tipos de pirometros: (1) pirometro indicador y (2) pirometro de registro (Figura 4.35). La cabeza registradora del pirometro de registro esta localizada, generalmente, en el cuarto de control de la planta. El pirometro indicador puede estar localizado en el conducto o canal de descarga del secador (Figura 4.36).

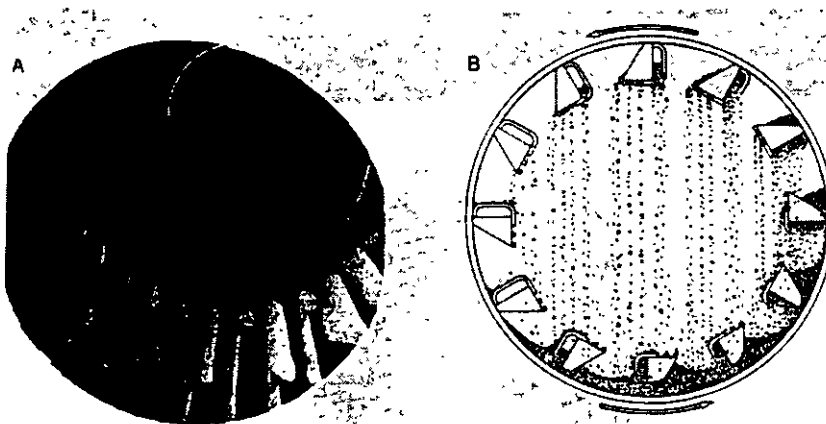


FIGURA 4.34 - Aspas: (A) Diseño Típico y (B) Funcionamiento.

Un dispositivo bueno para medir temperatura ayuda al inspector de la planta a proveer:

- Registros exactos de temperatura, y
- Cualquier indicación de fluctuaciones de temperatura que sugieran una falta de control y uniformidad en las operaciones de secado y calentamiento.

CALIBRACIÓN

Ambos tipos de dispositivos eléctricos para medir temperatura (pirómetros) (Figura 4.35) son similares en su operación. En ambos tipos, el elemento sensor, el cual consiste en una termocupla encerrada, se proyecta hacia la corriente principal de agregado dentro del conducto de descarga del secador.

Los pirómetros son instrumentos sensibles que miden la pequeña corriente inducida por el calor del agregado que esta pasando sobre el elemento sensor. La cabeza (elemento indicador) del dispositivo debe estar completamente protegida del calor y de las vibraciones de la planta.

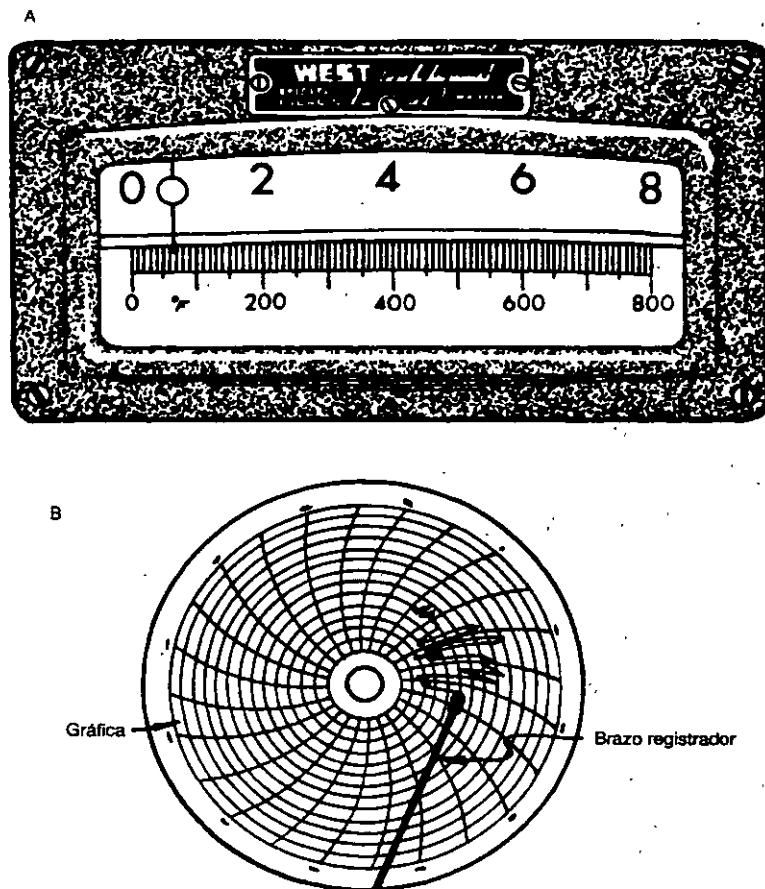


FIGURA 4.35 - Tipos de Pirómetros: (A) Pirómetro Indicador, y (B) Pirómetro de Registro.

Usualmente está localizada lejos del secador y esta conectada a sus elementos sensores por medio de alambres. Cualquier cambio en la longitud de los alambres, tamaño, empalmes o uniones, afecta la calibración del dispositivo, haciendo que este deba ser calibrado de nuevo.

La diferencia principal entre los pirometros indicadores y los de registro es que los indicadores suministran una lectura de cuadrante o digital, mientras que los de registro anotan las temperaturas del agregado sobre un papel en forma gráfica, proporcionando así un registro permanente.

La mejor manera de revisar la precisión de un pirometro es la de introducir el elemento sensor en un baño de aceite o asfalto caliente, al lado de un termómetro calibrado. Teniendo cuidado con el punto de inflamación del baño empleado, se procede muy despacio a calentar el baño por encima de la temperatura esperada en el agregado seco, y luego se comparan las lecturas de los dos instrumentos.

Otra manera de revisar el dispositivo consiste en tomar varias paladas de agregado caliente del conducto de descarga del secador. Estas se vacían sobre el suelo, en forma de pila. La pila mantiene caliente la última palada de agregado mientras se toma la temperatura. La medida del pirometro puede ser comparada con la medida obtenida mediante la inserción total del vástago de un termómetro en el agregado de la pala. Varias lecturas del termómetro serán necesarias para obtener datos precisos de temperatura.

REVISIÓN DE HUMEDAD

Las revisiones rápidas de humedad, en el agregado caliente, se pueden efectuar al mismo tiempo que se están haciendo las revisiones de temperatura del pirometro indicador. Estas revisiones rápidas de humedad son útiles para determinar si es o no necesario efectuar pruebas más precisas de humedad en el laboratorio.

Para hacer una revisión rápida de humedad, se debe construir una pila de agregado caliente proveniente de la descarga del secador. Luego, el inspector deberá estudiar la pila de agregado de acuerdo a lo siguiente:

(1) Observe el agregado para ver si hay vapores que escapan o manchas húmedas. Estos son signos de un secado incompleto o de un agregado poroso que esta librando humedad interna que puede ser dañina. Este tipo de revisión visual se vuelve más preciso a medida que el inspector se familiariza con el agregado que esta siendo usado.

(2) Tome una espátula seca, brillante, y limpia como un espejo, o cualquier otro artículo reflector que se encuentre a una temperatura ambiente normal o mas fría, y pásela despacio sobre el agregado a una altura constante. Observe la cantidad de humedad que se condensa sobre la superficie de reflexión. Con práctica, el inspector podrá ser capaz de detectar excesos de humedad.

CRIBADO Y ALMACENAMIENTO DEL AGREGADO CALIENTE

Después de que los agregados han sido calentados y secados, estos son transportados por un elevador de material en caliente (un elevador cerrado de cubetas) hacia la unidad de clasificación. En la unidad de clasificación, el agregado caliente pasa sobre una serie de cribas que lo separan en fracciones de varios tamaños y luego depositan las fracciones en las tolvas "calientes" (Figura 4.37).

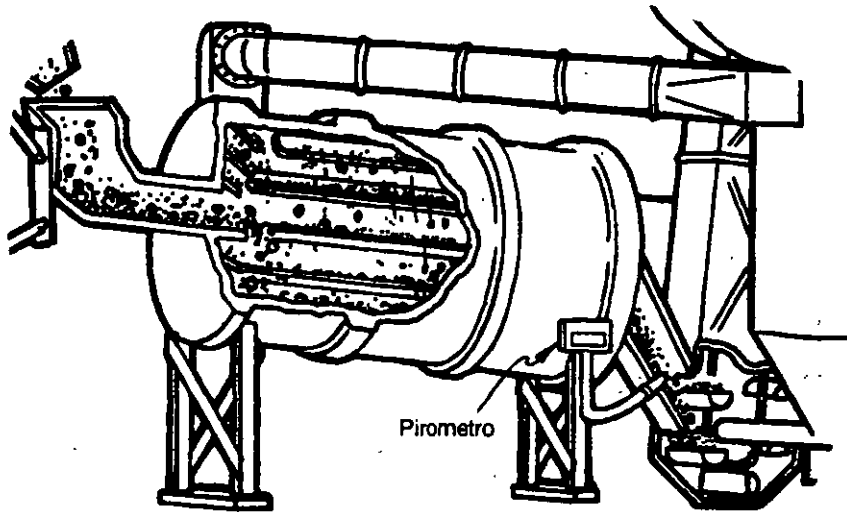


FIGURA 4.36 - Pirometro Localizado en el Conducto de Descarga del Secador.

CRIBAS CALIENTES

La unidad de cribado incluye un conjunto de varias cribas vibratorias de diferente tamaño (Figura 4.38). La primera criba en la serie es una criba preliminar de malla ancha la cual rechaza y extrae los agregados que exceden el tamaño máximo. Esta es seguida por una o dos cribas de tamaño intermedio, disminuyendo en tamaño de arriba hacia abajo. En la parte baja del grupo se encuentra una criba de arena.

Las cribas sirven para separar el agregado en tamaños específicos. Para efectuar esta función correctamente, el área total de cribado debe ser lo suficiente grande para manejar la cantidad total de carga entregada. De nuevo, las cribas deben estar limpias y en buena condición. La capacidad de las cribas debe estar en equilibrio con la capacidad del secador y la capacidad de la cámara de mezclado. Cuando un exceso de material es suministrado a las cribas, las aberturas de las cribas se encuentran taponadas, muchas partículas que deberían pasar a través, ruedan sobre las cribas y caen dentro de la tolva designada para un tamaño mayor de partícula. Igualmente, cuando las cribas están desgastadas o rotas, resultando en aberturas más grandes o en hoyos, habrá material demasiado grande que irá a parar en tolvas designadas para agregado con tamaños menores de partícula. Se denomina "sobrante" cuando el agregado fino cae en la tolva designada para recibir fracciones del tamaño siguiente (mas grande).

Un exceso de sobrante puede hacer aumentar la cantidad de agregado fino en la mezcla total, aumentando a la vez el área superficial a ser cubierta por el asfalto. Si la cantidad de sobrante es desconocida, o si fluctúa, particularmente en la criba No. 2, esto puede afectar seriamente el diseño de la mezcla tanto en la gradación como en el contenido de asfalto. El exceso de sobrante puede ser detectado por medio de un análisis granulométrico del contenido individual de las tolvas calientes, y debe ser corregido inmediatamente ya sea limpiando las cribas o reduciendo la cantidad de material que viene de la alimentación en frío, o de ambas formas. Cierta cantidad de sobrante es permitida en un cribado normal y esta cantidad es generalmente especificada.

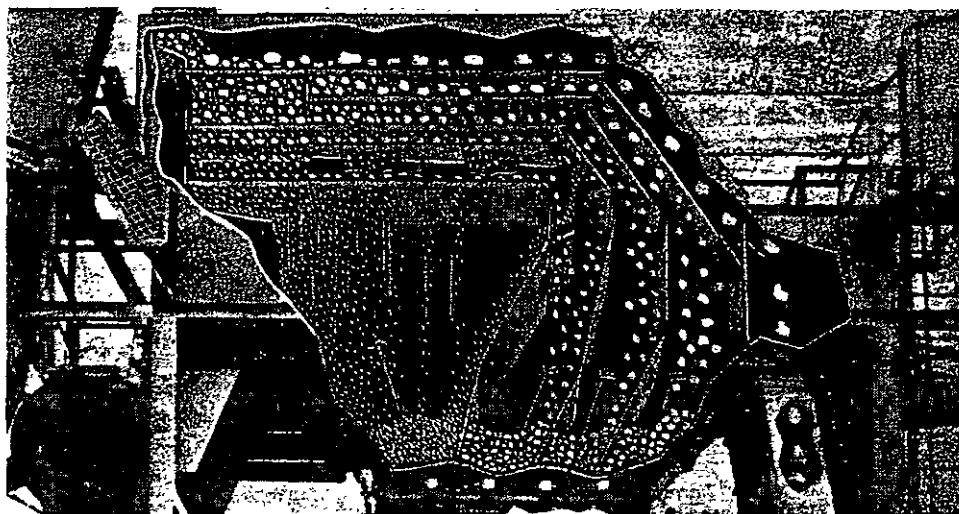


FIGURA 4.37 - Vista en Corte Mostrando Detalles del Flujo de Material a Través de las Cribas y las Tolvas Calientes.

La tolva No. 2 (agregado fino intermedio) es la tolva crítica del sobrante. Esta es la tolva que recibirá el agregado mas fino de sobrante y la que más afectará la demanda de asfalto en la mezcla. Típicamente, el sobrante en la tolva No. 2 no deberá exceder 10 por ciento. La cantidad de sobrante se puede verificar al probar una muestra de material de la tolva No. 2 a través del tamiz de 2.36 mm (No. 8). Para prevenir un sobrante excesivo, se recomienda efectuar inspecciones visuales diarias de las cribas para ver si están limpias y en buena condición. Esto se debe hacer, preferiblemente, antes de comenzar las operaciones del día.

TOLVAS CALIENTES

Las tolvas calientes son usadas temporalmente para almacenar el agregado caliente y ya cribado en los diferentes tamaños requeridos. Cada tolva es un compartimiento individual o una sección de un compartimiento largo dividido en partes. El tamaño adecuado de una tolva caliente deberá ser lo suficiente grande para acomodar el material necesario de cada tamaño cuando el mezclador esta operando en su capacidad total. Las divisiones deberán ser herméticas, libres de hoyos y lo suficiente altas para prevenir entremezclado de los agregados.

Las tolvas calientes tienen, usualmente, indicadores que advierten cuando la cantidad de agregados cae por debajo de cierto nivel. Estos indicadores pueden ser electrónicos o mecánicos. Hay un tipo electrónico de indicador (tipo diafragma) que es montado sobre un costado de la tolva (Figura 4.39). La presión de los agregados en la tolva activa este indicador. Cuando el nivel de agregado baja por debajo del indicador, un contacto eléctrico enciende una luz de advertencia.

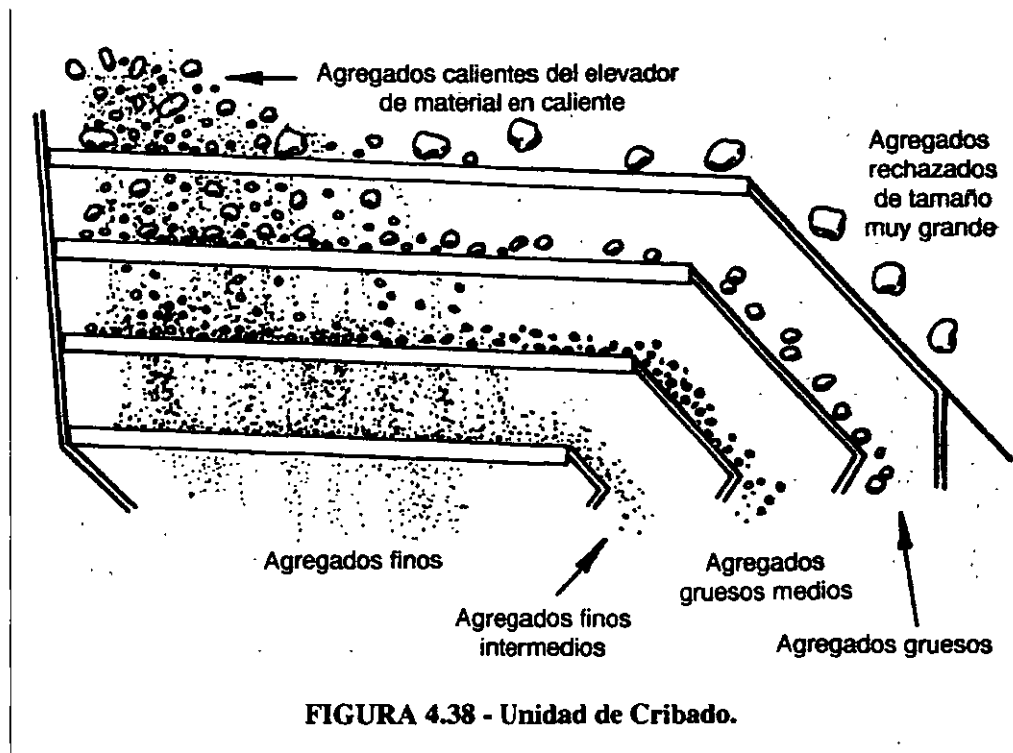


FIGURA 4.38 - Unidad de Cribado.

Cada tolva deberá estar equipada con un tubo de rebose para prevenir que se acumulen cantidades excesivas de agregado y terminen pasándose a otras tolvas. Los tubos de rebose deberán ajustarse para detener acumulaciones excesivas en las tolvas. Cuando una tolva presenta una acumulación excesiva, la criba por encima de ella termina cargando el exceso, lo cual resulta en un sobrante pesado y en un posible daño a la criba. Los tubos de rebose deberán revisarse periódicamente para confirmar que mantengan un flujo libre de material.

Algunas veces el agregado muy fino se adhiere a los rincones de la tolva de agregado fino. Cuando esta acumulación paulatina se derrumba, puede generar una cantidad excesiva de finos en la mezcla. Esta precipitación súbita de material fino ocurre, generalmente, cuando el nivel de agregado en la tolva baja demasiado. La solución es mantener un nivel correcto de agregado en la tolva. También, unas placas recortadas, soldadas en los rincones de la tolva, ayudan a minimizar la acumulación paulatina de finos.

Otros problemas en la producción de una buena mezcla incluyen: escasez de material en una tolva (y exceso en otra), compuerta desgastada en la base de la tolva (permitiendo escape de agregado hacia la tolva de pesaje), y transpiración de las paredes de la tolva (causada por la condensación de humedad).

No deberá permitirse que las tolvas calientes trabajen vacías. Una escasez o un exceso en la tolva puede corregirse si se ajusta la alimentación en frío. Por ejemplo, si la tolva de material grueso se está sobrecargando mientras que las otras permanecen en un nivel adecuado, entonces se deberá disminuir la alimentación en frío de la tolva que contiene el agregado grueso.

No es buena práctica hacer dos ajustes al mismo tiempo. Por ejemplo, si la alimentación total de agregado es deficiente y también una tolva está trabajando un poco sobrecargada, entonces es mejor ajustar primero la alimentación total, y después ajustar la alimentación de material que está causando que la tolva individual se este sobrecargando.

Si la compuerta en la base de una tolva está desgastada y está dejando escapar material, entonces debe ser reparada o reemplazada inmediatamente. Un escape de material de una tolva caliente puede afectar desfavorablemente la granulometría de la mezcla final.

La transpiración ocurre cuando el vapor húmedo en el agregado y en el aire se condensan en las paredes de la tolva. Usualmente ocurre al comienzo de las operaciones diarias o cuando el agregado grueso no es secado completamente. La transpiración puede causar la acumulación de polvo, la cual resulta en cargas instantáneas excesivas de finos en la mezcla. El relleno mineral y el polvo del compartimiento de filtros deberán almacenarse separadamente en un silo a prueba de humedad, y deberán ser directamente alimentados hacia el interior de la tolva de pesaje.

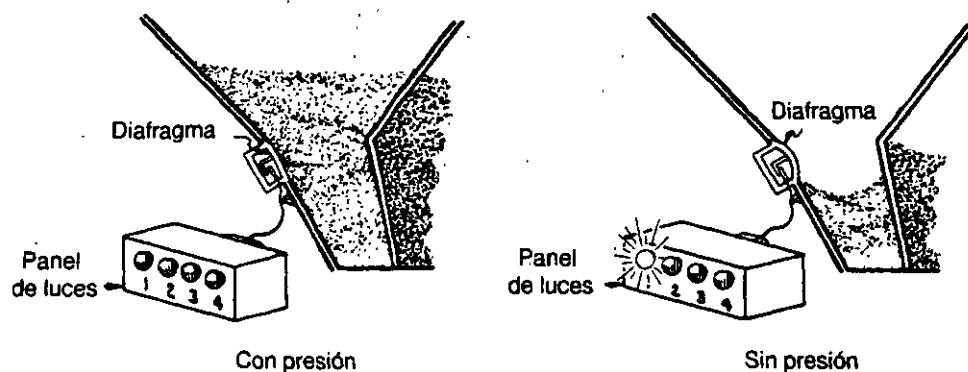


FIGURA 4.39 - Vista en Corte de un Indicador Tipo Diafragma.

MUESTREO EN LA TOLVA CALIENTE

Las plantas asfálticas modernas de mezcla en caliente están equipadas con dispositivos para muestrear agregado caliente en las tolvas. Estos dispositivos desvían el flujo de agregados del alimentador, o de la compuerta debajo de la tolva, hacia los recipientes de muestreo. Es esencial que estos dispositivos de muestreo estén instalados para poder tomar muestras representativas del material que se encuentra en las tolvas.

Al observar el flujo de material sobre las cribas de la planta vemos que las partículas finas caen en un lado de la tolva y las partículas gruesas en otro (Figura 4.40). Cuando el material se extrae de la tolva al abrir una compuerta en la base, la corriente consiste predominantemente de material fino en un extremo y material grueso en el otro. Por lo tanto, la posición del dispositivo de muestreo, en la corriente de material, determina si la muestra estará compuesta de una porción fina, una

porción gruesa, o una representación precisa del material de la tolva (Figura 4.41). Esta condición es bastante crítica en la tolva No. 1 (finos), puesto que el material de esta tolva es un factor determinante en la cantidad de asfalto requerida en la mezcla. También puede ocurrir estratificación vertical en la tolva de material fino. Esta puede ser causada por variaciones en la clasificación de los acopios o por una alimentación variable del agregado frío. Cuando esta forma de segregación existe, no pueden tomarse muestras representativas, aún si el aparato de muestreo es usado correctamente.

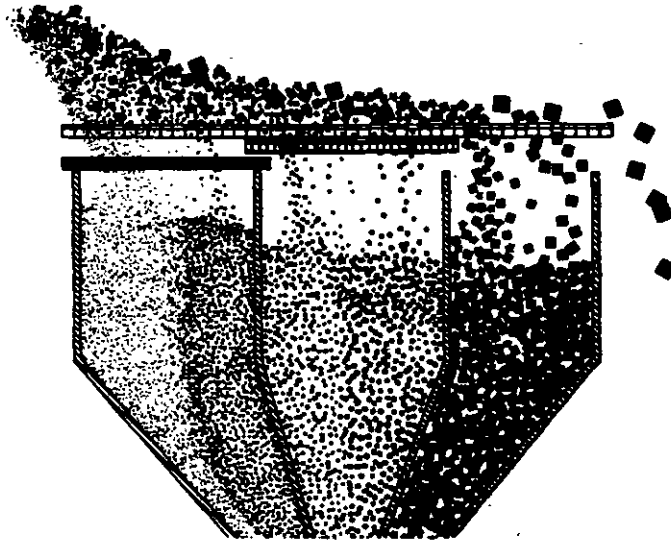


FIGURA 4.40 - Segregación de Agregado en la Tolva Caliente (observe la segregación dentro de cada tolva).

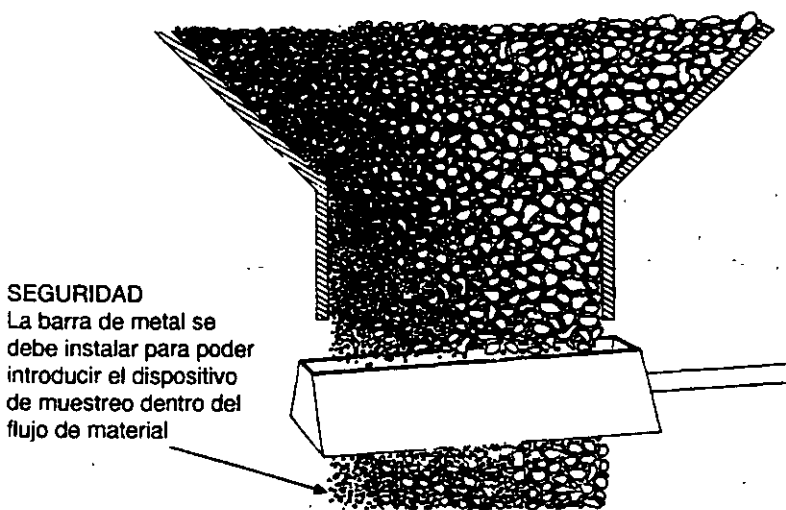


FIGURA 4.41 - Uso Correcto del Dispositivo de Muestreo.

CALIBRACIÓN

Normalmente es responsabilidad del contratista el calibrar la planta asfáltica; sin embargo, el inspector deberá observar y estar enterado de los procedimientos usados para obtener una combinación de agregados que cumpla con la fórmula de la mezcla de obra.

Para producir la combinación deseada de agregado, se debe analizar el contenido de cada tolva. Para analizar las tolvas calientes, se debe comenzar por poner en marcha la planta, el sistema de alimentación en frío, el secador y las cribas. Cuando la planta alcance su nivel de operación, tal que el material en las tolvas sea representativo de las proporciones establecidas en las compuertas frías, se debe proceder a tomar una muestra de cada tolva. Las muestras de agregado son luego tamizadas. Una vez se determinan las granulometrías del material de cada tolva, se puede calcular el porcentaje exacto de material que debe ser extraído de cada tolva para cumplir con el diseño de mezcla establecido. Este cálculo se efectúa usando el método de tanteos. Para entender el procedimiento, estúdiese el siguiente ejemplo.

Problema Ejemplo

El examen del contenido de la tolva comienza con el análisis del diseño de mezcla del concreto asfáltico que está siendo producido. En este caso, el diseño de mezcla determina la granulometría de agregado mostrada en la Figura 4.42. La figura muestra valores de una granulometría de referencia (fórmula de la mezcla de obra) y los márgenes aceptables (márgenes de especificación).

Tamiz	Porcentaje que pasa	
	Fórmula de la mezcla de obra	Margen de Especificaciones
25.0 mm (1 inch)	100.0	100
19.0 mm (3/4 inch)	97.0	90 - 100
9.5 mm (3/8 inch)	68.0	56 - 80
4.75 mm (No. 4)	48.0	35 - 65
2.36 mm (No. 8)	37.0	23 - 49
0.30 mm (No. 50)	12.0	5 - 19
0.075 mm (No. 200)	5.0	2 - 8

FIGURA 4.42 - Ejemplo de una Granulometría de Obra.

La fórmula de la mezcla de obra es el punto de comienzo para determinar la calibración correcta de los alimentadores de las tolvas calientes. Es necesario determinar qué porcentaje de cada tamaño de agregado, en la tolva caliente, debe ser incorporado en la mezcla para cumplir con las especificaciones del diseño.

Primero se determina la granulometría del material de cada una de las tolvas calientes (Figura 4.43). La granulometría combinada es luego determinada por el método de tanteos.

Primera Aproximación por Tanteo

Las proporciones de agregado son estimadas para el primer tanteo. El material que pasa por los tamices de 2.36 mm (No. 8) y 0.075 mm (No. 200) es usado como punto de partida. La formula de la mezcla de obra requiere que 37.0 por ciento del material pase por el tamiz de 2.36 mm (No. 8). La Tolva No. 1, de agregado fino, contiene 99.2 por ciento de material que pasa el tamiz 2.36 mm (No. 8). Por lo tanto, una aproximación de la contribución de la Tolva No. 1 a la granulometría final es 37 por ciento multiplicado por 99.2 por ciento, lo cual equivale a 36.7 por ciento. Redondeando este valor, el estimado usado para el material de la Tolva No. 1 será de 40 por ciento, sujeto a corrección para acomodar el relleno mineral.

De las cuatro tolvas, la Tolva No. 1 es la que contiene la mayoría de material que pasa el tamiz de 0.075 mm (No. 200), siendo en este caso 3.2 por ciento. Si se usa 40 por ciento de la Tolva No. 1, entonces 40 por ciento multiplicado por 3.2 por ciento es igual a 1.3 por ciento de material que pasa el tamiz 0.075 mm (No. 200), y el cual va a ser suministrado por esta tolva. Puesto que la formula de la mezcla de obra requiere un total de 5.0 por ciento de material que pasa el tamiz 0.075 mm (No. 200), entonces la tolva de relleno mineral debe proveer el 3.7 por ciento restante. La tolva de relleno mineral contiene 76.2 por ciento de material que pasa el tamiz 0.075 mm (No. 200). Multiplicando 76.2 por ciento por 4.8 por ciento, o redondeando, por 5 por ciento, resulta en 3.2 por ciento. En consecuencia, la tolva de llenante mineral proveerá el 5 por ciento del agregado total.

Sin embargo, si se usa 40 por ciento de material de la Tolva No. 1 y 5 por ciento de material de la tolva de relleno mineral, esto resultara en demasiado relleno en la mezcla final. Para evitar que esto suceda, se resta 5 por ciento del total de material a ser extraído de la Tolva No. 1, reduciendo así la contribución de la Tolva No. 1 a 35 por ciento.

Hasta este punto el total de material suministrado por la Tolva No. 1 y la tolva de relleno mineral constituye un 40 por ciento de la granulometría total. Esto deja un 60 por ciento de material que deberá provenir de las otras tres tolvas. La forma más fácil de dividir este porcentaje es en partes iguales para las tres tolvas. En consecuencia, las Tolvas No. 2, No. 3, y No. 4 contribuirán, cada una, con 20 por ciento del agregado total, en esta primera aproximación por tanteo.

En la Figura 4.44 el porcentaje estimado para cada tolva es multiplicado por la gradación de agregado contenida en esa tolva.

Tamaño de Tamiz	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (3/4 in.)	9.5 mm (3/8 in.)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	0.30 mm (No. 50)	0.075 mm (No. 200)
Porcentaje que pasa							
Granulometrías de Tolvas Calientes							
Tolva #1 B1	100	100	100	100	99.2	25.0	3.2
Tolva #2 B2	100	100	98.5	51.0	8.7	0.5	0.3
Tolva #3 B3	100	98.4	11.7	4.3	2.0	0.3	0.2
Tolva #4 B4	100	60.0	5.9	1.1	0.5	0.2	0.1
Relleno Mineral MF	100	100	100	100	100	96.2	76.2

FIGURA 4.43 - Resultados de un Ejemplo de Análisis Granulométrico de Tolvas Calientes.

Segunda Aproximación por Tanteo

Los totales combinados de la Figura 4.44 son luego comparados con la formula de la mezcla de obra. El porcentaje total combinado para el material que pasa el tamiz 0.075 mm (No. 200) es adecuado, de modo que no es necesario hacer cambios en la cantidad de relleno mineral. El material que pasa el tamiz 2.36 mm (No. 8) excede los requerido por la formula de la mezcla de obra, y también hay demasiado material que pasa el tamiz 4.75 mm (No. 4). En consecuencia, el porcentaje de la Tolva No. 1 deberá ser reducido. Puesto que hay suficiente material pasando los tamices que están por encima del tamiz de 4.75 mm (No. 4), los porcentajes de material de la Tolva No. 2 y la Tolva No. 3 deberán aumentarse a la vez que se disminuye el porcentaje de la Tolva No. 4. Unos ajustes de 5 por ciento parecen ser adecuados para la segunda aproximación por tanteo. De modo que la tolva de relleno mineral se mantiene en 5 por ciento, la Tolva No. 1 se reduce a 30 por ciento, las Tolvas No. 2 y No. 3 son aumentadas hasta 25 por ciento cada una, y la Tolva No. 4 se reduce a 15 por ciento. En la Figura 4.45, el porcentaje estimado para cada tolva en la segunda aproximación es multiplicado por la granulometría de agregado de cada tolva.

Tamaño de Tamiz	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (3/4 in.)	9.5 mm (3/8 in.)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	0.30 mm (No. 50)	0.075 mm (No. 200)
Porcentaje que pasa							
Margen de Especificaciones	100	90-100	58-80	35-65	23-49	5-19	2-8
Formula de la mezcla de obra	100	97	68	48	37	12	5
Porcentaje que pasa							
Granulometrías de Tolvas Calientes							
Tolva No. 1 B1	100	100	100	100	99.2	25.0	3.2
Tolva No. 2 B2	100	100	98.5	51.0	8.7	0.5	0.3
Tolva No. 3 B3	100	98.4	11.7	4.3	2.0	0.3	0.2
Tolva No. 4 B4	100	60.0	5.9	1.1	0.5	0.2	0.1
Relleno Mineral MF	100	100	100	100	100	96.2	76.2
Trate 35% B1, 20% B2, 20% B3, 20% B4 and 5% MF							
B1 x 0.35	35	35	35	35.0	34.7	8.8	1.1
B2 x 0.20	20	20	19.7	10.2	1.7	0.1	0.1
B3 x 0.20	20	19.7	2.3	0.9	0.4	0.1	0
B4 x 0.20	20	12.0	1.2	0.2	0.1	0	0
MF x 0.05	5	5.0	5.0	5.0	5.0	4.8	3.8
Total	100	91.7	63.2	51.3	41.9	13.8	5.0

FIGURA 4.44 - Resultados de la Primera Aproximación por Tanteo.

Tamaño de Tamiz	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (3/4 in.)	9.5 mm (3/8 in.)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	0.30 mm (No. 50)	0.075 mm (No. 200)
Margen de Especificaciones	100	90-100	58-80	35-65	23-49	5-19	2-8
Formula de la mezcla de obra	100	97	68	48	37	12	5
Granulometrías de Tolvas Calientes				Porcentaje que pasa			
Tolva No. 1 B1	100	100	100	100	99.2	25.0	3.2
Tolva No. 2 B2	100	100	98.5	51.0	8.7	0.5	0.3
Tolva No. 3 B3	100	98.4	11.7	4.3	2.0	0.3	0.2
Tolva No. 4 B4	100	60.0	5.9	1.1	0.5	0.2	0.1
Relleno Mineral	100	100	100	100	100	96.2	76.2
Aproximación No. 2		Trate 30% B1, 25% B2, 25% B3, 15% B4 and 5% MF					
B1 × 0.30	30	30.0	30.0	30.0	29.8	7.5	1.0
B2 × 0.25	25	25.0	23.4	12.8	2.2	0.1	0.1
B3 × 0.25	25	24.8	3.0	1.1	0.5	0.1	0.1
B4 × 0.15	15	9.0	0.9	0.2	0.1	0	0
MF × 0.05	5	5.0	5.0	5.0	5.0	4.8	3.8
Total	100	93.8	62.3	49.1	37.6	12.5	5.0

FIGURA 4.45 - Resultados de la Segunda Aproximación por Tanteo.

Después de que los cálculos para todas las tolvas han sido efectuados las combinaciones totales han sido sumadas, se procede a comparar los resultados de la segunda aproximación por tanteo con la formula de la mezcla de obra.

Tercera Aproximación por Tanteo

Los porcentajes de material que pasa el tamiz 0.075 mm (No. 200), el 0.30 mm (No. 50) y el 2.36 mm (No. 8) son satisfactorios, de modo que la tolva de relleno mineral y la Tolva No. 1 no necesitan mas ajustes. Sin embargo, no hay suficiente material que pasa el tamiz 19.0 mm (3/4 pulgada) o que pasa el 9.5 mm (3/8 pulgada), mientras que el porcentaje que pasa el tamiz 4.75 mm (No. 4) es un poco alto. Para la tercera aproximación por tanteo el porcentaje de las Tolvas No. 2 y No. 3 es aumentado para conseguir mas material grueso, mientras que el porcentaje de la Tolva No. 4 es disminuido de nuevo. De modo que el porcentaje de las Tolvas No. 2 y No. 3 se aumenta a 28 por ciento y el porcentaje de la Tolva No. 4 se reduce a 9 por ciento, como tercera aproximación. En la Figura 4.46, el porcentaje estimado para cada tolva en esta tercera aproximación es multiplicado por la granulometría de agregado contenida en cada tolva.

Tamaño de Tamiz	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (3/4 in.)	9.5 mm (3/8 in.)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	0.30 mm (No. 50)	0.075 mm (No. 200)
Margen de Especificaciones	100	80-100	56-80	35-65	23-49	5-19	2-8
Formula de la mezcla de obra	100	97	68	48	37	12	5
Gradaciones de Tolvas Calientes							
	Porcentaje que pasa						
Tolva No. 1 B1	100	100	100	100	99.2	25.0	3.2
Tolva No. 2 B2	100	100	98.5	51.0	8.7	0.5	0.3
Tolva No. 3 B3	100	98.4	11.7	4.3	2.0	0.3	0.2
Tolva No. 4 B4	100	60.0	5.9	1.1	0.5	0.2	0.1
Relleno Mineral	100	100	100	100	100	96.2	76.2
Aproximación No. 3							
	Trate 30% B1, 28% B2, 28% B3, 9% B4 and 5% MF						
B1 x 0.30	30	30	30	30	29.8	7.5	1.0
B2 x 0.28	28	28	27.6	14.3	2.4	0.1	0.1
B3 x 0.28	28	27.6	3.3	1.2	0.6	0.1	0.1
B4 x 0.09	9	5.4	0.5	0.1	0	0	0
MF x 0.05	5	5.0	5.0	5.0	5.0	4.8	3.8
Total	100	96.0	66.4	50.6	37.8	12.5	5.0

FIGURA 4.46 - Resultados de la Tercera Aproximación por Tanteo.

La tercera granulometría combinada esta lo suficiente cerca a la formula de la mezcla de obra, y dentro de las tolerancias permitidas para la obra (margen de especificación). Los porcentajes de cada tolva se convierten, entonces, en la base para calibrar el sistema de alimentación del agregado caliente.

Una vez que se han determinado las proporciones de material que se requieren en cada tolva, se procede a efectuar los cálculos para determinar el peso de cemento asfáltico, y el peso de los agregados necesarios para producir una sola carga de mezcla en caliente. El primer paso consiste en seleccionar el tamaño de la carga de producción. El tamaño de la carga depende de la capacidad de la cámara mezcladora de la planta (amasadero). Para este ejemplo, suponga que la cámara mezcladora tiene una capacidad de 2,722 kg. (6,000 lb.). A la máxima tasa de producción cada carga de mezcla en caliente producida pesará alrededor de 2,722 kg. (6,000 lb.).

La información conocida se puede resumir como sigue, suponiendo un contenido de asfalto, en la mezcla final, de 6 por ciento:

Peso de la Carga	2,722 kg. (6,000 lb)
Porcentaje de Cemento Asfáltico	6 por ciento
Tolva No. 1 (porcentaje del agregado total)	30 por ciento
Tolva No. 2 (porcentaje del agregado total)	28 por ciento
Tolva No. 3 (porcentaje del agregado total)	28 por ciento
Tolva No. 4 (porcentaje del agregado total)	9 por ciento
Relleno Mineral (porcentaje del agregado total)	5 por ciento

A partir de esta información, se puede calcular el peso de cemento asfáltico en cada carga al multiplicar el peso de la carga por el porcentaje de asfalto en cada carga:

$$2,722 \text{ kg.} \times .06 \text{ (6 por ciento)} = 163 \text{ kg.}$$

$$(6,000 \text{ lb.} \times .06 \text{ (6 por ciento)}) = 360 \text{ lb.}$$

El peso total de agregados en cada carga se determina restando el peso de cemento asfáltico del peso total de la carga:

$$2,722 \text{ kg.} - 163 \text{ kg.} = 2,559 \text{ kg.}$$

$$(6,000 \text{ lb.} - 360 \text{ lb.}) = 5,640 \text{ lb.}$$

El peso total de todos los agregados necesarios para una carga de mezcla en caliente permite calcular de los pesos (cantidades) de agregado que deben ser extraídos de cada una de las tolvas:

Tolva	Porcentaje de Proporción		Peso Total de Agregado		Peso Requerido
No. 1	30 por ciento	x	2,559 kg (5,640 lb)	=	768 kg. (1,692 lb.)
No. 2	28 por ciento	x	2,559 kg (5,640 lb)	=	717 kg. (1,579 lb.)
No. 3	28 por ciento	x	2,559 kg (5,640 lb)	=	717 kg. (1,579 lb.)
No. 4	9 por ciento	x	2,559 kg (5,640 lb)	=	230 kg. (508 lb.)
Relleno	5 por ciento	x	2,559 kg (5,640 lb)	=	128 kg. (282 lb.)

Los pesos de la carga son generalmente redondeados a los 5 kilogramos (o libras) más cercanos; por lo tanto, los pesos a ser extraídos son:

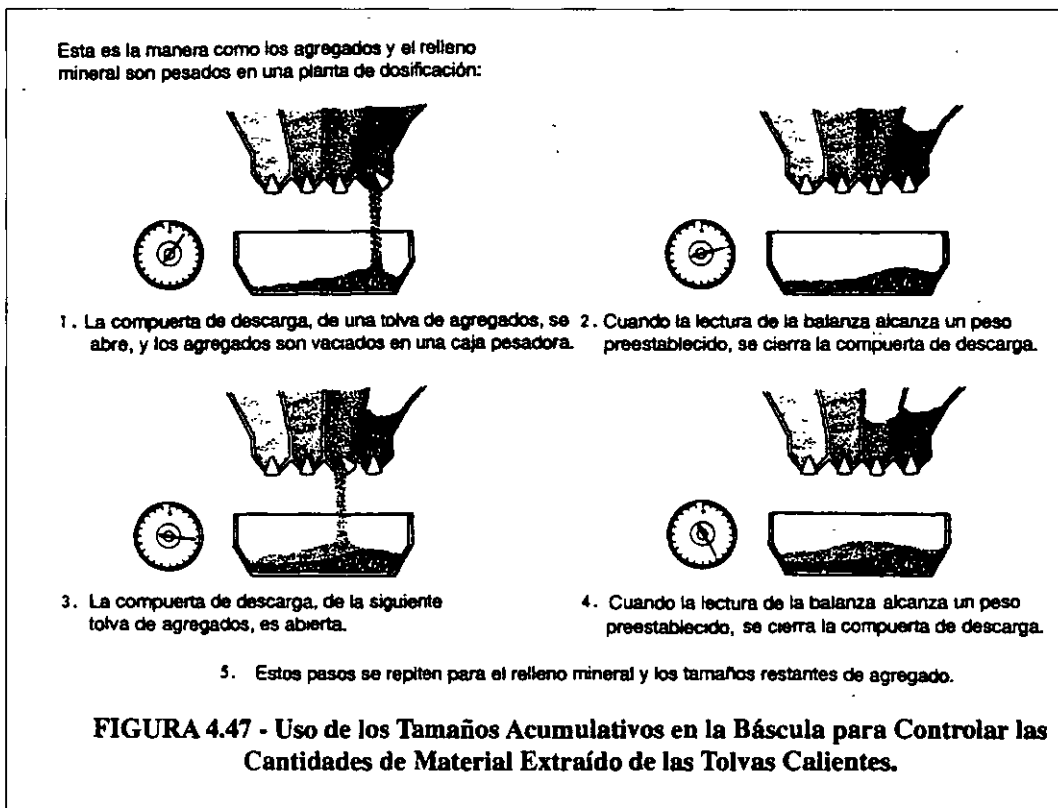
Tolva No. 1	770 kg	1,690 lbs.
Tolva No. 2	715 kg	1,580 lbs.
Tolva No. 3	715 kg	1,580 lbs.
Tolva No. 4	230 kg	510 lbs.
Relleno	130 kg	280 lbs.
Total	2,560 kg	5,640 lbs.

EXTRAYENDO MATERIAL DE LAS TOLVAS CALIENTES

Los agregados son extraídos de las tolvas calientes para ser depositados en la tolva de pesaje. La tolva de pesaje esta suspendida de las vigas de la báscula, y pesa, en forma acumulativa, las cantidades de agregado.

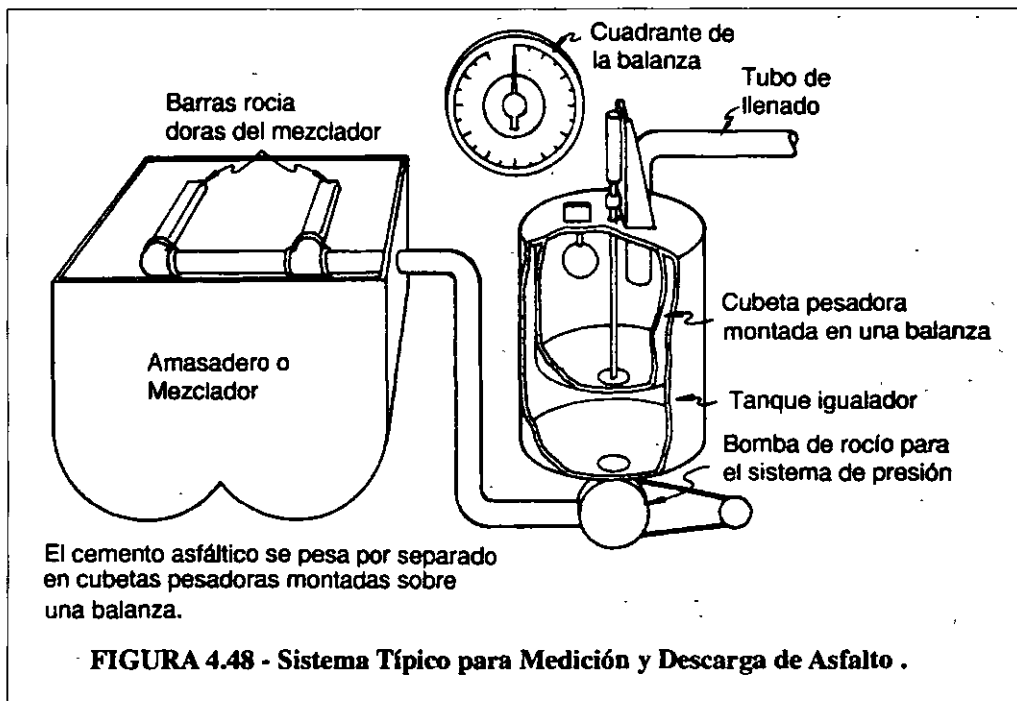
El orden en que las tolvas vacían sus proporciones de agregados en la tolva de pesaje esta determinado por el contratista o el productor. Usualmente, los agregados gruesos son extraídos primero, los agregados intermedios a continuación, y por último los agregados finos. Esta secuencia esta diseñada para colocar las fracciones finas en la parte superior de la tolva de pesaje, donde no puedan escapar hacia afuera a través de la compuerta en la parte inferior de la balanza. Este sistema también permite el uso más eficiente del volumen disponible en la tolva de pesaje.

Después de determinar la secuencia de extracción, los pesos a ser extraídos son marcados en el cuadrante de la báscula. Debido a que la báscula indica los pesos en forma acumulativa, el cuadrante debe estar marcado en conformidad con este sistema. La Figura 4.47 ilustra como son usadas las graduaciones acumulativas de la báscula (mostradas en el cuadrante) para controlar la proporción de agregados extraídos de cada tolva.



INCORPORANDO EL ASFALTO

Después de pasar por la tolva de pesaje, los agregados son depositados en la cámara mezcladora de la planta (amasadero), en donde son combinados con la correcta proporción de asfalto. En un sistema típico de una planta, el asfalto es pesado por separado en una cubeta pesadora antes de ser incorporado al mezclador. Cuando el peso de asfalto en la cubeta alcanza cierto nivel, previamente determinado, una válvula en la línea de descarga se cierra para prevenir cualquier exceso de asfalto. El asfalto es luego bombeado a través de barras rociadoras hacia el mezclador (Figura 4.48). Las cubetas de asfalto deberán ser revisadas para verificar su precisión. Lo ideal es que esto se efectúe como primera cosa del día. Durante la mañana, el asfalto nuevo afloja parte del asfalto viejo que se acumuló el día anterior en los lados y el fondo de la cubeta. La pérdida de este asfalto acumulado cambia el taraje de la cubeta.



Cualquier funcionamiento inapropiado del sistema de distribución de asfalto resulta en una proporción no-uniforme de asfalto en la mezcla. La inspección visual y los ensayos de la mezcla final usualmente revelan cualquier problema funcional en el sistema. Generalmente no ocurren problemas en el sistema de distribución de asfalto.

TEMPERATURA DE LAS MEZCLAS

Tanto el asfalto como el agregado deben ser calentados antes de ser combinados en el mezclador - el asfalto, para darle suficiente fluidez para que sea bombeado, y

el agregado, para que este lo suficiente seco y caliente tal que pueda producir una mezcla final a la temperatura deseada.

El asfalto es un material termoplástico que pierde viscosidad con el aumento de la temperatura. La relación entre temperatura y viscosidad, sin embargo, puede no ser la misma para diferentes fuentes de asfalto, o diferentes tipos y grados de asfalto. (Ver Capítulo 2, Materiales).

La temperatura del agregado controla la temperatura de la mezcla. Normalmente hay una especificación para temperatura de mezclado, basada en factores relacionados con las condiciones de colocación y compactación de la mezcla. Otra temperatura importante es la que se requiere para secar muy bien el agregado, tal que pueda obtenerse una mezcla favorable.

El mezclado deberá ser efectuado a la temperatura mas baja posible que a la vez permita un revestimiento completo de las partículas de agregado y una mezcla con una trabajabilidad satisfactoria. La Figura 4.49 provee una guía para márgenes típicos de temperaturas de mezclado.

Tipo y Grado de Asfalto	Temperaturas de la mezcla en el mezclador	
	Mezclas densamente graduadas	
Cementos Asfálticos	°F	°C
AC-2.5	235-280	115-140
AC-5	250-295	120-145
AC-10	250-315	120-155
AC-20	265-330	130-165
AC-40	270-340	130-170
AR-1000	225-275	105-135
AR-2000	275-325	135-165
AR-4000	275-325	135-165
AR-8000	275-325	135-165
AR-16000	300-350	150-175
200-300 pen.	235-305	115-150
120-150 pen.	245-310	120-155
85-100 pen.	250-325	120-165
60-70 pen.	265-335	130-170
40-50 pen.	270-350	130-175

FIGURA 4.49 - Temperaturas Típicas de Mezclado para Mezcla Asfáltica en Caliente (Temperatura de la Mezcla Inmediatamente Después de ser Descargada del Mezclador).

BASCULAS DE LA PLANTA

Las básculas son usadas para pesar tanto el asfalto como los agregados. Los medidores de la báscula para asfalto están generalmente graduados en intervalos de 2 libras, mientras que los medidores de las básculas de agregado están graduados, usualmente, en intervalos de 5 libras. Los medidores de las básculas deberán estar localizados donde el operador pueda verlos claramente. Una posible disposición de las básculas esta mostrada en la Figura 4.50, en donde estas se encuentran cerca de la caja pesadora. Los medidores también pueden estar localizados en la estación central (Figura 4.56).

Los medidores pueden ser de dos tipos: (1) medidor sin resorte y (2) medidor de viga. Ambos tipos tienen, esencialmente, las mismas partes básicas - palancas, soportes, e indicadores. En todas las básculas se debe revisar, frecuentemente, el sistema de palancas, los soportes de cuñas, y las cuñas, para confirmar que estén limpios y para estar seguros de que las partes móviles no estén tocando otras partes de la báscula. Cualquier roce (contacto) o traba en el sistema de la báscula ocasionará que el medidor de la misma registre lecturas erróneas. La aguja del medidor deberá oscilar libremente y deberá registrar un valor de cero cuando no hay carga. Una de las causas más comunes del mal funcionamiento de una báscula es la acumulación de polvo asfáltico, y la corrosión y falta de filo en los soportes de cuñas del sistema de palancas. Las partículas de agregado también pueden ocasionar problemas al alojarse en los soportes de la báscula, causando obstrucción en el movimiento libre de las palancas.

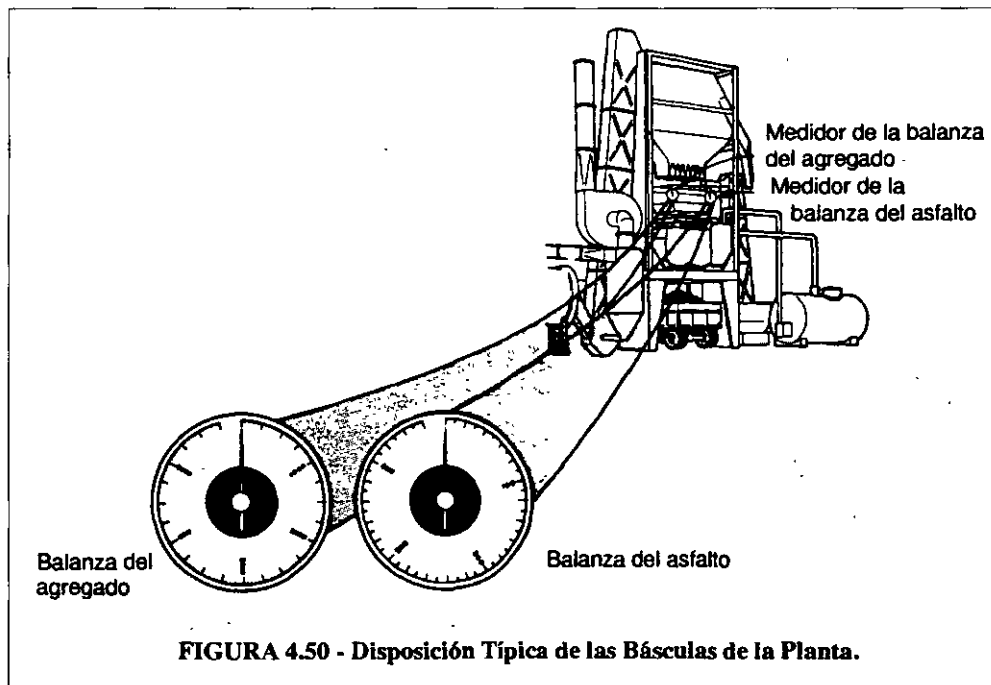


FIGURA 4.50 - Disposición Típica de las Básculas de la Planta.

Las básculas de tolva de pesaje para agregado, y las de la cubeta para asfalto, deberán revisarse antes de comenzar la producción, usando para ello pesos normalizados. En algunos estados de los Estados Unidos se requiere que las básculas sean revisadas periódicamente por una agencia oficial. Esto no libra al contratista de su responsabilidad de mantener la precisión en las básculas.

El inspector puede solicitar una verificación con pesos normalizados si llega a sospechar que las básculas se han desajustado durante la producción.

Cuando la planta es instalada por primera vez, se deben llenar las tolvas hasta su capacidad total, y se debe esperar 24 horas o más, con la planta parada, para ensayar las básculas. Este periodo de espera permite que la planta se ajuste.

Las básculas de agregado se deberán ensayar periódicamente una vez que la planta entra en operación. Esto se efectúa en tres pasos: (1) revisar el balance cuando están vacías, (2) pesar una carga completa, y (3) añadir pesos para verificar que las lecturas del cuadrante aumentan. La báscula de asfalto también se debe ensayar periódicamente de la misma manera.

En ciertas ocasiones, el asfalto es incorporado al mezclador usando un dispositivo dosificador de fluidos en vez de la cubeta pesadora. Estos dispositivos dosificadores son simplemente mecanismos de desplazamiento de volumen, los cuales deben ser revisados periódicamente para verificar su precisión. Cuando se usan estos dispositivos debe establecerse una correlación entre las lecturas del contador y el peso del material, debido a que las lecturas están dadas en términos de volumen desplazado, mientras que el cemento asfáltico usado en la mezcla se calcula con base en su peso. Una manera simple de establecer esta correlación es la siguiente:

- Tome una lectura del contador antes de llenar un recipiente ya tarado.
- Bombee cierta cantidad de asfalto en el recipiente.
- Tome una segunda lectura del contador.
- Obtenga el peso de asfalto del recipiente.
- Divida el peso de asfalto por la diferencia de lecturas (segunda menos primera) del contador. El resultado indica el peso que corresponde a cada división del contador.

Tanto la viscosidad como el peso unitario del asfalto cambian con cambios en la temperatura. Cuando se aumenta la temperatura, la viscosidad disminuye. El peso unitario disminuye a una tasa de 1 por Ciento por cada 14 a 16°C (25 a 30°F) de aumento en la temperatura. Algunos contadores de asfalto tienen dispositivos compensadores de temperatura que corrigen el flujo de asfalto cuando ocurren cambios en la temperatura. Cuando se use un contador que no posea este dispositivo, es necesario ajustar la descarga tan pronto ocurra un cambio en la temperatura del asfalto.

OPERACIÓN DEL AMASADERO (MEZCLADOR)

La cámara en donde el asfalto y el agregado son mezclados es llamada el amasadero o mezclador. En la mayoría de las plantas modernas se usa un mezclador de doble eje. Este consiste de una cámara mezcladora con revestimiento,

la cual tiene dos ejes horizontales en donde están montadas varias espigas de paleta, cada cual con dos paletas. Las paletas pueden ser ajustadas y reemplazadas fácilmente.

En general, las paletas deben ser ajustadas de tal manera que no hayan "áreas muertas" dentro del mezclador. Un área muerta es un lugar donde se puede acumular material fuera del alcance de las paletas y no ser mezclado completamente. Las áreas muertas pueden evitarse si se asegura que el espacio libre entre las puntas de las paletas y el revestimiento de la cámara sea menor que la mitad del tamaño máximo del agregado. Las paletas que están demasiado desgastadas o rotas deberán ser ajustadas de nuevo o reemplazados, antes de poner en marcha la planta.

Un mezclador demasiado lleno puede ocasionar un mezclado no-uniforme (Figura 4.51). Para obtener una eficiencia máxima de operación, las puntas de las paletas deberán ser escasamente visibles en la superficie del material, durante el mezclado. Si el nivel de material es muy alto, el material de la parte superior tiende a "flotar" por encima de las paletas y, por consiguiente, no llega a ser mezclado en su totalidad. Por otro lado, si un mezclador contiene poco material (Figura 4.52), entonces las puntas de las paletas rastrillan el material sin mezclarlo debidamente.

Cualquiera de estos dos problemas puede ser evitado si se siguen las recomendaciones del fabricante para los volúmenes de cargas en el amasadero. Normalmente el volumen fijado por el fabricante está basado en un porcentaje de la capacidad de la "zona viva" del mezclador. Esta zona viva (Figura 4.53) es el volumen neto, en metros cúbicos (o pies cúbicos), debajo de la línea que se extiende a través del arco superior formado por el radio interior de las espigas de paleta, sin incluir el volumen de los ejes, del revestimiento, de las espigas, y de las paletas.

La Figura 4.54 ilustra el ciclo de mezclado durante el cual el asfalto, los agregados, y el relleno mineral son combinados para formar, dentro del amasadero, una mezcla asfáltica en caliente. El período de tiempo desde que se abre la compuerta de la tolva de pesaje (Paso 1 en la figura) hasta que se abre la compuerta de descarga del amasadero (Paso 4) se conoce como el tiempo de mezclado de la carga. El tiempo de mezclado de la carga debe ser lo suficiente largo para producir una mezcla homogénea de partículas de agregado igualmente distribuidas y uniformemente revestidas. Cuando este tiempo de mezclado es demasiado largo, la exposición prolongada de la película delgada de asfalto a la alta temperatura del agregado, en presencia de aire, afecta desfavorablemente el asfalto y reduce la durabilidad de la mezcla. La mayoría de las especificaciones de la obra requieren el uso de algún tipo de dispositivo para medir tiempo, con el fin de monitorear el tiempo de mezclado de la carga.

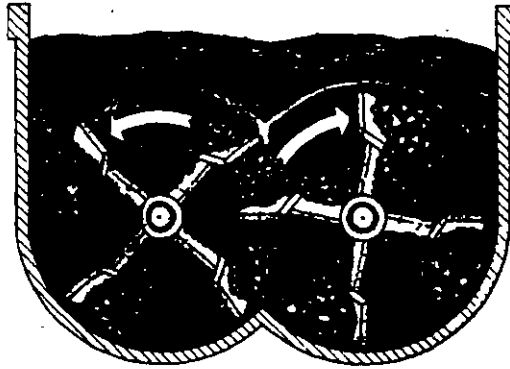


FIGURA 4.51 - Mezclador Demasiado Lleno.

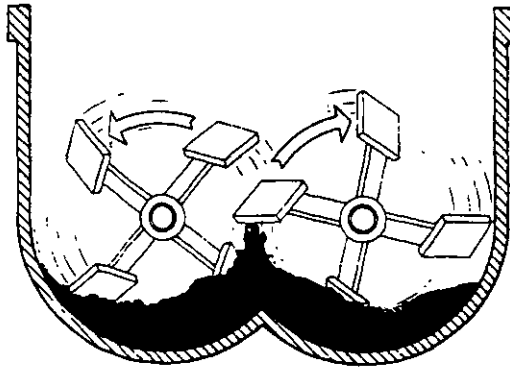


FIGURA 4.52 - Mezclador Muy Vacío.

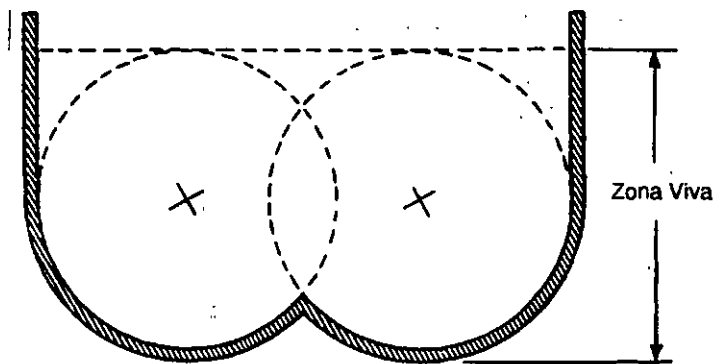


FIGURA 4.53 - "Zona Viva" del Mezclador

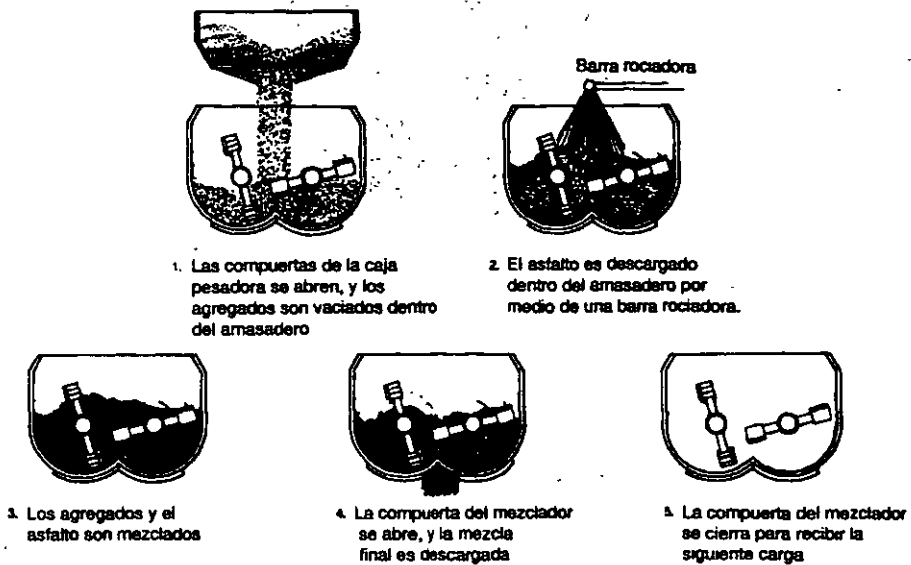


FIGURA 4.54 - Pasos en un Ciclo Típico de una Planta de Dosificación.

El tiempo de mezclado, en cada tipo de planta, puede ser ajustado para cada mezcla dentro de los límites de las especificaciones siguiendo el procedimiento descrito en la norma AASHTO T 195, Determinando el Grado de Revestimiento de Partícula para Mezclas Bitumen-Agregado, o en la norma ASTM D 2489, Grado de Revestimiento de Partícula para Mezclas Bitumen Agregado.

En las normas mencionadas anteriormente solo se usan partículas gruesas debido a que son las últimas que llegan a ser revestidas en el proceso de mezclado. Los porcentajes típicos mínimos que se requieren para conformidad con las especificaciones son: 90 por ciento de partículas completamente cubiertas para mezclas de base, y 95 por. ciento de partículas completamente cubiertas para mezclas superficiales. El tiempo mínimo que se necesita en el amasadero para producir una carga que cumpla con los requerimientos mínimos de revestimiento es conocido como el tiempo mínimo de mezclado.

A continuación se describe el procedimiento para determinar el tiempo de mezclado. Para comenzar la determinación del tiempo de mezclado se sugiere que la planta comience operaciones con un ciclo de mezclado de 30 segundos.

(1) Se toman tres muestras de la mezcla en caliente inmediatamente después de que esta es descargada del amasadero. Estas muestras deben provenir de tres cargas alternas de camión.

(2) Las muestras son inmediatamente tamizadas, mientras están calientes, a través del tamiz de 9.5 mm (3/8 pulgada) y el de 4.75 mm (No. 4). Estos tamices solo se aplican a materiales con tamaños máximos de 9.5 mm (3/8 pulgada). Cada muestra debe ser lo suficiente grande para producir de 200 a 500 partículas gruesas sobre el tamiz. El tamiz no debe ser sobrecargado. Si es necesario, la muestra puede ser tamizada en dos o tres operaciones. El sacudimiento del tamiz debe ser mínimo.

(3) Las partículas de la muestra son luego colocadas sobre una superficie limpia, en una capa de una sola partícula de espesor. Se procede inmediatamente a contarlas.

(4) Cada partícula es luego examinada contra la luz directa del sol. La partícula se clasifica como "parcialmente revestida" si tan solo tiene una pequeña parte sin cubrir. Las partículas que están totalmente cubiertas se clasifican como "totalmente revestidas".

(5) El porcentaje de partículas revestidas, para una muestra, se calcula usando la siguiente fórmula:

Porcentaje revestido = $\frac{\text{Numero de partículas totalmente revestidas} \times 100}{\text{Numero total de partículas}}$

(6) Si el promedio de las tres muestras es mayor que el especificado se puede usar un tiempo menor de mezclado. En este caso se repiten los pasos 1,2,3,4 y 5 hasta que se obtenga el menor tiempo posible de mezclado que produzca el porcentaje especificado. Si el promedio es menor que el especificado, el tiempo de mezclado se debe aumentar en intervalos de 5 segundos hasta que se obtenga la condición deseada.

AUTOMATIZACIÓN DE LA PLANTA DE DOSIFICACIÓN

Las plantas modernas de dosificación están clasificadas en tres categorías, dependiendo del grado de automatización: (1) manual, (2) semiautomática, y (3) automática. En la operación manual de una planta, cada fase de la dosificación es ejecutada manipulando una palanca, un interruptor, o un botón. Aún en las plantas manuales se han reemplazado las palancas de mano, de las plantas primitivas, por cilindros neumáticos o hidráulicos accionados con interruptores eléctricos. También, todas las plantas, sin importar su clasificación, utilizan fuerza motriz en la operación de los dispositivos de pesaje, mezclado y descarga. Las compuertas de las tolvas, los alimentadores de finos, las válvulas de suministro y rociado de asfalto, la compuerta de descarga de la tolva de pesaje, y la compuerta de descarga del mezclador son operadas por equipos mecánicos.

La planta semiautomática es una en donde varias de las fases de dosificación son ejecutadas automáticamente. La mayoría de las plantas semiautomáticas están diseñadas para que las operaciones de la compuerta de descarga de la tolva de pesaje, de la cubeta pesadora de asfalto, del mezclado húmedo, y de la compuerta de descarga del mezclador, sean efectuadas automáticamente. Los interruptores de control aseguran que todas las funciones ocurran en la secuencia correcta.

La planta automática es casi completamente autosuficiente. Una vez se ajustan las proporciones de la mezcla y los contadores de tiempo, y la planta se pone en marcha, la maquinaria de la planta repite los ciclos de pesado y mezclado hasta que el operador pare la maquinaria o hasta que se presente una escasez de material o hasta que cualquier evento fuera de lo común cause que los controles de la planta paren de trabajar.

Los controles principales de una planta de dosificación totalmente automática incluyen:

- Control automático de los ciclos.
- Control automático de proporcionamiento.
- Control automático del secador.
- Un tablero de control.
- Regulador de fórmula.
- Controles de tolerancia.
- Entrecierres de dosificación.
- Unidad de registro.

La Figura 4.55 proporciona una lista de los diferentes controles automáticos.

Elemento de la Planta	Control Automático	Función
Alimentador en Frío de Agregado	Operadores de la compuerta de la Tolva	Variar la abertura de la compuerta para controlar la cantidad de material medido
	Transmisión de la Correa Alimentadora	Variar la velocidad de la correa para controlar la cantidad de material medido en cada compartimiento
Sistema de Asfalto	Calentador del Tanque	Mantiene la temperatura correcta del asfalto
	Bomba	Controla el tiempo y la tasa de alimentación
	Cubeta	Pesa, dentro de tolerancias, la cantidad de asfalto necesaria en la carga; entrega asfalto al amasadero
Sistema de relleno mineral	Elevador, Tornillo	Cesa la alimentación cuando se entrega el peso correcto
Secador	Quemador	Ajusta la tasa de calentamiento para calentar los agregados a la temperatura correcta
Colector de Polvo	Controlador de Motor	Activa la unidad cuando la planta se pone en marcha
Tolvas Calientes	Indicador	Muestra el nivel de material
Tolva pesadora	Balanzas	Pesa, dentro de tolerancias, la cantidad de cada agregado que se necesita en la carga; cesa el pesaje si hay muy poco de algún material.
	Operador de Compuerta	Descarga la carga completa dentro del mezclador y cierra la compuerta
Amasadero	Ciclado	Repite las cargas para producir una carga total
	Mezclador	Regula el tiempo de ciclado de la mezcla húmeda
	Operador de la Compuerta del Mezclador	Descarga la carga terminada dentro del transportador y cierra la compuerta.

FIGURA 4.55 - Controles Automáticos para Planta de Dosificación

El control automático de cada ciclo supe agregados y asfalto de acuerdo a una fórmula de carga previamente establecida. La apertura y el cerrado de la tolva de pesaje, la compuerta de descarga, la válvula de asfalto, y la compuerta de descarga del amasadero, se efectúan automáticamente, sin ningún control manual. El sistema incluye dispositivos medidores de tiempo, previamente ajustados, para controlar el periodo deseado del ciclo de mezclado húmedo. También incluye equipo automático

para determinar si las cantidades extraídas están dentro de los límites de las especificaciones. El ajuste de estos dispositivos debe ser revisado por lo menos una vez por semana para verificar su exactitud.

El control automático de proporcionamiento y el control automático de ciclado trabajan juntos a través de dispositivos de control, previamente ajustados. El inspector debe familiarizarse con la planta en que se encuentre trabajando, y debe saber como revisar el funcionamiento del sistema de control.

El control automático del secador regula automáticamente la temperatura de los agregados descargados por el secador, dentro de un margen de temperatura previamente ajustado.

El tablero de control de dosificación contiene todos los interruptores y circuitos para una dosificación automática, incluyendo los controles para fijar de antemano el peso de la carga, controles de enclavamiento, controles de tolerancia, e interruptores limitadores. La consola del tablero esta generalmente localizada en un cuarto separado (Figura 4.56), con aire acondicionado, para aislar los efectos del calor, el polvo, y la vibración, los cuales pueden causar problemas de funcionamiento en el sistema.

La unidad de registro está conectada a los circuitos de las básculas. La unidad provee, automáticamente, un registro de los pesos de materiales incorporados en cada carga de mezcla. El registro puede estar en forma de gráfico continuo en donde una línea continua representa pesos de material; o puede estar en forma de cinta continua con números impresos que representan pesos de dosificación.

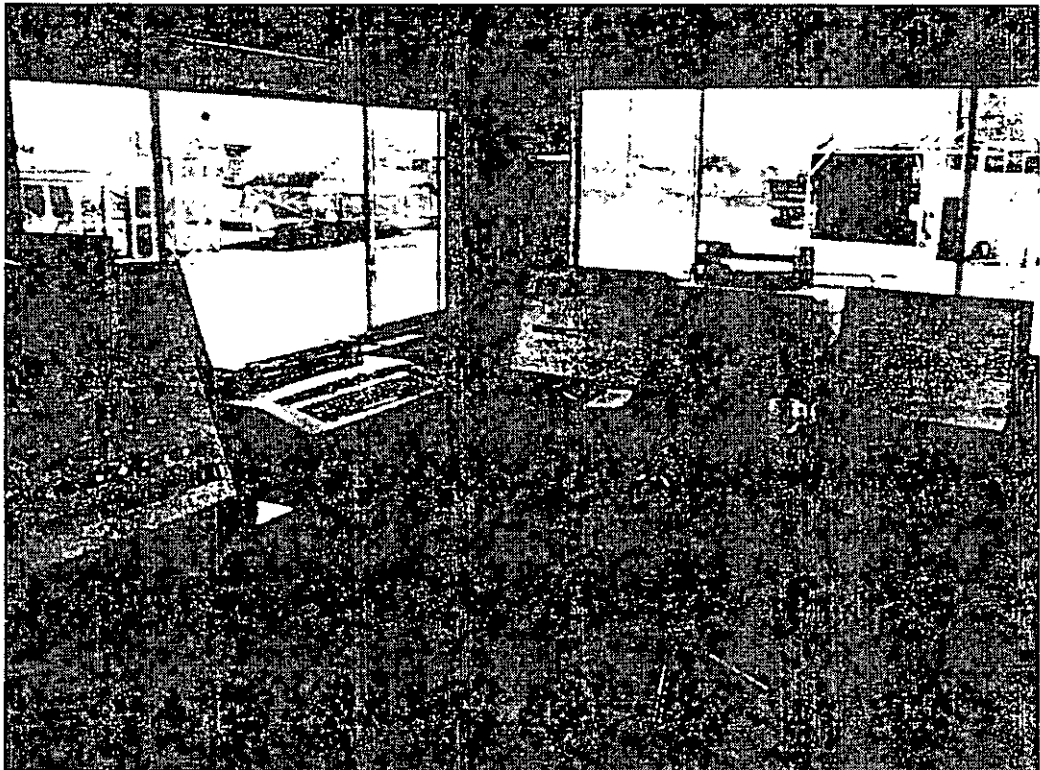


FIGURA 4.56 - Pasos en un Ciclo Típico de una Planta de Dosificación.

NORMAS PARA INSPECCIÓN DE PLANTAS

Ciertas funciones y componentes básicos de una planta deben ser inspeccionados regularmente para garantizar que la planta sea capaz de producir una mezcla en caliente conforme con especificaciones, sin importar si el sistema es manual, semiautomático o totalmente automático. A continuación se presenta una lista de partidas que el inspector deberá revisar en todo tipo de plantas de dosificación.

Partidas para la Inspección de la Planta de Dosificación

1. Observe el proporcionamiento exacto de la alimentación en frío de agregados.
 - Para garantizar la combinación correcta de materiales que cumpla con la fórmula predeterminada de la mezcla de obra.
 - Para garantizar el balance correcto de material en las tolvas calientes.
2. Las básculas ajustan en cero correctamente y miden con precisión.
 - Los sistemas de palancas de las básculas están limpios.
 - En las básculas, todas las barras de palancas, los soportes de cuñas, etcétera, deberán estar protegidos donde sea posible.
3. La cubeta de asfalto esta correctamente tarada.
4. La caja pesadora de agregado esta colgando libremente.
5. Condición y funcionamiento del mezclador.
 - Las partes del mezclador están en buena condición y están ajustadas.
 - La cantidad correcta de carga esta siendo mezclada.
- 6 Tiempo suficiente de mezclado
- 7 Distribución uniforme de asfalto y agregado en el amasadero
- 8 Escapes de válvulas y compuertas que necesitan ser reparados
- 9 Temperatura correcta del agregado y el asfalto cuando estos materiales son introducidos a los receptáculos pesadores
- 10 Cribas desgastadas o dañadas
- 11 Contenido de humedad del agregado después de que sale del secador
- 12 Todos los requerimientos correctos de seguridad están en orden

Las siguientes partidas deberán añadirse ala lista del inspector en las plantas donde se usa un panel automático de control

Partidas para la Inspección del Panel Automático de Control

- 1 Los datos de entrada o de la fórmula están correctos
- 2 La secuencia de extracción de las tolvas esta correcta.
- 3 El interruptor automático esta en la posición "ON"
- 4 Los medidores de tiempo del mezclado están correctamente ajustados
- 5 Todos los interruptores de control están en la posición correcta.

El inspector deberá revisar, regularmente, las siguientes partidas, si la planta utiliza un dispositivo automático de registro

Partidas para la Inspección del Registrador Automático

- 1 Los listados concuerdan precisamente con las cantidades de entrada de material y con las lecturas de báscula.
2. Los listados del agregado están referenciados correctamente a las tolvas correspondientes.
3. El teclado del registrador esta cubierto.
4. Las lecturas de los listados permanecen continuas.

OPERACIONES DE LA PLANTA MEZCLADORA DE TAMBOR

El propósito de esta sección es describir las funciones específicas de una planta mezcladora de tambor, y desarrollar en el inspector las habilidades necesarias para garantizar que la planta trabaje de una manera tal que produzca una mezcla que cumpla con las especificaciones de la obra. Específicamente, al completar el estudio de esta sección, el inspector deberá ser capaz de:

- ▣ Conocer los componentes principales de una planta mezcladora de tambor.
- ▣ Explicar el propósito de cada componente.
- ▣ Describir como trabaja cada componente.
- ▣ Esbozar el proceso a medida que los materiales pasan a través de la planta de tambor.
- ▣ Reconocer los problemas potenciales que pueden ocurrir durante la operación de la planta y describir las medidas apropiadas para prevenir dichos problemas.
- ▣ Dictar las medidas necesarias que se deben tomar para corregir cualquier deficiencia que se detecte en la mezcla.

Adicionalmente, el inspector deberá tener una buena consciencia de los peligros potenciales asociados con plantas mezcladoras de tambor, y de la necesidad de estar constantemente alerta sobre prácticas inseguras.

Adicionalmente, el inspector deberá tener una buena consciencia de los peligros potenciales asociados con plantas mezcladoras de tambor, y de la necesidad de estar constantemente alerta sobre prácticas inseguras.

INTRODUCCIÓN

El mezclado de tambor es un proceso relativamente simple para producir mezcla asfáltica en caliente. El tambor mezclador (Figura 4.57), de donde la planta obtiene su nombre, es muy parecido en apariencia al tambor secador de una planta de dosificación. La diferencia entre ambos tipos de plantas es que en las plantas mezcladoras de tambor el agregado es secado y calentado dentro del tambor, junto con el cemento asfáltico. En una planta mezcladora de tambor no hay cribas de graduación, tolvas calientes, tolvas de pesaje o amasaderos. La graduación del agregado es controlada en el alimentador en frío.



FIGURA 4.57 - Planta Mezcladora de Tambor.

La rotación del tambor provee la acción mezcladora que combina totalmente el cemento asfáltico con los agregados. Una vez que la mezcla es descargada del tambor, esta es transportada a un depósito de compensación de donde es, posteriormente, cargada en camiones.

HISTORIA DE LAS PLANTAS MEZCLADORAS DE TAMBOR

El mezclado de tambor de materiales de concreto asfáltico fue introducido, originalmente, alrededor de 1910. Mas de cien plantas pequeñas mezcladoras de tambor fueron operadas hasta mediados de los años treinta, siendo entonces reemplazadas por plantas mezcladoras continuas y plantas de dosificación de mayor capacidad. El proceso de mezclado de tambor fue resucitado en forma mas avanzada a finales de los años sesenta. -

En años recientes, las planta mezcladoras de tambor, también llamadas mezcladores de tambor y tambores secadores, han llegado a ser ampliamente usadas en la industria de mezclas asfálticas en caliente. Después de ser introducidas en gran escala a principios de los años setenta, las plantas mezcladoras de tambor rápidamente adquirieron popularidad entre los contratistas debido a su portabilidad, eficiencia y economía. Los mezcladores de tambor también tienen la habilidad de producir grandes cantidades de mezcla de alta calidad a temperaturas relativamente bajas.

Varios procesos de mezclado en tambor han sido desarrollados tanto en Estados Unidos como en Europa. Común a cada proceso es el calentamiento, secado y revestimiento del agregado con cemento asfáltico, dentro del tambor secador.

OPERACIONES Y COMPONENTES DE LA PLANTA MEZCLADORA DE TAMBOR

Los componentes principales de una planta mezcladora de tambor (Figura 4.58) son:

- Tolvas de agregado de alimentación en frío.
- Sistema de transporte y pesado de agregado.
- Mezclador de tambor.
- Sistema colector de polvo.
- Transportador de mezcla en caliente.
- Silo de compensación para mezcla.
- Cabina de control.
- Tanque de almacenamiento de asfalto

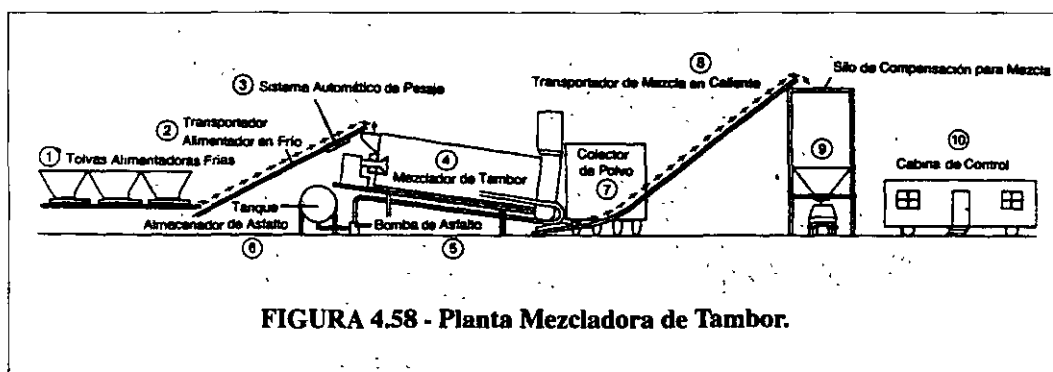


FIGURA 4.58 - Planta Mezcladora de Tambor.

A continuación, y haciendo referencia a la Figura 4.58, se presenta una descripción breve y general de la secuencia de los procesos involucrados en la operación de una planta típica mezcladora de tambor. Las graduaciones controladas de agregado son depositadas en las tolvas de alimentación en frío (1) de donde proporciones exactas son alimentadas a un transportador de alimentación en frío (2). Un sistema automático de pesaje (3) monitorea la cantidad de agregado que entra al mezclador de tambor (4). El sistema de pesaje está entrelazado con los controles de la bomba de asfalto (5), la cual extrae asfalto del tanque de almacenamiento (6) y lo envía al tambor. La acción rotatoria del tambor combina totalmente el asfalto y el agregado. Un sistema colector de polvo (7) atrapa el exceso de polvo que escapa del tambor. Después de salir del tambor, la mezcla en caliente es transportada por un transportador de mezcla en caliente (8) hacia el silo de compensación (9) de donde es cargada en los camiones y luego transportada al sitio de pavimentación. Todas las operaciones de la planta son monitoreadas y controladas con instrumentos que se encuentran en la cabina de control (10).

El proceso de mezclado es esencialmente el mismo en todas las plantas mezcladoras de tambor. Sin embargo, los métodos usados para alimentar el material al secador pueden variar.

La producción de una mezcla en caliente que cumpla con las especificaciones de la obra se logra, mas fácilmente, cuando las diversas partes y funciones de la planta están balanceadas; o sea, cuando están correctamente coordinadas para trabajar juntas como una sola unidad. Una operación uniforme (sin interrupciones) de planta es también esencial para la producción de una mezcla asfáltica en caliente de alta calidad. El proporcionamiento exacto de los materiales depende, en su totalidad, del flujo uniforme de esos materiales. Las interrupciones y puestas en marcha de la planta afectan desfavorablemente la calidad de la mezcla.

El siguiente equipo de control es requerido en todas las plantas, para garantizar el balance y la uniformidad que se necesita para producir una mezcla en caliente de concreto asfáltico que cumpla con todas las especificaciones:

- ▣ Controles separados de alimentación en frío para cada tamaño de agregado.
- ▣ Controles de enclavamiento para la alimentación en frío del agregado, la entrega de asfalto y la entrega de aditivos al tambor.
- ▣ Controles automáticos para el quemador.
- ▣ Colector principal de polvo que pueda re-alimentar material al sistema o que pueda desechar el polvo.
- ▣ Sensores para medir la temperatura de la mezcla caliente en la descarga del tambor.
- ▣ Controles de compuertas en el depósito de compensación.
- ▣ Compensador de humedad.

Los controles y los dispositivos de monitoreo están usualmente localizados en la cabina de control, en donde hay una buena visibilidad de toda la operación de la planta.

ALIMENTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DEL AGREGADO

En una planta mezcladora de tambor, la graduación y la uniformidad de la mezcla dependen completamente del sistema de alimentación en frío. Se debe ejercitar un cuidado apropiado en la producción, y en el almacenamiento, del agregado. El contratista deberá proveer la mejor manera de recibir y manejar los agregados, de tal forma que no haya peligro de contaminación ni entremezclado de material. Esto significa, entre otras cosas, proveer superficies limpias en donde puedan colocarse los materiales.

Los apilamientos deben estar correctamente graduados, por lo cual se recomienda dividirlos en fracciones de diferentes tamaños. Existen diferentes prácticas con respecto a los tamaños de agregados que son separados en diferentes apilamientos. Sin embargo, para mezclas bien- graduadas con tamaño máximo de 12.5 mm a 25 mm (1/2 a 1 pulgada), se deben construir al menos dos acopios. Para mezclas con tamaño máximo mayor a 25 mm (1 pulgada) puede ser deseable dividir el agregado en tres acopios. Sin esta separación puede ser difícil mantener un control correcto sobre la granulometría.

La segregación puede prevenirse si se construyen los acopios en capas de hasta 1.2 metros (4 pies) de espesor, y si se remueve el agregado de las partes superiores del acopio para minimizar los derrumbes de las pendientes.

Los acopios segregados ocasionan problemas en la graduación de la mezcla si no se corrige la segregación antes de que el material entre a la sección mezcladora de la planta. Es la decisión del operador de la planta optar establecer y mantener acopios no-segregados, o por construir acopios de la manera más económica y después corregir deficiencias en la uniformidad antes de que el agregado sea alimentado a la sección mezcladora de la planta. Todos los esfuerzos deberán estar dirigidos a producir, en la sección mezcladora, la combinación correcta de agregados uniformemente graduados, sin importar la forma como se maneje el material.

El agregado debe ser proporcionado antes de entrar al tambor mezclador, debido a que la planta mezcladora de tambor no contiene una unidad cribadora como la que existe en la planta de dosificación. La manera más eficiente de lograr esto es mediante el uso de un sistema de alimentación en frío de tolvas múltiples equipado con bandas alimentadoras de alta precisión. Debajo de cada tolva hay una banda alimentadora que recibe la proporción correcta de cada agregado. Controles de alta precisión (Figura 4.59) son usados para alimentar las proporciones exactas sobre la banda.

La planta deberá estar equipada con medios para obtener muestras representativas de agregado de cada alimentador individual, y del alimentador total. El inspector, o el técnico, tendrá que efectuar un análisis granulométrico del agregado seco obtenido en estas muestras.

El control de la alimentación en frío consiste de lo siguiente:

1. Análisis granulométrico del agregado de cada tolva.
2. Calibración de los alimentadores - abertura de compuerta y velocidad de banda.
3. Establecer proporciones de las tolvas.
4. Fijar las aberturas de las compuertas y las velocidades de las bandas.

Una vez calibradas, las aberturas de las compuertas deberán revisarse frecuentemente para garantizar que estén correctamente ajustadas. Todos los ajustes deberán considerarse como temporales puesto que el agregado frío usado en la mezcla puede variar en granulometría y en contenido de humedad, y esto puede requerir de ajustes posteriores en las compuertas para poder mantener un flujo uniforme.

Para poder calibrar el sistema medidor de agregados y poder trazar gráficos de la capacidad del alimentador en frío es necesario usar un dispositivo, o método, de muestreo. El dispositivo deberá permitir que el flujo de agregado sea desviado hacia un recipiente colector para poder hacer revisiones precisas de peso sobre muestras cronometradas de agregado (Figura 4.60). Dichos dispositivos son usualmente instalados en el extremo de la banda transportadora, justo antes de la entrada al mezclador de tambor.

Las plantas mezcladoras de tambor requieren de un sistema continuo de pesaje en las bandas transportadoras de alimentación en frío. Los sistemas de pesaje de banda, también conocidos como puentes-báscula (Figura 4.61), son dispositivos continuos de pesaje usados para este propósito. La combinación de agregados que

pasa sobre la banda transportadora es continuamente pesada, y una lectura (en la cabina de control) indica el peso del material que esta sobre la báscula, en un instante dado. Ningún material deberá ser desviado de la banda transportadora después de que pase por el sistema de pesaje de banda.

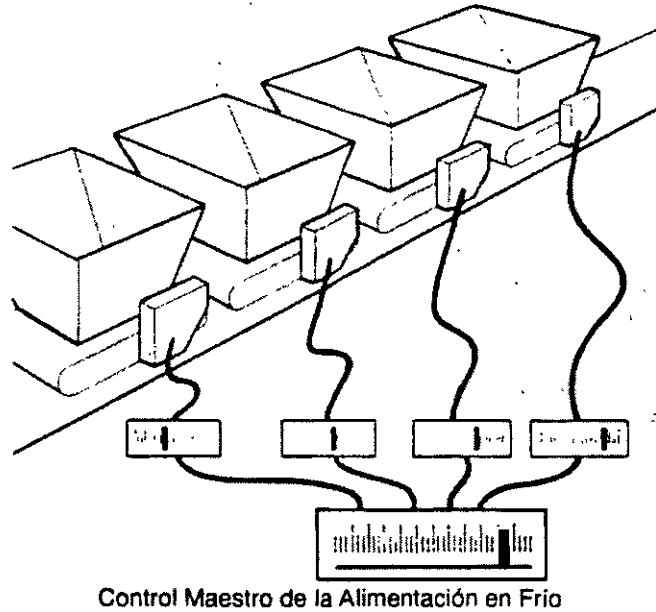


FIGURA 4.59 - Control Maestro de Alimentación en Frío.

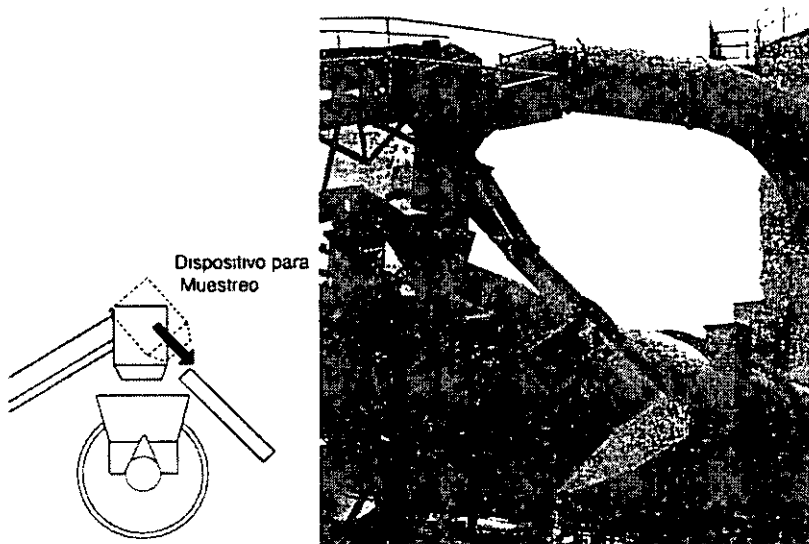


FIGURA 4.60 - Dispositivo Típico de Muestreo.

La Figura 4.61 muestra una de las guías del sistema de pesaje de banda (designada la guía pesadora), la cual aparece montada sobre un portador pivotado de báscula. A medida que la banda cargada pasa sobre esta guía, el peso es registrado en toneladas por hora, y una lectura es mostrada en la consola de control que se encuentra en la cabina de control. Esta lectura es normalmente corregida para dar cuenta de la humedad en el agregado (puesto que los datos del agregado seco son usados para establecer el porcentaje requerido de asfalto), siendo una lectura importante en el monitoreo de las operaciones de la planta.

El sistema de pesaje de banda esta usualmente localizado, a mitad de camino, entre la cabeza y el cabo de la polea de la banda transportadora de alimentación en frío. Esta ubicación tiende a disminuir las variaciones en la lectura que pueden ser ocasionadas por impactos en la distribución de cargas, por retroceso del agregado, o por cambios en la tensión de la banda. Se pueden proveer medios para desviar los agregados hacia los camiones, los cargadores de tractor, u otros recipientes, en el caso de tener que revisar la precisión del sistema de pesaje de banda. El sistema deberá tener una precisión de ± 0.5 por ciento.

En las plantas mezcladoras de tambor el agregado es pesado antes de ser secado. Es importante obtener una medida precisa del contenido de humedad del agregado, debido a que el agregado sin secar puede tener una cantidad apreciable de humedad, la cual puede llegar a afectar su peso. A partir de la medida de humedad se pueden hacer ajustes en el sistema (automático) medidor de asfalto, para garantizar que la cantidad de asfalto descargada en el tambor sea la adecuada para la cantidad usada de agregado (sin humedad).

El inspector deberá monitorear el contenido de humedad del agregado frío antes de comenzar las operaciones del día, y luego, alrededor del medio día. El contratista deberá ajustar el equipo de control de humedad de acuerdo a las observaciones del inspector. El contenido de humedad deberá ser revisado con más frecuencia si se sospechan variaciones durante el día. El contenido de humedad puede ser determinado manualmente o electrónicamente. Deberá haber provisiones para corregir y convertir electrónicamente las lecturas de peso de agregado húmedo en lecturas de peso de agregado seco.

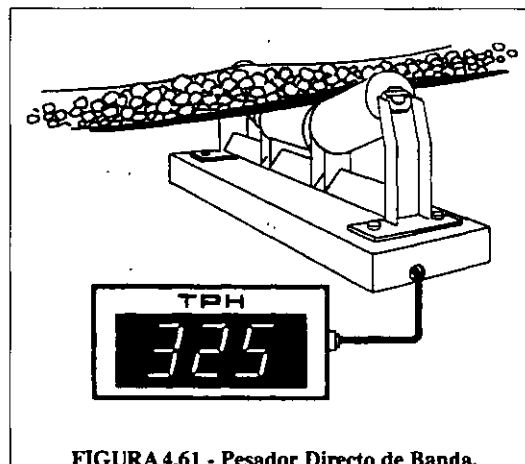


FIGURA 4.61 - Pesador Directo de Banda.

MEDICIÓN DE ASFALTO

Generalmente, el mezclador de tambor esta equipado con un dispositivo (Figura 4.62) para añadir asfalto.

El sistema medidor de distribución de asfalto es un sistema mecánico continuo de proporcionamiento, enclavado con el sistema de pesaje de agregado para garantizar el contenido exacto de asfalto en la mezcla. El peso de agregado que va en el mezclador, tal como es medido por el sistema de pesaje de banda, es la base para determinar la cantidad de asfalto que debe ser descargada en el tambor.

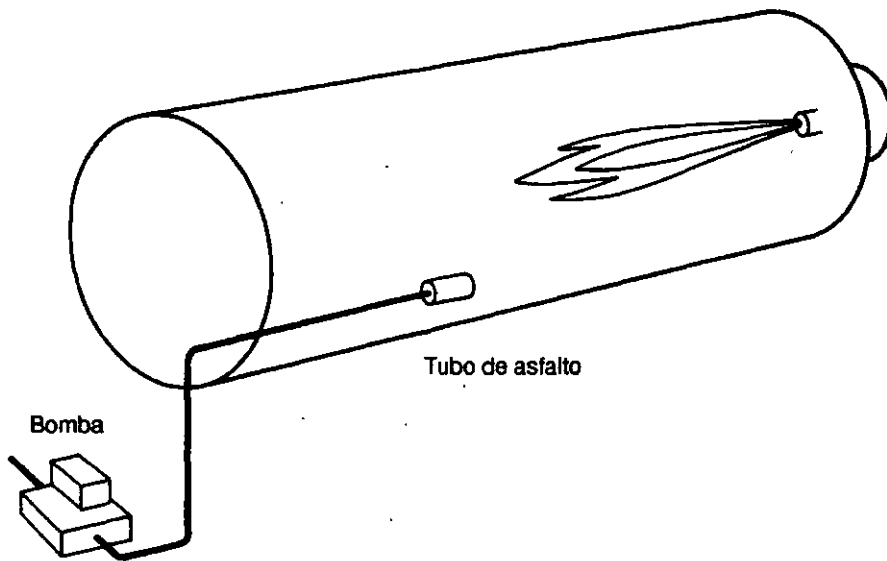


FIGURA 4.62 - Entrada de Asfalto.

La proporción de asfalto se obtiene al establecer la cantidad de descarga (en galones por minuto) necesaria para que concuerde con la cantidad de descarga de agregado (en toneladas de agregado seco por hora). La cantidad de descarga de asfalto es aumentada o disminuida proporcionalmente, de acuerdo a la medida corregida de peso seco del agregado que esta pasando sobre la báscula de banda. La cantidad de descarga de asfalto es indicada por un contador que se encuentra sobre el panel de control

Típicamente, las cantidades de descarga de agregado y de cemento asfáltico son registradas en gráficas circulares de registro continuo, localizadas en la cabina de control. Las gráficas proveen un registro permanente, y un monitoreo, del proporcionamiento de cemento asfáltico y agregado.

OPERACIÓN DEL MEZCLADO POR TAMBOR

Descripción General

El corazón de la planta mezcladora de tambor es el mezclador en si. El mezclador es similar en su diseño y construcción al secador rotatorio de una planta de dosificación, excepto que un mezclador de tambor no solamente seca el agregado sino que también lo combina con el asfalto para formar la mezcla en caliente.

El mezclador de tambor puede ser dividido en dos zonas o secciones: (1) una zona primaria o de radiación, y (2) una zona secundaria o de convección y revestimiento (Figura 4.63).

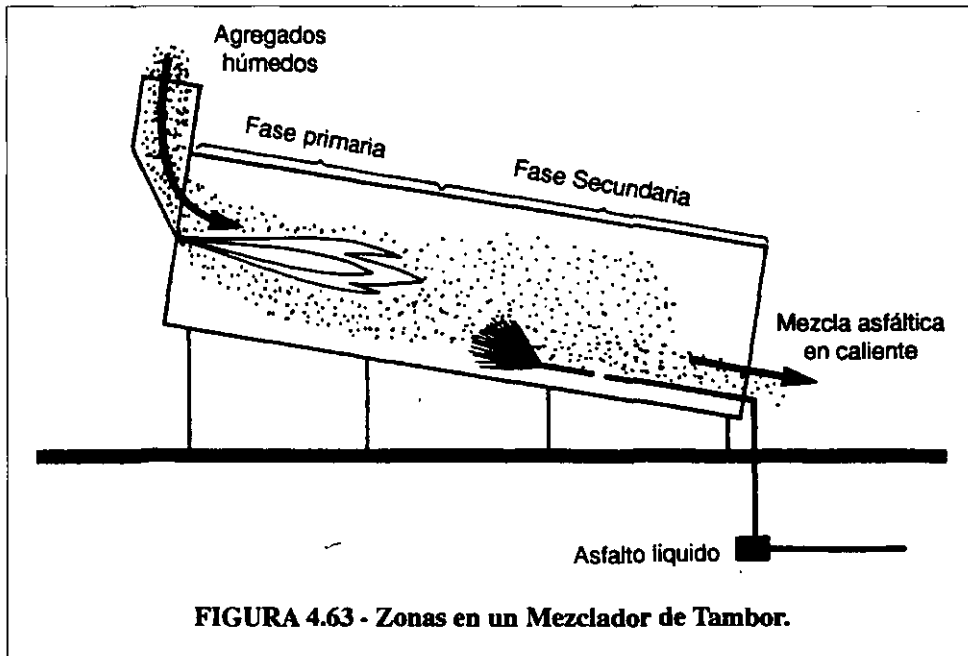


FIGURA 4.63 - Zonas en un Mezclador de Tambor.

Los agregados entran en la zona primaria, en donde son calentados y secados por medio del quemador. Después pasan a la zona secundaria en donde el asfalto es añadido y mezclado completamente con el agregado. En esta zona también hay un secado continuo por convección. La mezcla de asfalto caliente, junto con la humedad proveniente del agregado, produce una masa espumosa que atrapa el material fino (polvo) y ayuda en el revestimiento de las partículas gruesas.

Es importante, dentro del tambor, que el agregado no solo gire con la acción rotatoria del tambor, sino que también se extienda lo suficiente para que el secado y calentamiento de todas las partículas sea eficiente y rápido. Los tambores están equipados con espas para dirigir el flujo de agregado y esparcirlo en forma de cortina a través de la sección transversal.

Unas espas de espiral, localizadas en el extremo de carga (quemador) del tambor, dirigen el agregado húmedo hacia el interior para lograr una distribución uniforme de

material. Luego unas aspas ahusadas levantan los agregados y los dejan caer en una cortina pareja a través de la llama del quemador. Las aspas siguientes dirigen el agregado a través del tambor, y continuamente lo dejan caer en forma de cortina a través de la sección transversal del tambor.

La temperatura de mezcla es monitoreada continuamente mediante un dispositivo sensor localizado en el extremo de descarga del mezclador. Los registradores de temperatura y otros indicadores se encuentran en la cabina de control, junto con los controles del quemador.

Deberá haber un medio apropiado para inspeccionar y muestrear la mezcla en la descarga del tambor.

CONTROL Y OPERACIÓN DEL QUEMADOR

El propósito del quemador que está dentro del mezclador de tambor es proveer el calor necesario para calentar y secar los agregados usados en la mezcla final. Los quemadores proporcionan este calor al quemar combustible - aceite, gas, o ambos.

Una vez el aceite combustible es quemado, se procede a utilizar tirajes de aire de baja presión para atomizar el combustible. Los quemadores que usan gas natural, y gas licuado de petróleo, pueden ser unidades de baja o alta presión. En cualquier caso, el alimentador de combustible y el ventilador de aire deben estar balanceados para garantizar que las proporciones correctas de aire y combustible sean incorporadas en el quemador, y así poder lograr una combustión eficiente. Una falta de balance puede ocasionar una combustión incompleta del combustible, la cual, especialmente en el caso de combustible de petróleo o combustible diesel, puede dejar un revestimiento aceitoso sobre las partículas de agregado.

Estas faltas de balance entre la alimentación de combustible y el flujo de aire pueden ser corregidas disminuyendo la tasa de alimentación de combustible, o aumentando la cantidad de aire del ventilador.

SILO DE COMPENSACIÓN Y BÁSCULAS DE PESAJE

En la operación de una mezcladora de tambor, la cual produce un flujo continuo de mezcla en caliente, es necesario tener un silo de compensación para almacenar temporalmente el material y para controlar el cargamento de los camiones. Un sistema de pesaje puede estar conectado a la tolva de retención del silo para monitorear la cantidad de material que es cargada en cada camión. Las mediciones de peso son normalmente registradas por un panel de control de pesaje, localizado en la cabina de control.

RESUMEN DE MEZCLADORES DE TAMBOR

Los componentes principales de una planta mezcladora de tambor han sido discutidos, junto con la necesidad de un control estrecho de la granulometría del agregado en las tolvas frías, y del agregado y del asfalto que entran en el mezclador de tambor. También se discutieron las funciones principales del mezclador de tambor, en el cual se combinan los materiales para formar una mezcla asfáltica en caliente.

Es necesario seguir los procedimientos de inspección de plantas mezcladoras de tambor, para garantizar que los materiales sean correctamente proporcionados y mezclados a la temperatura deseada. Estos procedimientos incluyen la inspección del equipo de proporcionamiento, el muestreo y los ensayos de la granulometría del agregado, la determinación del contenido de humedad del agregado, y el control de la temperatura de la mezcla. Deberán analizarse, frecuentemente, muestras de la mezcla en caliente para determinar si el concreto asfáltico producido cumple o no con las especificaciones de la obra.

2.3. Tipos de mezcla asfáltica

MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA CAPAS DE RODADURA

Mezclas Espaciales (de bajo espesor < 4 CM)

- ▣ Mezclas Porosas o Drenantes
- ▣ Microaglomerados
- ▣ SMA
- ▣ BBTM

MEZCLAS DE BAJO ESPESOR

- ▣ Son mezclas asfálticas elaboradas y colocadas en caliente o elaboradas y colocadas a temperatura ambiente, cuyo espesor está comprendido entre 10 y 40 mm.
- ▣ Son capas o sobrecapas no-estructurales o funcionales, (los estructurales se aplican entre 5 y 10cm de espesor).
- ▣ Se utilizan en sobrecapas (sobrecarpetas) o en construcciones nuevas.
- ▣ En general, estas mezclas están destinadas al mantenimiento preventivo de pavimentos, donde obtiene el máximo costo-beneficio. También pueden ser aplicadas en operaciones de mantenimiento correctivo poniendo énfasis en la preparación de la superficie de apoyo.

MEZCLAS DE BAJO ESPESOR

Principales beneficios de estas mezclas:

- ▣ mejor textura superficial
- ▣ mayor resistencia al deslizamiento
- ▣ adecuada resistencia a fatiga y deformación permanente
- ▣ mayor durabilidad
- ▣ son reciclables
- ▣ menor sonoridad
- ▣ superior drenabilidad superficial, etc.

No obstante las ventajas enumeradas, estos sistemas son más sensibles tanto a la calidad de los materiales como a los procesos constructivos y no corrigen defectos estructurales.

MEZCLAS DE BAJO ESPESOR

Las encuestas sobre caminos siguen mostrando que lo más importante en el sistema de carreteras para el usuario es la condición del pavimento.

Se establece claramente que una de las prioridades para mejorar las carreteras es enfocar esfuerzos y actuar en la calidad de la superficie del camino: capas de rodadura, seguras, cómodas y durables.

MEZCLAS DE BAJO ESPESOR

Las mezclas asfálticas de bajo espesor se ubican entre los tratamientos superficiales/lechadas (10 mm) y las mezclas convencionales (50 mm) con importantes ventajas sobre los mismos.

Las mezclas elaboradas y colocadas en caliente se denominan Mezclas Asfálticas en Caliente de Bajo Espesor o Thin-Hot Asphalt Mixtures y sus espesores van de 15 a 40 mm.

Los tamaños máximos de agregados rondan los 10 a 14 mm, con elevados contenidos de filler y ligante asfáltico entre 5,5 y 7%.

- Un factor común a todos los sistemas de bajo espesor es que son muy sensibles a la condición de la superficie de apoyo, a la calidad de los materiales y a los procesos constructivos. Se requieren agregados, filler, asfalto y aditivos de alta calidad junto con adecuadas técnicas de elaboración y colocación.

MEZCLAS DE BAJO ESPESOR

La misión de estos sistemas de pavimentación de bajo espesor es la de preservar y/o mejorar la funcionalidad del pavimento. Estos sistemas no pretenden mejorar estructuralmente al pavimento sino proteger a la estructura a la vez de proveer una calzada segura, confortable, durable y de agradable aspecto.

Tabla 2 Factores que gobiernan la Funcionalidad de un Pavimento

1. SEGURIDAD	<ul style="list-style-type: none"> • resistencia al deslizamiento • macro y micro-texturas • drenaje superficial • back-spray • lisura • reflectancia • demarcación horizontal
2. PROTECCION DE LA ESTRUCTURA	<ul style="list-style-type: none"> • durabilidad
3. CONFORT	<ul style="list-style-type: none"> • nivel de ruido • rugosidad
4. ESTETICA	<ul style="list-style-type: none"> • uniformidad

MEZCLAS DE BAJO ESPESOR

Las mezclas de bajo espesor se aplican fundamentalmente en el mantenimiento preventivo de los pavimentos, esto es, en operaciones de mantenimiento que preserven todavía buen estado de la estructura.

También se aplican en pavimentos nuevos para proveer de las necesarias condiciones de seguridad y confort que una mezcla convencional no podría aportar.

- ▣ Pavimentos durables solamente con renovación periódica superficial.
- ▣ Una aplicación interesante es en autopistas donde se busca principalmente aplicar técnicas de rápida extensión en toda la superficie, de alta durabilidad, y en lo posible libre de mantenimiento. Al mismo tiempo debe pensarse que la prioridad la constituye la seguridad tanto durante los trabajos como después de habilitado el sector tratado. Minimizar las interrupciones al flujo de tránsito y extender el intervalo de operaciones de rehabilitación son los objetivos primordiales de toda autopista.

MEZCLAS DE BAJO ESPESOR

Dentro de los factores a considerar para la optimización de aplicación de una mezcla asfáltica en bajo espesor se pueden citar:

- ▣ La condición estructural-funcional del pavimento
- ▣ La selección de la formulación a emplear
- ▣ El porcentaje de tránsito pesado existente
- ▣ El tipo de pavimento
- ▣ Las condiciones de drenaje superficial y sub superficial
- ▣ El clima

MEZCLAS DE BAJO ESPESOR

Se pueden distinguir tres categorías bien diferenciadas:

- ▣ Los tratamientos de elevada fricción
- ▣ Las mezclas asfálticas convencionales de bajo espesor
- ▣ Las mezclas especiales

Entre los primeros sé destacan las capas laminares de alta fricción desarrolladas por los ingleses y que consisten en aplicaciones de ligantes tipo resma epoxi y áridos artificiales (bauxita calcinada) para ser aplicados en lugares donde se requiere una elevada fricción.

Las mezclas densas en caliente son muy conocidas y la única diferencia con respecto a mezclas de espesores mayores de 40 mm está en el tamaño máximo nominal que suele ser de 10 mm.

Entre las mezclas especiales se deben mencionar: las mezclas porosas, los microaglomerados en caliente, las Stone-Mastic Asphalt, las mezclas ultradelgadas francesas y las mezclas drenantes fibro-asfálticas.

MEZCLAS DE BAJO ESPESOR

Se pueden distinguir tres categorías bien diferenciadas:

- Los tratamientos de elevada fricción
- Las mezclas asfálticas convencionales de bajo espesor
- Las mezclas especiales

Las características que definen estos tipos de mezclas asfálticas en caliente con respecto a las mezclas convencionales son:

- Espesores menores o iguales a 40 mm
- Agregados totalmente provenientes de la trituración de rocas sanas y de alta calidad
- Filler de calidad
- Cementos asfálticos modificados
- Granulometrías especiales
- Estabilizantes

Por su espesor se dividen en Finas, Muy Finas y Ultrafinas. Por sus granulometrías se dividen en Densas con continuidad, Densas con discontinuidad y Abiertas.

MEZCLAS DE BAJO ESPESOR

Las mezclas densas y las abiertas han sido empleadas durante años en los EE. UU. y Europa; la mayoría de los países tienen especificaciones para estas mezclas.

Las mezclas densas discontinuas son una tecnología emergente desarrollada en Europa. Se pueden utilizar diversos tipos de mezclas discontinuas, tales como la Stone Matrix Asphalt, Novachip, Savepave, los microaglomerados, etc. Estas mezclas se utilizan principalmente para obtener superficies con alta macrotextura, suficiente resistencia al deslizamiento, protección de la estructura y mayor durabilidad.

MEZCLAS DE BAJO ESPESOR

En las mezclas densamente graduadas, con curvas continuas, la distribución de tamaños de agregados se realiza de manera que los vacíos de las fracciones gruesas sean llenados por las fracciones finas dejando espacio suficiente para el ingreso del ligante y vacíos de aire. De esta manera la estabilidad de la mezcla se logra a través de la sucesión de contactos entre las distintas fracciones con un mínimo de asfalto y de vacíos de aire.

Las mezclas abiertas y porosas son diseñadas para tener una estructura granular muy abierta con un alto contenido de vacíos (12 al 20 y más de 20%) para promover el drenaje del agua a través de la misma. Por tanto tienen baja estabilidad y se aplican en bajos espesores. En su diseño se tiene en cuenta el área superficial de los agregados y ensayos de drenaje de asfalto.

MEZCLAS DE BAJO ESPESOR

En las mezclas discontinuas las partículas minerales más grandes se soportan entre sí formando un esqueleto mineral que será el encargado de transmitir cargas. Los vacíos son llenados por un mastic rico en asfalto y filler, y eventualmente fibras. No existe la fracción intermedia. Los microaglomerados y la Stone-Mastic Asphalt son las más conocidas.

- Constructivamente las mezclas delgadas son elaboradas en las mismas plantas asfálticas para mezclas convencionales (¿?). En lo referente a su aplicación algunos tipos de mezclas discontinuas requieren equipos de extensión especiales. La compactación se realiza normalmente con rodillo liso sin vibrar y debe realizarse en forma inmediata para evitar enfriamientos.

Tabla 4 Comparación de Algunos Parámetros de Dosificación entre Mezclas Densas, Densas-Discontinua y Abierta

	DENSAS	DENSA DISCONTINUA	ABERTA
Agregado Grueso, (ret.2,35mm)%	49	70	88
Agregados Intermedio y Fino, (pasa 2.36 mm)%	45	20	10
Filler (pasa 0,074 mm), %	6	10	2
Contenido de Asfalto, %	4,5-5,3	5,5-7	4,0-5,0
Relación F/B	0,6-1,2	1,5	0,3
Vacíos de la Mezcla Compactada, %	3-5	3-5	18-25
Vacíos del Agregado Mineral, min.%	12-13	17	NA
Espesor, mm	50-60	20-30	20-40
Tamaño Máximo Nominal, mm	18-25	10-14	10-14
Estabilizante	No requiere	Asfalto modificado o fibras	asfalto modificado
Densidad gr/cm ³	2,38	2,38	2,10

MEZCLAS DE BAJO ESPESOR

Existen tres niveles o categorías de mantenimientos:

Preventivo, correctivo y de emergencia.

La diferencia estriba en el estado del pavimento al momento de la intervención y tiene gran influencia en el costo-efectividad del tratamiento utilizado.

En este sentido, las mezclas de bajo espesor tienen un gran potencial como tratamiento preventivo para preservar la estructura y extender la vida útil del pavimento.

Como regla general, solamente aquellos pavimentos que exhiban una condición estructural buena son candidatos para el mantenimiento preventivo.

Como tratamientos a utilizar se puede nombrar los tratamientos con riegos de ligante y agregados, tratamientos de rellenado y sellado de fisuras, chip seal, slurry seal, los micro-aglomerados y las mezclas de bajo espesor.

Tabla 5 Observaciones del Comportamiento de Tratamientos en Mantenimiento Preventivo

TRATAMIENTO	EDAD DEL PAVIMENTO	FRECUENCIA	INCREMENTO DE VIDA ÚTIL
<i>Relleno de Fisuras</i>	5-6	2-4	2-4
<i>Chip-Seal</i>	7-8	5-6	5-6
<i>Chip-Seal Múltiple</i>	7-8	5-6	5-6
<i>Slurry Seal</i>	5-10	5-6	5-6
<i>Micro-Aglomerados</i>	9-10	5-6	5-6
<i>SMA y Superpave Gap-graded</i>	9-10	9-10	7-8

Las investigaciones de Geoffroy quien condujo una evaluación de 60 agencias de caminos en los EE. UU. sobre los beneficios de los mantenimientos preventivos aplicados. Gran parte del éxito a obtener con la aplicación de tratamientos preventivos se basa en la condición existente del pavimento

MEZCLAS DE BAJO ESPESOR

Gran parte del éxito a obtener con la aplicación de tratamientos preventivos se basa en la condición existente del pavimento.

Tabla 6 Fallas en los Pavimentos Flexibles y Técnicas de Mantenimiento Preventivo

CATEGORIA DE FALLA	TIPO DE FALLA	TRATAMIENTO A APLICAR
FISURAMIENTO	portatiga	No es aplicable
	en bloque (bajo a moderado)	Tratamientos en Frío, Mezclas Finas en Caliente, Chip Seal
	de borde	Relleno sellado
	Longitudinal	Relleno sellado
	Reflejado	Relleno sellado
BACHES	Transversales	Relleno sellado
	bacheas y zonas parchadas	No es aplicable si son zonas extensas
DEFECTOS SUPERFICIALES	Deformaciones Permanentes	-Micro-aglomerado
	-densificación	No es aplicable
	-inestabilidad	No es aplicable
	Deformaciones Plásticas	No es aplicable
	Exudaciones Leves	-Fresado y Micro-aglomerado
Agregados Pulidos	Micro-aglomerado, SMA, Chip Seal	
Desprendimientos	Fog Seal, Lechada, Micro-aglomerado, Chip Seal, SMA	

MEZCLAS DE BAJO ESPESOR

Los factores que gobiernan el diseño y el comportamiento de las mezclas delgadas son los siguientes:

- Granulometría y calidad de los agregados contenido y tipo de ASFALTO adherencia permeabilidad o impermeabilidad de la mezcla facilidad de compactación textura y resistencia al deslizamiento durabilidad en el tiempo.

Por otra parte el diseño comprende dos aspectos que las diferencian de otras mezclas:

- el diseño de la textura superficial
- y el diseño de la estructura interna de la mezcla

MEZCLAS DE BAJO ESPESOR

Estas mezclas no se diseñan estructuralmente dado que no se considera, por lo general, su aporte estructural aun cuando en algunos casos sí lo tienen.

Se deben tener en cuenta el tránsito, el clima, la calidad de los materiales y sus proporciones y algunas consideraciones constructivas. Los esfuerzos tangenciales del tránsito, la abrasión y densificación producida por el mismo son parámetros a tener en cuenta.

Hasta el presente no se tiene un procedimiento de diseño racional standard. Los procedimientos de diseño son empíricos y tienen mucha influencia en el micro-aglomerado: se utilizan ensayos de abrasión, densificación, y compatibilidad; en las mezclas en caliente se utilizan el Marshall, Compresión-Inmersión y Drenaje de Asfalto.

Se utiliza el criterio de análisis volumétrico en base al Marshall con 50 golpes por cara, pero el mismo no es adecuado y se requieren ajustes en obra. El diseño volumétrico Superpave es más racional y se lo utiliza para mezclas convencionales, no debe utilizarse para estas mezclas hasta que no se realicen las adaptaciones necesarias.

MEZCLAS POROSAS O DRENANTES

MEZCLAS POROSAS

- Un pavimento está constituido por un conjunto de capas horizontales cuya función es transmitir a la subrasante las sollicitaciones del tráfico suficientemente amortiguadas para que puedan ser soportadas por ésta.
- Al mismo tiempo ha de proporcionar una superficie de rodadura cómoda y segura para la circulación de los vehículos.
- Al proyectar un pavimento suele darse gran atención a su función estructura/y no se da tanta importancia a su aspecto funcional. Sin embargo, esta

característica del pavimento es fundamental y cada vez va teniendo más peso a medida que los usuarios y colindantes exigen unas mayores cotas de calidad y bienestar.

MEZCLAS POROSAS

Las características o cualidades funcionales del pavimento residen fundamentalmente en su superficie. De su acabado y de los materiales que se hayan empleado en su construcción dependen aspectos tan interesantes y preocupantes para los usuarios como:

- la adherencia de/neumático al pavimento
- el ruido en e/ exterior y en el interior del vehículo
- las proyecciones de agua en tiempo de lluvia
- la resistencia a la rodadura (consumo de combustible)
- las propiedades ópticas
- el desgaste de los neumáticos
- el envejecimiento de los vehículos

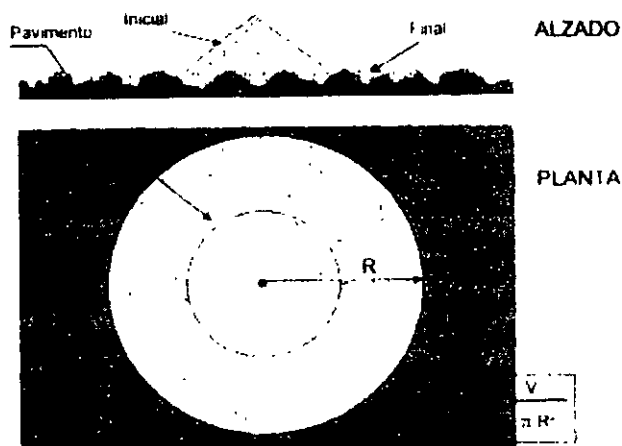
MEZCLAS POROSAS

Tales aspectos funcionales del pavimento están principalmente asociados con la textura y regularidad superficial del pavimento.

Dentro de la textura se suele distinguir entre la microtextura, que son las irregularidades superficiales del pavimento menores de 0.5 mm, la macrotextura, que son las irregularidades de 0.5 a 50 mm, y la megatextura, irregularidades de 50 a 500 mm. La primera sirve para definir la aspereza del pavimento, la segunda su rugosidad y la tercera está más asociada con los baches o peladuras que puede haber en el pavimento.

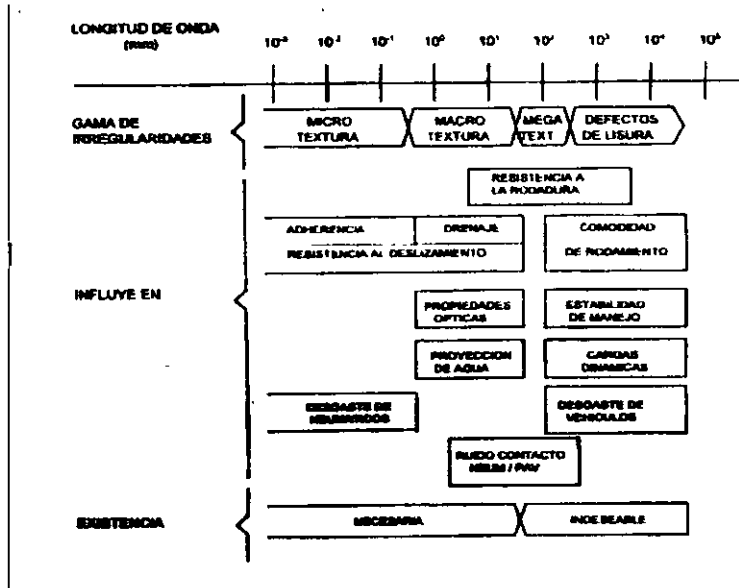
La irregularidad superficial está asociada con ondulaciones de longitudes de onda mayores de 0.5 m.

Prueba del círculo de arena



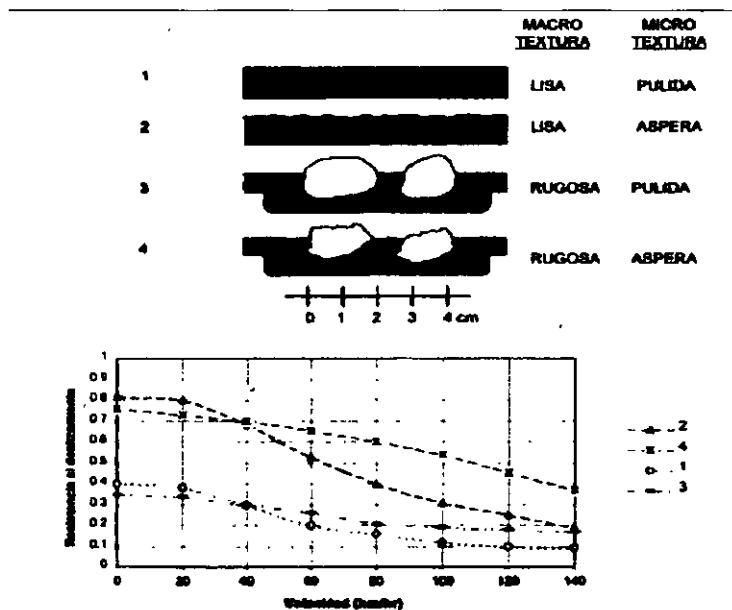
MEZCLAS POROSAS

Efecto de las características superficiales sobre las cualidades funcionales del pavimento.



MEZCLAS POROSAS

Efecto de las características superficiales sobre la resistencia al deslizamiento.



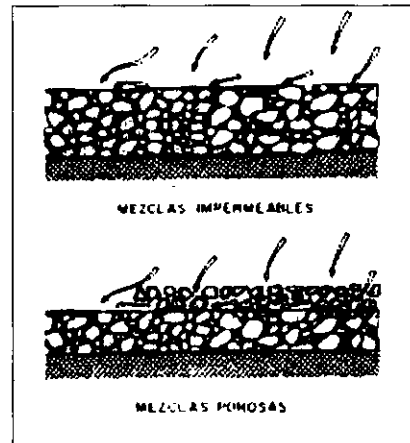
MEZCLAS POROSAS

Del análisis la tabla se deduce que es difícil optimizar a la vez todas las cualidades funcionales de los pavimentos. Así, por ejemplo, al aumentar la macrotextura del pavimento para mejorar la seguridad se produce como contrapartida un aumento del ruido de rodadura.

No obstante, desde hace tiempo, los técnicos de carreteras están luchando por mejorar en todos los sentidos las capas de rodadura.

En la década de los 80, fueron las mezclas drenantes, y hoy en día se han optimizado las características de los materiales empleados en capa fina, microaglomerados, habiéndose conseguido unos materiales idóneos para su uso en pavimentación, con mejores prestaciones que las mezclas convencionales utilizadas como capas de rodadura.

MEZCLAS POROSAS



- En esencia este tipo de mezclas consisten en colocar en los 3-5 centímetros superiores de los pavimentos, una mezcla porosa que actúa como capa de rodadura drenante.
- Esta capa absorbe y elimina el agua de la superficie del pavimento, conduciéndola a su través hacia las zonas laterales fuera de la calzada.

MEZCLAS POROSAS

De esta manera se consigue prácticamente eliminar el problema de hidropneumático.

De tal forma, estas mezclas cambian el concepto tradicional de impermeabilizar la superficie de la carretera, trasladando esta función a la capa inferior o a la interfase entre ambas.

MEZCLAS POROSAS

Además, el empleo de estas capas manifiesto, respecto a los convencionales, otra serie de importantes como la anterior.

1. Elimina el agua proyectada y pulverizada por el paso de los vehículos
2. Evita la reflexión de la luz.
 - Con lluvia se produce con facilidad la reflexión de la luz sobre los pavimentos lisos e impermeables. Al eliminar los el agua de la superficie del pavimento, se eliminan también los fenómenos de reflexión de la luz y mejoran notablemente las condiciones de visibilidad del conductor. Por otra parte, las oquedades que presenta la mezcla contribuyen a resaltar la señalización horizontal.

Ventajas

3. Brinda una macrotextura elevada, adecuada para mantener la adherencia neumático- pavimento a altas velocidades

Las capas de rodadura drenantes presentan una superficie lisa, sin resaltos, pero con numerosas oquedades. Estas oquedades, comunicadas entre si confieren a/pavimento una alta macrotextura, del orden de 1,5 a 2,5 mm de profundidad, medida con el ensayo de mancha de arena.

4. Pavimento de rodadura cómoda y silenciosa

En los pavimentos densos, un aumento de macrotextura supone un aumento del nivel sonoro, mientras que estos pavimentos, a igual textura, son más silenciosos e incluso absorben el ruido del motor

MEZCLAS POROSAS

Ventajas

La reducción de ruido producida por una capa de rodadura drenante respecto a una capa densa del mismo espesor, depende de su espesor y del porcentaje de vacíos (Descornet, 1988):

$$\Delta L = 0,005.n.e$$

siendo:

ΔL = reducción del ruido, dB (A)

n = vacíos en mezcla, %

e = espesor de la capa de rodadura, mm

Esto quiere decir que se puede obtener una reducción significativa de ruido, del orden de 4 dB(A), si se emplea una capa drenante de 4 cm de espesor y un porcentaje de vacíos superior al 20%.

	Umbral de audición
< 50	Ningún efecto dañino
55	Nivel de falta de confort para un porcentaje de la población
65	Nivel de aceptabilidad
> 75	Deterioro de la capacidad auditiva
> 85	Molestias
120	Nivel de saturación del oído humano

Ruido de rodadura en el interior y exterior del vehículo

TIPO DE PAVIMENTO	DIFERENCIAS DE NIVEL SONORO (en decibelios)	
	EXTERIOR	INTERIOR DEL VEHICULO
AGLOMERADO BITUMINOSO DENSO	0	0
AGLOMERADO DRENANTE	-2	+1
TRATAMIENTO SUPERFICIAL	+2	+2
HORMIGON CON GRAVILLAS INCRUSTADAS (tamaño grueso)	+6	+5
HORMIGON RANURADO LONGITUDINALMENTE	+3	+2
HORMIGON ESTRIADO TRANSVERSALMENTE	+6	+4
ADOQUIN	+7	+16

FACTOR AFECTADO	CARACTERISTICAS	PROPIEDAD DEL PAVIMENTO		
		MICROTEXTURA	MACROTEXTURA	MEGATEXTURA
ACCIDENTES	ADHERENCIA	⊕ ⊕ ⊕	⊕ ⊕	
	CONTACTO ALUMINICO PAVIMENTO			⊖ ⊖
	PROYECCION DE AGUA		⊕ ⊕	
	ESTABILIDAD DEL VEHICULO			⊖ ⊖
	PERICULOSIDAD OPTICAS		⊕ ⊕	
EXPLOTACION (Consumo de lubricantes, calentamiento, averías, desgaste, etc)	DESGASTE DE NEUMATICOS	⊖ ⊖		
	RESISTENCIA A LA RODADURA		⊖ ⊖	⊖
	DEGRADACION DEL NEUMATICO			⊖
RUIDO	AVERIAS MECANICAS			⊖
	RUIDO INTERIOR RUIDO DEL TRAFICO (Vehículo)			⊖ ⊖

⊕ Propiedad del pavimento que ejerce una influencia positiva sobre la característica correspondiente. Del a mayor a menor, las influencias son: ⊕ ⊕ ⊕, ⊕ ⊕, ⊕, ⊖ ⊖, ⊖ ⊖, ⊖, ⊖.

⊖ Propiedad del pavimento que ejerce una influencia negativa sobre la característica correspondiente. Del a mayor a menor, las influencias son: ⊖ ⊖, ⊖ ⊖, ⊖, ⊕ ⊕, ⊕ ⊕, ⊕, ⊕.

MEZCLAS POROSAS

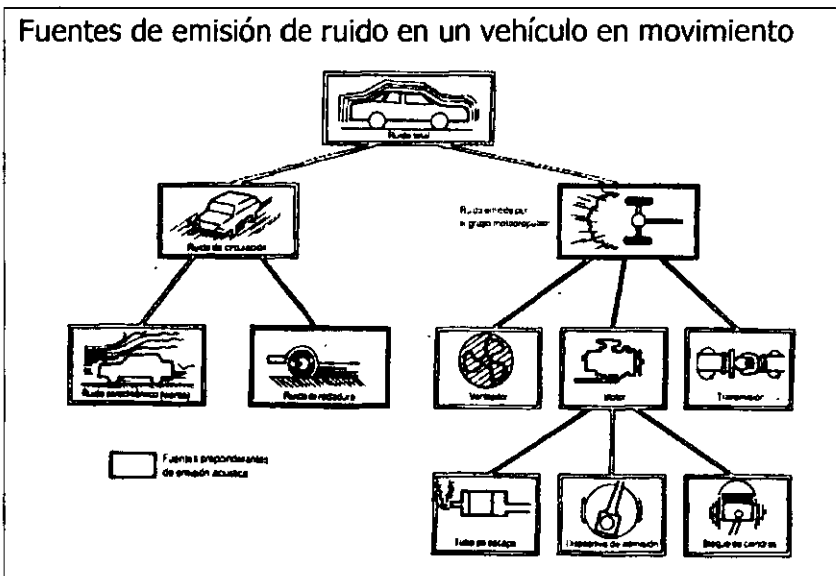
Calificación dada por el Comité de Características Superficiales de la AIPCR a los diferentes tipos de pavimentos:

Únicamente las capas de rodadura drenantes obtienen la máxima calificación en todos los aspectos analizados, de los que depende fundamentalmente la seguridad y comodidad del tráfico.

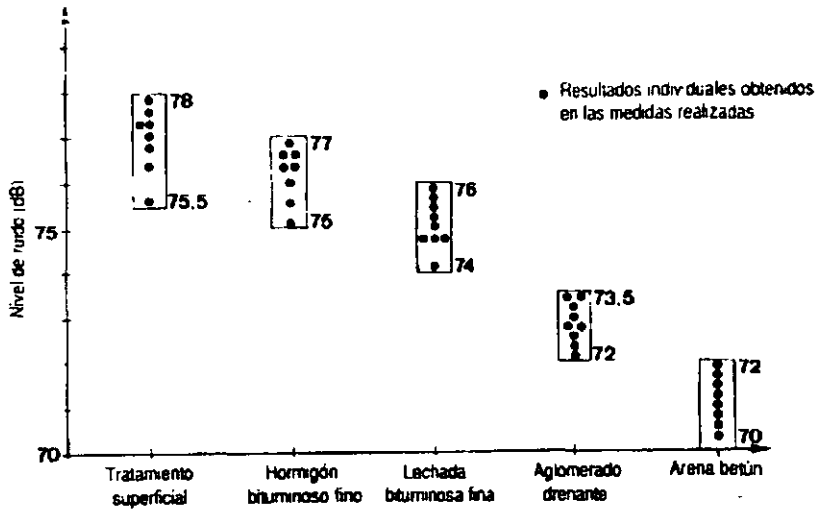
Tipo de Pavimento	Ruido		Seguridad		Comodidad	
	1	2	3	4	5	6
MEZCLAS CONVENCIONALES DE TRÁFICO COMÚN	○	○	●	○	○	○
MEZCLAS CONVENCIONALES DE TRÁFICO PESADO	○	○	●	○	○	○
MEZCLAS CONVENCIONALES CONVENCIONALES	○	○	●	○	○	○
MEZCLAS DRENANTES	○	○	○	○	○	○
MEZCLAS CONVENCIONALES CON GRANULAS PERMEABLES EN SUPERFICIE	○	○	○	○	○	○
MEZCLAS FINAS Y MEDIANAS	○	○	●	○	○	○
MEZCLAS DE TRÁFICO COMÚN	○	○	●	○	○	○
MEZCLAS CONVENCIONALES CONVENCIONALES	○	○	●	○	○	○
MEZCLAS CONVENCIONALES CONVENCIONALES	○	○	●	○	○	○
MEZCLAS CONVENCIONALES CONVENCIONALES	○	○	●	○	○	○

○ Muy buena ○ Buena ● Moderada ● Mala ● A mejorar

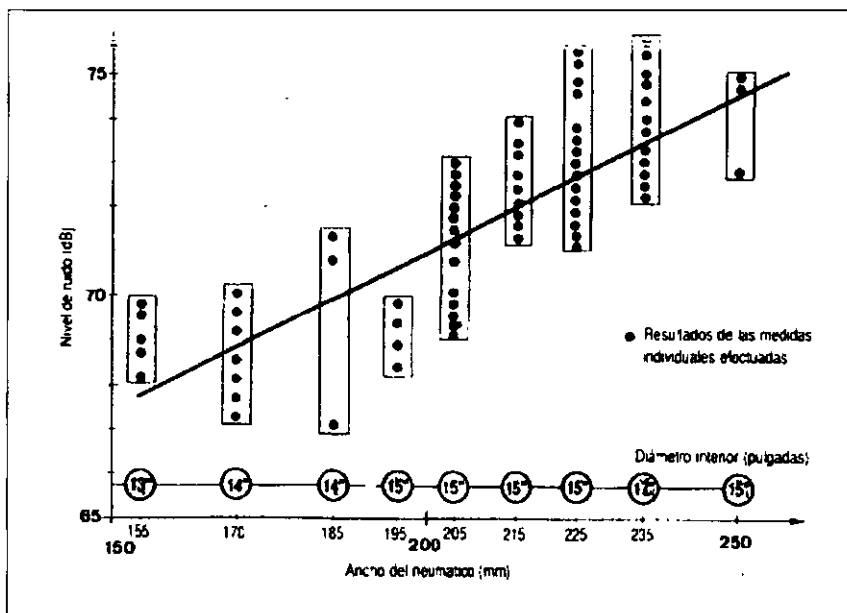
MEZCLAS POROSAS



MEZCLAS POROSAS



MEZCLAS POROSAS



MEZCLAS POROSAS

INFLUENCIA DEL DESGASTE DE LA ESCULTURA SOBRE EL RUIDO Y LA ADHERENCIA (MICHELIN)

			CRT VACIO-CARGA	TIEMPO DEL RECORRIDO VACIO-CARGADO
LISO	85 ± 0,5 dB	123 metros	0,07-0,11	44 seg-35,5 seg
NUEVO	87,5 ± 0,5 dB	80 metros	0,26-0,24	23 seg-24 seg

(*) Ensayo efectuado sobre pista de hormigón de radio 35 metros a velocidad máxima

MEZCLAS POROSAS

NUEVOS	0,53	23 m	
SEMI-DESGASTADOS	0,48	26 m	TUR.S.M.O.S
DESGASTADOS	0,28	45 m	
NUEVOS	0,30	47 m	
SEMI-DESGASTADOS	0,23	76 m	PI.S.M.O.S
DESGASTADOS	0,17	97 m	

MEZCLAS POROSAS

Ruido emitido por dos vehículos en los que se confirma el predominio del ruido de rodadura sobre el ruido del motor para velocidades mayores a 60 km/h.

Michelin

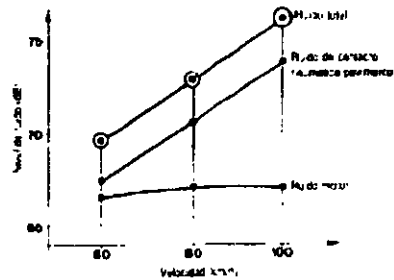
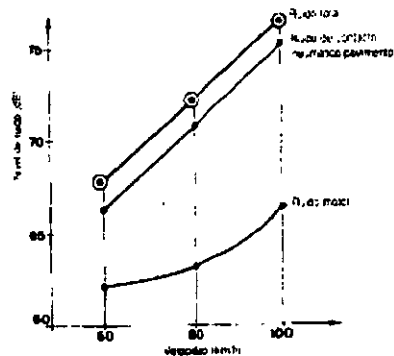


FIGURA 25



MEZCLAS POROSAS

Junto con estas ventajas, este tipo de pavimento presenta una serie de limitaciones e inconvenientes que han de ser tenidos también en cuenta para su correcto uso y proyecto.

Desventajas

Estos inconvenientes hacen referencia a:

- Durabilidad
- Colmatación
- Conservación invernal
- Comportamiento mecánico

MEZCLAS POROSAS

Desventajas

Durabilidad

El mayor porcentaje de vacíos de estas mezclas puede favorecer la acción oxidante y de envejecimiento de los agentes atmosféricos. No obstante, este proceso de deterioro se ve contrarrestado por la mayor riqueza de asfalto de estas mezclas, con una espesa película de asfalto recubriendo los agregados

El alto contenido de vacíos también puede favorecer el efecto de desenvuelta del asfalto por el agua, fallo que se produciría en el caso de existir una mala adhesividad entre el agregado y el asfalto o en el caso de usar filleres hidrofílicos.

MEZCLAS POROSAS

Desventajas

Colmatación

Una de las principales preocupaciones que plantea la utilización de las mezclas porosas es la progresiva colmatación de sus vacíos. Esta colmatación es tanto más lenta cuanto mayor es el porcentaje inicial de vacíos en mezcla.

Para conseguir una buena drenabilidad y que ésta se mantenga en el transcurso del tiempo es necesario emplear mezclas con un 20% mínimo de vacíos.

MEZCLAS POROSAS

Desventajas

Colmatación

En España y Francia se han llegado a emplear mezclas con un 25-27% de vacíos.

La colmatación también se retarda empleando granulometrías de tamaño máximo igual o superior a 11 mm. Cuanto mayor es el tamaño del agregado más grandes son los vacíos y mayores los diámetros de los conductos de comunicación entre poros, aunque por contra, aumenta el ruido de rodadura. Así, al aumentar el tamaño máximo del agregado empleado de 8 a 11 mm o de 11 a 16 mm, se produce un incremento de ruido de 2 dB(A).

MEZCLAS POROSAS

Desventajas

Colmatación

- Los esfuerzos de succión del tráfico tienen un efecto descolmatador, manteniendo alta la permeabilidad del pavimento cuando la polución no es muy alta, caso por ejemplo de autopistas y autovías.
- Por el contrario, en zonas de fuerte polución, acotamientos sin pavimentar, zonas urbanas, se produce una fuerte colmatación que puede dar al traste con la permeabilidad del pavimento de no tomar ciertas precauciones, como por ejemplo, el empleo de máquinas de descolmatación, que son efectivas cuando se emplean de forma preventiva, antes de que se produzca la colmatación.

MEZCLAS POROSAS

Desventajas

Colmatación

TIPO DE CARRETERA	DURACIÓN DE LA EFICACIA DE LA REDUCCIÓN DEL RUIDO (años)
Calles	2
Autopistas urbanas	3 - 5
Carreteras Nacionales con mucha circulación	3 - 7
Autopistas en zona rural	5 - 8

MEZCLAS POROSAS

Desventajas

Adherencia

De las capas de rodadura drenantes ha preocupado la adherencia del neumático con el pavimento en tiempo seco. Esto es debido a la menor superficie real de contacto que se establece entre el neumático y la superficie porosa y a que en su puesta en servicio están los agregados péteros cubiertos por el asfalto y ofrecen una textura pulida.

La distancia de frenado (ruedas bloqueadas) sobre una capa de rodadura drenante nueva, es del 20 al 25% mayor que sobre un pavimento denso. No obstante, cuando las ruedas del vehículo no se bloquean (frenos ABS) las distancias de frenado son comparables.

La película de asfalto que recubre los agregados desaparece en los 3-6 meses primeros y entonces se incrementa la desaceleración de frenado.

MEZCLAS POROSAS

Desventajas

Adherencia

Con agua, la adherencia sobre un pavimento drenante es mucho mejor Aunque ésta sea una ventaja para emplear este tipo de mezcla, donde no hay o no pueden usarse agregados de adecuada resistencia al deslizamiento, no parece que deba permitirse, salvo casos excepcionales, el empleo de agregados pulimentables, ya que disminuiría aún más su adherencia en seco y se incrementa la desaceleración de frenado.

MEZCLAS POROSAS

Desventajas

Seguridad en la conducción

Aunque a priori pudiera pensarse que el empleo de capas de rodadura drenantes puede influir de forma muy positiva en la circulación vial y disminuir el número de accidentes con lluvia, al eliminar el problema de hidropneumático y reducir el agua salpicada y pulverizada, las estadísticas muestran resultados contradictorios.

Parece ser que la mejora de la calidad de rodadura con lluvia aumenta también la velocidad de circulación, con lo que su efecto puede ser compensado.

Algunos países señalan un aumento de la peligrosidad en condiciones invernales al producirse con mayor facilidad la escarcha y/o placas de hielo. Esto es debido a que los aglomerados drenantes se enfrían más que los densos, pudiendo encontrarse a una temperatura 2 ó 3° C inferior.

MEZCLAS POROSAS

Desventajas

Conservación invernal

Es en su conservación invernal donde estos pavimentos presentan un comportamiento más problemático y costoso que los pavimentos densos convencionales. En primer lugar está la posibilidad de que la escarcha y las placas de hielo se produzcan a una temperatura 2 o 3° C superior que sobre un aglomerado denso.

Esto lleva a tener que realizar tratamientos preventivos con salmuera durante más días, que, además, hay que realizar con doble frecuencia que en una mezcla densa, ya que, dada su porosidad, desaparece su efecto con mayor rapidez.

Cuando nieva, no hay diferencia entre el tratamiento de los aglomerados drenantes y los densos. Se utilizan las máquinas quitanieves y se esparce sal al mismo tiempo. Cuando deja de nevar los aglomerados drenantes necesitan una mayor dotación de sal para eliminar la nieve y evitar su congelación.

MEZCLAS POROSAS

Desventajas

Comportamiento mecánico

La mayoría de los países consideran que la mezcla drenante tiene menor capacidad estructural que una densa, del 50 al 75%, es decir, que 4 cm de una mezcla porosa

equivalen a 2-3 cm de una mezcla densa convencional, aunque esta relación varía mucho en función del tipo de pavimento y de las condiciones ambientales.

Únicamente en España se considera que ambas capas son equivalentes; se llegó a esta conclusión tras la realización de los primeros tramos experimentales, donde se observó que las capas de rodadura densa y porosa tenían la misma capacidad de refuerzo y producían la misma reducción de la deflexión.

MEZCLAS POROSAS

Desventajas

Comportamiento mecánico

Las mezclas drenantes presentan una elevada resistencia a las deformaciones plásticas. La observación de las obras en servicio pone de manifiesto que el fallo de estas capas se produce por disgregación, como consecuencia de una falta de cohesión de la mezcla para poder resistir adecuadamente los esfuerzos de succión y tangenciales del tráfico. Es necesario proporcionarle una cohesión y trabazón apropiada y de ello nos hemos de preocupar fundamentalmente en su proyecto.

MEZCLAS POROSAS

Desventajas

Comportamiento mecánico

En España, desde el principio de su empleo, las mezclas porosas se han diseñado en base a su porosidad y su resistencia al desgaste, evaluada por el ensayo cántabro de pérdida por desgaste. Esto ha permitido poner siempre en obra mezclas de unas buenas características, que se han comportado adecuadamente, y que, cuando han fallado de forma rápida, los ensayos han mostrado que era debido a falta de compactación, o al empleo de finos de mala calidad que han disminuido la cohesión de la mezcla en presencia de agua. Por ello, es muy conveniente evaluar la mezcla en el ensayo cántabro en húmedo, que nos servirá para conocer la adhesividad agregado-asfalto y la pérdida de cohesión de la mezcla en presencia de agua.

La duración de esta capa de rodadura, según la experiencia francesa, es de 8-12 años, semejante al promedio de tiempo correspondiente a las renovaciones con pavimentos densos; la experiencia belga ha mostrado que se puede prolongar la vida útil mejorando las propiedades del asfalto y, según la española, el comportamiento de la mezcla drenante es mejor que la densa. Por ello, es muy conveniente evaluar la mezcla en el ensayo cántabro en húmedo, que nos servirá para conocer la adhesividad agregado-asfalto y la pérdida de cohesión de la mezcla en presencia de agua.

MEZCLAS POROSAS

Desventajas

Comportamiento mecánico

Respecto a su reparación y mantenimiento, las actuaciones van desde la simple reparación local, en que se retira el material dañado, se recuadra la zona, se cortan los bordes verticalmente y se extiende una nueva capa de rodadura drenante, a las actuaciones generalizadas, donde sobre la capa drenante se coloca una lechada bituminosa, un microaglomerado, una mezcla densa o de nuevo otra capa drenante, dependiendo del estado en que se encuentra el pavimento, de su capacidad estructural y de su deterioro superficial.

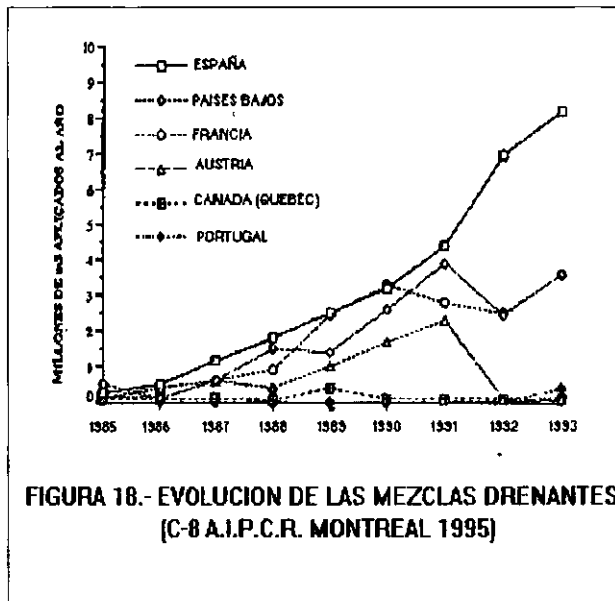
MEZCLAS POROSAS

Desventajas

Impacto ambiental

En las mezclas drenantes se está evaluando su capacidad para reducir el ruido y su potencial para filtrar el agua de la lluvia y absorber gran parte de la contaminación y metales pesados que arrastra. Por otra parte, también se quiere estudiar el efecto que el aumento de la dotación de sal para la conservación invernal puede tener sobre el índice de cloruros de las aguas y afectar la flora y la fauna de los ríos.

MEZCLAS POROSAS



**FIGURA 18.- EVOLUCION DE LAS MEZCLAS DRENANTES.
(C-8 A.I.P.C.R. MONTREAL 1995)**

MEZCLAS POROSAS**Composición y proyecto**

- Una mezcla porosa depende fundamentalmente de la granulometría empleada. Esta debe ser abierta, limitándose en un 10-20%, y muy generalmente entre 10-15%, el contenido de material que pasa por el tamiz 2.5 UNE, es decir el agregado fino.
- En la Orden Circular No. 289/89 T del MOPU, "Recomendaciones sobre mezclas bituminosas en caliente", se incluyen 2 granulometrías P-12 y PA-12 usados para estas mezclas.

MEZCLAS POROSAS**Composición y proyecto**

TAMIZ UNE	P 12	PA 12
20	100	100
12,5	75 – 100	70 – 100
10	60 – 90	50 – 80
5	32 – 50	15 – 30
2,5	10 – 18	10 – 22
0,63	6 – 12	6 – 13
0 08	3 – 6	3 – 6

MEZCLAS POROSAS**Composición y proyecto**

El material granular a emplear en la fabricación de mezclas porosas deberá cumplir las exigencias habituales del PG-3 para mezclas asfálticas. No se requiere ninguna propiedad especial:

- Agregados limpios, duros, procedentes de trituración de piedras de cantera o grava natural.
- Coeficiente de desgaste de Los Ángeles <20%
- C.P.A. > 0.45%
- Índice de lajas <25
- Índice de adhesividad árido fino.> 4
- Equivalente de arena de la mezcla de los agregados> 50%

MEZCLAS POROSAS

Composición y proyecto

El filler, dada su especial importancia sobre la cohesión de la mezcla, será de buena calidad. No podrán utilizarse arenas o agregados finos con filleres de malas características, salvo que estos sean eliminados. Normalmente, será de aportación en un 50% de su peso o prácticamente en su totalidad.

El asfalto a emplear será de alta penetración, B-60/70 ó B 80/100. El uso de asfaltos más duros repercute desfavorablemente sobre la resistencia del desgast& de la mezcla. El contenido de asfalto habitualmente utilizado para estas mezclas oscila entre el 4,5 y el 5,5% en peso sobre agregados.

Se puede recurrir a fibras o asfaltos especiales si se desea mejorar las características de la mezcla. El empleo de asfaltos especiales, normalmente cementos de penetración a los que se ha incorporado un elastómero, permite conseguir mezclas muy permeables dotadas de una alta resistencia a la disgregación.

MEZCLAS POROSAS

Composición y proyecto

Para el proyecto y dosificación de las mezclas drenantes se siguieron inicialmente los procedimientos y metodologías empleados para las mezclas abiertas definir por una parte las propiedades y características de los materiales que las componen y determinar el contenido de asfalto basándose fundamentalmente en la superficie específica de los agregados, método del equivalente centrifugo de keroseno (C.K.E.), y comprobando que no haya escurrimiento de asfalto mediante ensayos de drenabilidad. Ningún ensayo era empleado para su caracterización y evaluación funcional, lo que imposibilitaba la optimización de sus propiedades.

MEZCLAS POROSAS

Composición y proyecto

Fue en España donde se abordó por primera vez la caracterización de estas mezclas mediante un ensayo mecánico que estuviera relacionado con su modo de deterioro, desarrollándose un método y que ha tenido una gran difusión y aceptación más allá de las fronteras del país. El procedimiento desarrollado es el ensayo cántabro de pérdida por desgaste, que permite valorar la resistencia de la mezcla a su descarnadura por los impactos y efectos abrasivos del tráfico.

MEZCLAS POROSAS**Composición y proyecto**

Los criterios de proyecto de estas mezclas, recogidos en la Orden Circular No. 299/89T del MOPU, se establecieron como un compromiso entre su porosidad y su resistencia a la disgregación.

Con objeto de mejorar sus prestaciones y evitar su colmatación en el tiempo, es bueno conseguir una alta porosidad de la mezcla, no inferior al 20%. Al mismo tiempo, la mezcla ha de poseer cohesión suficiente para resistir los esfuerzos del tráfico, sus pérdidas al cántabro a 25 °C no deben superar el 25%.

La experiencia existente tras más de 20 años de experiencia en estas capas lleva a sugerir las siguientes modificaciones a los criterios de proyecto.

MEZCLAS POROSAS**Composición y proyecto**

Criterio	Recomendación MOPU/89	Propuesta
Vacíos en mezcla, %	> 20	> 20
Pérdidas cántabro en seco %	a 25°C: < 25	a 18°C: <20 a 10°C: <30
Pérdidas cántabro en húmedo, %	-	a 25°C: <35

MEZCLAS POROSAS**Composición y proyecto**

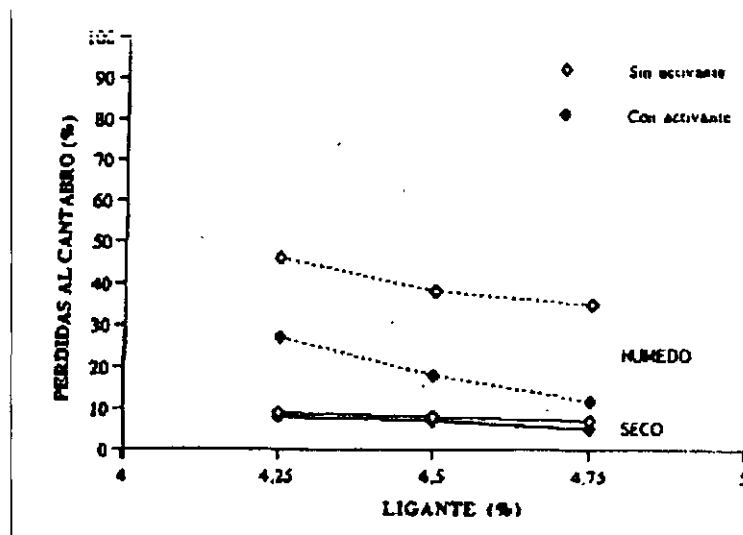
En primer lugar sería conveniente evaluar la resistencia de la mezcla a la acción de desvuelta del agua. Este ha sido uno de los fallos típicos de este material.

El empleo de asfaltos con baja adhesividad a los agregados o de filleres hidrófilos ha dado lugar a la rápida disgregación de la mezcla por acción del agua y del tráfico.

La resistencia a la desmenuamiento de la mezcla puede ser evaluada mediante la realización del ensayo cántabro sobre probetas de mezcla que han permanecido 24 horas sumergidas en agua a 600 C. Las pérdidas no deben ser superiores al 35%.

MEZCLAS POROSAS

Evaluación de la adhesividad de la mezcla



MEZCLAS POROSAS

Evaluación de la adhesividad de la mezcla

Cuando se trata de mezclas porosas fabricadas con asfaltos modificados es conveniente realizar el ensayo cántabro a temperaturas inferiores a 25° C. A esta temperatura, tanto los de penetración B-60/70 ó B-80/100 e incluso los B-40/50 presentan en el cántabro un comportamiento similar al de los asfaltos modificados.

Al bajar la temperatura a 18 ó 10° C, la respuesta de los asfaltos normales es más frágil, su resistencia a la abrasión es menor, siendo muy superiores sus pérdidas al cántabro.

Por ello, para comprobar realmente las mejoras conseguidas en las mezclas mediante el empleo de fibras o asfaltos modificados debe realizarse el ensayo a 18 ó 10° C. A estas temperaturas las pérdidas de la mezcla en el ensayo cántabro no deben ser superiores al 20%, a 18° C, ni al 30%, a 10° C.

MICROAGLOMERADOS

Son mezclas asfálticas con tamaño máximo de agregados inferior a 6-10 mm, han sido empleados desde hace años en la pavimentación de carreteras.

En frío, constituyen las lechadas bituminosas que con tanta profusión y éxito se han empleado en la conservación y pavimentación de nuestras carreteras. También pertenecerían a este grupo las mezclas finas tipo 1V-A y y-A del Instituto del Asfalto.

Actualmente, lo que llama la atención y la novedad es su cantidad de agregado grueso y escasa presencia de agregado fino, derivados en parte de la utilización y tecnología de las mezclas porosas.

La utilización de microaglomerados en capas delgadas está encaminada fundamentalmente a proporcionar o restituir las características funcionales o superficiales del pavimento, sin pretender conseguir un aumento de su capacidad estructural.

La aplicación de una capa fina contribuye de alguna manera a mejorar esta capacidad estructural, no sólo debido a su espesor (entre 1,5 y 4 cm), sino porque proporciona una impermeabilización al soporte que, en muchos casos, mejorará notablemente el comportamiento de la sección estructural.

Los microaglomerados empleados hasta ahora en capa fina carecían por su composición y proyecto de una falta de macrotextura. Eran mezclas de granulometría continua de tipo denso, con un elevado porcentaje de agregado fino. La resistencia a la acción abrasiva del tráfico estaba asegurada por la buena cohesión del mortero asfáltico.

Para conseguir una buena macrotextura con un tamaño de agregado reducido, se han sustituido las curvas granulométricas continuas tradicionales por otras de tipo discontinuo.

Básicamente, consisten en mezclas de granulometría 0/6, 0/8, 0/10 ó 0/12, con una discontinuidad del tipo 2/4 ó 3/6.

Con un contenido de filler elevado, del orden del 7 al 10%, y un elevado porcentaje de los tamaños gruesos (75-80%).

Se fabrican con un alto contenido de asfalto, 5 con objeto de formar con el filler un buen mástico que proporcione a la mezcla una adecuada cohesión y resistencia a la abrasión.

MICROAGLOMERADOS

El empleo de un alto contenido de asfalto podría hacer peligrar la estabilidad de la mezcla y provocar la exudación del asfalto. Para evitar este problema se ha recurrido al empleo de asfaltos modificados por adición de polímeros o a la

incorporación de fibras, consiguiendo al mismo tiempo mejorar la cohesión de la mezcla.

Con la incorporación de polímeros al asfalto se persigue, fundamentalmente, incrementar su elasticidad, su viscosidad y modificar su susceptibilidad térmica. Los polímeros empleados de forma más generalizada para modificar los cementos asfálticos son los elastómeros termoplásticos de estireno-butadieno-estireno (SBS) y los copolímeros de etileno-acetato de vinilo (EVA).

La adición de fibras produce un aumento de la superficie específica a envolver, lo que permite utilizar un mayor contenido de asfalto, aumentando el espesor de la película de asfalto, generando un mástico de gran calidad, "armado o refuerzo" con la fibra, que confiere a la mezcla excelentes prestaciones. Existen fibras minerales (amianto, vidrio, lana de roca), fibras orgánicas (celulósicas) y fibras sintéticas (acrílica y polipropileno).

Tradicionalmente, se ha venido utilizando la fibra de amianto por sus excelentes ventajas mecánicas, aunque su probada toxicidad hace que su empleo esté prohibido en numerosos países. En su lugar, actualmente se utilizan fibras orgánicas y sintéticas.

En definitiva, los micros son mezclas de granulometría muy similar a la de las mezclas porosas, fabricadas con asfaltos modificados con polímeros o fibras al igual que las mezclas porosas, compactadas con rodillo liso, y cuyos acabados presentan un aspecto idéntico al de una mezcla porosa. Se diferencian en su menor porosidad al haber quedado los vacíos rellenos con asfalto.

Los micros proporcionan capas de rodadura de altas prestaciones, con buenas características en cuanto a resistencia a fisuración, resistencia plástica, durabilidad, sonoridad, seguridad, lo mismo que las porosas a deformación, comodidad y seguridad, lo mismo que las porosas.

Los microaglomerados proporcionan una macrotextura elevada, con valores de altura de arena (prueba mancha de arena) comprendidos entre 1,2 y 2 mm, muy superiores a los 0,9 mm exigidos en las especificaciones españolas, consiguiendo una elevada resistencia al deslizamiento para altas velocidades y/o con tiempo lluvioso, ya que esta macrotextura permite una rápida evacuación superficial del agua, impidiendo la formación de una película continua en la superficie.

El empleo de microaglomerados de granulometría discontinua, que permite obtener una superficie de rodadura muy lisa y de macrotextura negativa, hace que los mecanismos de generación de ruidos se vean amortiguados.

MICROAGLOMERADOS

Las denominadas mezclas discontinuas en caliente para capas finas están pensadas para capas de espesores inferiores a 4 cm.

La Orden Circular 322/97 del Ministerio de Fomento "Ligantes bituminosos de reología modificada y mezclas bituminosas discontinuas en caliente para capas de pequeño espesor" incluye dos materiales:

- Los denominados tipo F (de capas Finas), que son los que más se han utilizado hasta ahora, con espesores entre 2,5 y 3,5 cm
- Los denominados tipo M (de Monogranular), que pueden extenderse en espesores inferiores, de hasta 1,5 cm.

Los tamaños máximos de estas mezclas son 8 mm para las F y 10 mm para los micros M.

Aunque se han fijado por ahora dos granulometrías, ligeramente distintas, está en discusión el reducirlos a uno sólo.

Por otro lado, aunque se están utilizando, no se incluyen las granulometrías de tamaño máximo 6 mm, por su empleo claramente urbano.

Los granulometrías usadas presentan una discontinuidad entre los tamices 2,5 y 5 mm, limitando el retenido parcial máximo entre estos tamices al 8%. Se obliga a trabajar con arenas 0/2,5 mm.

TAMIZ UNE	F 8	F 10	M 8	M 10
12,5		100		100
10	100	75 - 97	100	75 - 97
8	75 - 97		75 - 97	
5	25 - 40	25 - 40	15 - 28	15 - 28
2,5	20 - 35	20 - 35	15 - 25	12 - 25
0,63	12 - 25	12 - 25	9 - 18	9 - 18
0,08	7 - 10	7 - 10	5 - 8	5 - 8

El porcentaje de material que pasa por el tamiz 2,5 mm está comprendido entre el 12 y el 25% para los M y entre el 20 y 35% en el F, es decir, son materiales con contenidos de gruesos en torno del 75-80%, lo que les confiere un gran esqueleto mineral, con contacto directo de los agregados gruesos.

El contenido de polvo mineral es del orden de 8%, por lo que necesitan de filler de aportación.

Respecto a los agregados, se ha dado un tratamiento diferenciado a los tipos F y M. Los primeros tienen especificaciones similares a las exigidas a las mezclas en caliente convencionales para capas de rodadura, mientras que las tipo M, cuyos agregados gruesos tienen que soportar directamente y sin muchas posibilidades de movimiento los esfuerzos de compactación y del tráfico, se les asigna las especificaciones más similares a las de los tratamientos superficiales.

MICROAGLOMERADOS

Criterio de Diseño

CARACTERÍSTICAS	CATEGORÍA TRÁFICO	MEZCLA TIPO F	MEZCLA TIPO M
Partículas fracturadas	T0, T1 y T2	100	100
	T3, T4 y arcenes	> 75	>75
Coef. de desgaste Los Angeles	T0, T1 y T2	< 20	< 15
	T3, T4 y arcenes	< 25	< 25
Coef. de pulido acelerado	T0, T1 y T2	> 0,50	> 0,50
	T3 y T4	> 0,45	> 0,45
Índice de tajas	T0, T1 y T2	< 25	< 20
	T3, T4 y arcenes	< 30	< 30

MICROAGLOMERADOS

Criterios de proyecto de microaglomerados

Para garantizar una adecuada durabilidad, estas mezclas finas, de granulometría discontinua, deben presentar una elevada resistencia a la abrasión y a la fisuración, sin que, debido a su elevado contenido de asfalto (más del 5.5% p.s.a.) se produzcan problemas de escurrimiento durante el transporte de la mezcla, ni aumente el riesgo de deformaciones plásticas.

MICROAGLOMERADOS

Criterios de proyecto de microaglomerados

Una dificultad que presentan estas mezclas es su dosificación mediante ensayos mecánicos. Al tratarse de contacto directo entre partículas gruesas, el ensayo Marshall no da variaciones de estabilidad hasta que el exceso de asfalto empieza a separar las partículas, lo que suele suceder con porcentajes de asfalto muy elevados.

Por tanto en este ensayo obtienen curvas planas y estabilidades que dependen más de la dureza del agregado que del contenido de asfalto. En las especificaciones se recoge una estabilidad mínima de 7,5 kN (750 kg), que se cumple fácilmente siempre que no se cometan errores groseros en la dosificación.

Así mismo, se fija una resistencia conservada en el ensayo de inmersión-compresión igual o superior al 75%.

MICROAGLOMERADOS

Criterios de proyecto de microaglomerados

La caracterización de estas mezclas deberá dirigirse hacia la valoración de propiedades como:

- Ecurrimiento del asfalto
- Resistencia a la abrasión
- Resistencia a la fisuración
- Resistencia a la deformación plástica

ASFALTO Porcentaje en peso sobre agregados pétreos	> 5.0 – 5.5
COHESIÓN Pérdidas al Cántabro en seco, 25°C	< 15
RESISTENCIA AL DESPLAZAMIENTO Pérdidas al Cántabro en húmedo, 25°C	< 25
ESCURRIMIENTO A la temperatura de fabricación de la mezcla	Nulo
DEFORMACIÓN PLÁSTICA Velocidad de deformación en 105-120 minutos	< 12 - 15

MICROAGLOMERADOS

Criterios de proyecto de microaglomerados

Ecurrimiento

Aunque existen distintos procedimientos para valorar el escurrimiento del asfalto que se produce en una mezcla durante su transporte y puesta en obra (distintas temperaturas, distintos períodos de tiempo, con o sin vibración, etc.), actualmente las especificaciones españolas recogen un método normalizado, NLT-365/93. Hasta el momento se solía recurrir a mantener una mezcla, colocada sin compactar en recipientes circulares de vidrio en una estufa a 130-150° C durante 1 ó más horas y determinar la cantidad de asfalto que queda adherido en el fondo del recipiente tras verter rápidamente su contenido.

TIPO DE ASFALTO	Sin vibración		Con vibración	
	5% asfalto		5% asfalto	
	140°C	160°C	140°C	160°C
B-60/70	1.6	2.0	5.1	5.3
B-Polímero	1.4	1.9	1.8	4.0

MICROAGLOMERADOS

Criterios de proyecto de microaglomerados

Resistencia a la disgregación

Al igual que las mezclas porosas, los pavimentos de microaglomerado deben resistir la acción abrasiva y disgregadora del tráfico y del agua. Por ello, al igual que en el caso anterior debe comprobarse la cohesión y adhesividad de la mezcla mediante el ensayo cántabro de pérdida por desgaste. Los valores máximos fijados en la especificaciones españolas son del 15% en seco y del 25% en húmedo.

MICROAGLOMERADOS

Criterios de proyecto

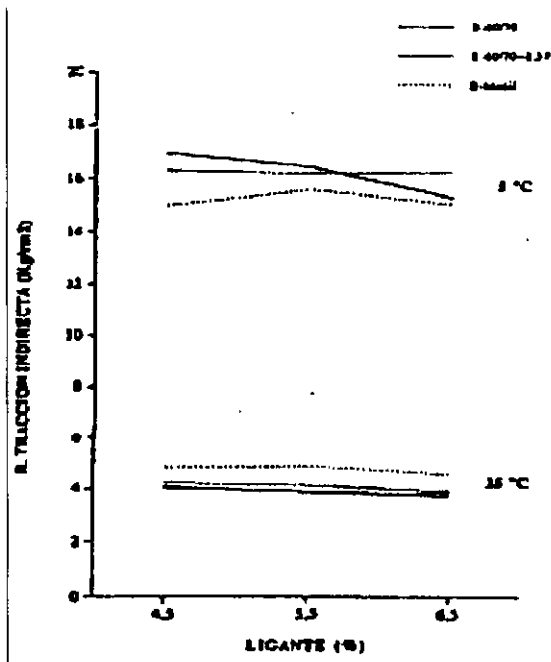
Resistencia a la fisuración

Este tipo de mezclas van a ser colocadas, principalmente, en capas delgadas sobre pavimentos fisurados, por lo que deberán ser resistentes a la fisuración para retardar al máximo la propagación de las fisuras hacia la superficie. Para valorar la resistencia a la fisuración de una mezcla de las características mencionadas, el ensayo que se ha venido utilizando es el ensayo de tensión indirecta a distintas temperaturas, observándose, en general, una escasa sensibilidad del ensayo frente a la naturaleza y al contenido de asfalto.

Por ello se ha utilizado el ensayo de tracción directa, ensayo BTB, que permite valorar la tenacidad del material, es decir, además de obtener la máxima resistencia a tracción de la mezcla (valor pico), se obtiene el trabajo post-rotura del material (energía).

Ensayo Tensión Indirecta por compresión diametral (ITT)

Muestra poca sensibilidad.

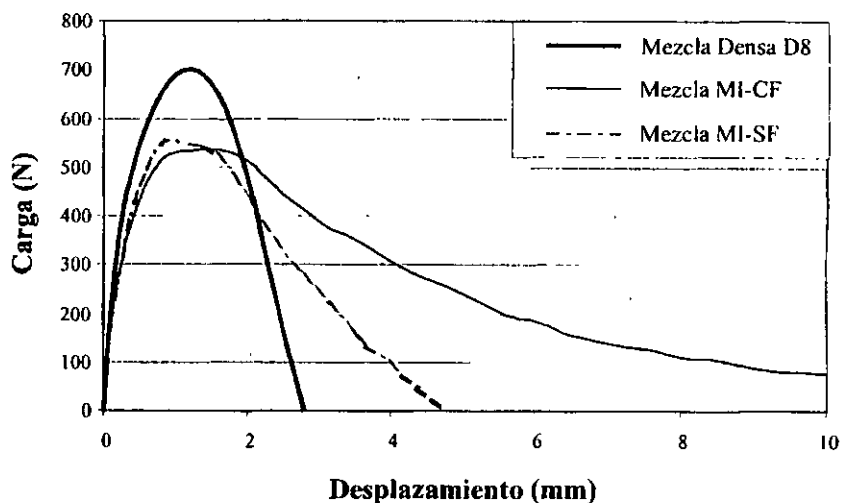


MICROAGLOMERADOS

Ensayo BTD

The composite image illustrates the BTD (Burr Test) process. On the left, a photograph shows the testing apparatus. Below it, several cylindrical asphalt samples are shown, some with handwritten markings like 'D/8' and 'D/10'. On the right, two photographs show the samples being crushed by a ball. Below these is a stress-strain graph with 'Tensión "σ" (kg/cm²)' on the y-axis and 'Deformación (mm) "dR"' on the x-axis. The graph shows a peak stress labeled 'σ máx' followed by a gradual decrease in stress as deformation increases.

Ensayo de Tracción Directa



MICROAGLOMERADOS

Criterios de proyecto

Resistencia a la deformación plástica

Debe comprobarse también la resistencia a las deformaciones plásticas de estas mezclas, dado que va a emplearse bajo tráfico pesado en capa de rodadura.

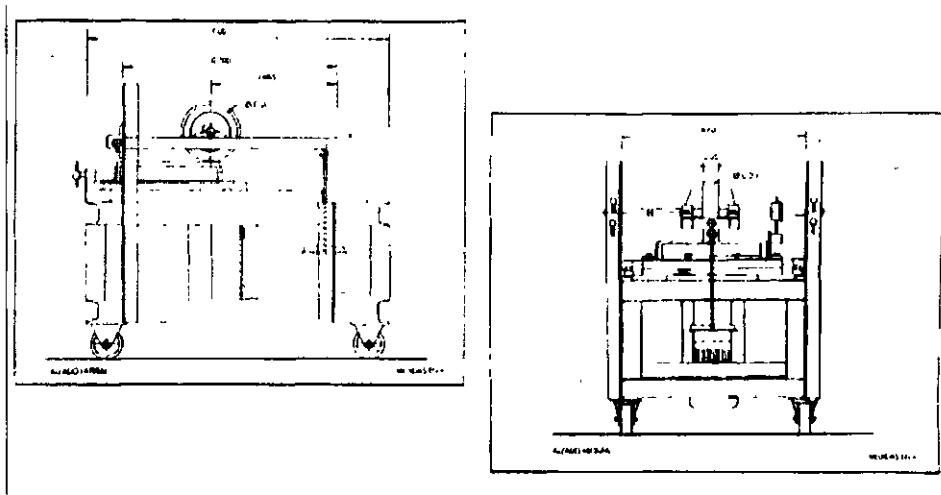
El procedimiento usado es el ensayo de pista de laboratorio, al igual que con las mezclas convencionales. Pero deberá tenerse en cuenta que estas mezclas van a emplearse en capas finas, 2-3 cm, y muy finas, 1.5 cm.

Probablemente, los resultados obtenidos serán peores si se ensayan en el laboratorio capas de 5 cm. Por ello, se especifica que las probetas para este ensayo deberán tener un espesor aproximadamente igual al cuádruple del tamaño máximo nominal del agregado.

MICROAGLOMERADOS

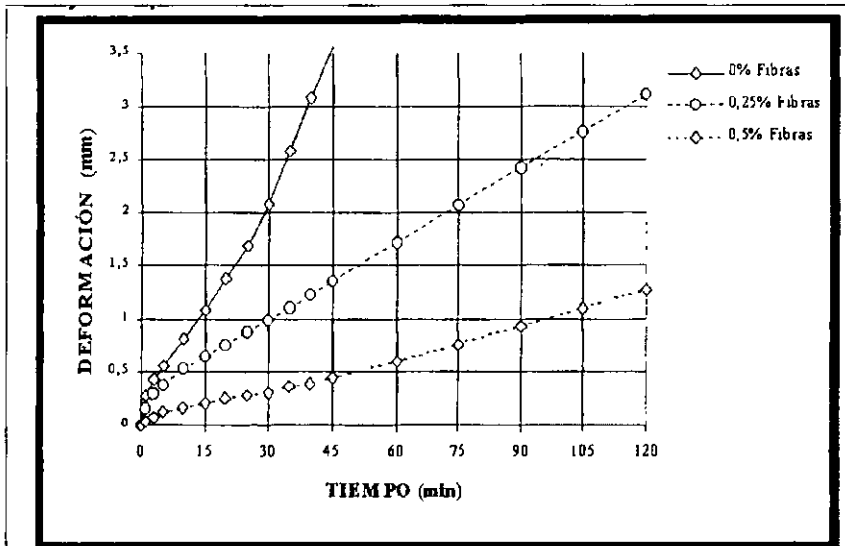
Resistencia a las deformaciones plásticas.

Ensayo de pista español



MICROAGLOMERADOS

*Resistencia a las deformaciones plásticas.
Ensayo de pista*



Mezclas porosas y Microaglomerados Conclusiones

El interés de los técnicos de carreteras por ofrecer a los usuarios unos pavimentos más seguros y confortables ha llevado al desarrollo de dos nuevos materiales, mezclas porosas y microaglomerados, que empleados en capa de rodadura se caracterizan por:

- Su finura y elevada macrotextura (textura negativa) que proporciona un pavimento seguro y al mismo tiempo silencioso.
- Las mezclas drenantes absorben y eliminan el agua de la superficie evitando el problema del hidroplaneo, y aminoran el ruido del tráfico, prestaciones que pueden mantenerse en el tiempo tomando ciertas precauciones para que no se produzca su colmatación.
- En el caso de los microaglomerados de tipo discontinuo, su menor capacidad de absorción de ruido y de agua viene compensada por una mayor flexibilidad y resistencia a la fisuración y a los efectos abrasivos del tráfico.

MEZCLAS SMA (Splittmastixasphalt) STONE MASTIC ASPHALT

- Mezclas asfálticas de granulometría discontinua compuesta de un esqueleto mineral grueso completamente triturado ligado mediante un mortero asfáltico (asfalto + filler).
- Nacen en Alemania a principios de los 70 '5 y luego se extendieron en el resto de Europa y a USA. Actualmente se usan en todo el mundo.
- Fueron desarrolladas en Alemania para resistir el tráfico con llantas de clavos cadenas.
- Luego de que las llantas con clavos se prohibieron en 1975 el uso de SMA continuó debido al buen comportamiento observado, mejor que el de las capas de rodadura convencionales.
- Las SMA consisten en un esqueleto de agregado grueso 100% triturado ligado con un mortero asfáltico y algunas veces con fibras.
- Un requisito esencial de las SMA es la granulometría discontinua (alrededor de 2.36mm) con un mínimo de 70% de agregados gruesos.

MEZCLAS SMA STONE MASTIC ASPHALT

- Se suelen utilizar como capa de rodadura en carreteras de alto nivel de tráfico, aeropistas y zonas de puertos.
- Brindan una superficie homogénea con mucha textura y gran resistencia al deslizamiento, con nivel de ruido bastante bajo.
- Las SMA tienen la misma estructura que los Open Graded, piedra con piedra, pero con los vacíos llenos con una alta cantidad de mortero asfáltico.
- La fracción gruesa de los agregados da una gran resistencia a las deformaciones permanentes y el mástico (filler + asfalto) rellena los vacíos

entre las partículas dándole gran durabilidad y resistencia al envejecimiento debido a su bajo contenido de vacíos (3-6%) y a la gruesa película de asfalto

- Son muy resistentes al agrietamiento, desprendimiento de agregados y a la humedad.
- Tienen un alto contenido de asfalto (5.5 a 7%) lo puede producir escurrimiento. Suelen usarse fibras acrílicas para evitarlo (lo cual les da mayor tenacidad) o asfaltos modificados.
- Pueden usarse en capas delgadas (desde 1-4 cm) dependiendo del tamaño máximo del agregado.
- Se colocan fácilmente y se utilizan mucho en labores de conservación preventiva.
- Actualmente se está tratando de homologar una normativa europea mediante el CEN (Comité Europeo de Normalización).
- La NAPA (National Asphalt Pavement Association) introdujo el concepto de SMA a los Estados Unidos.
- En USA el principal deterioro de los 80 's eran las deformaciones plásticas y el enfoque de diseño de mezclas era incrementar el tamaño máximo del agregado y disminuir el contenido de asfalto.
- Las consecuencias de ello fueron una gran reducción de la vida por fatiga y un incremento de la permeabilidad y mucha segregación.
- En los 80 's prácticamente todas las mezclas eran densas diseñadas con el método Marshall y el uso de asfaltos modificados y filleres no estaba tan difundido.
- La excepción fueron las mezclas Open Graded Friction Coarse, muy resistentes a las roderas por que los agregados estaban en contacto directo unos con otros, eso brindó una buena clave.
- Las SMA tienen la misma estructura pétreo con pétreo pero los vacíos son rellanados con un alto contenido de mortero asfáltico.

Mezclas SMA

Ventajas

- Las SMA son resistentes a las roderas, a la fatiga y son muy durables
- Incrementan sustancialmente la resistencia al deslizamiento (muy buena textura)

- ▣ Mejoran la visibilidad en clima húmedo al reducir la pulverización del agua
- ▣ Reducen los niveles de ruido
- ▣ Se pueden usar para mantenimiento y rehabilitación
- ▣ Se colocan con el mismo equipo convencional sin requerir agregados precubiertos

Mezclas SMA

Información Técnica, Reino Unido

Tamaño nominal	14 mm	10 mm
Espesor	30-50 mm	15-25 mm
Fibras (% mínimo)	0.3	0.3
Vacios (%)	3-6	3-6
Contenido de Asfalto (min.)	5.5%	5.7%
Grado del Asfalto (penet.)	50/70, 70/100, modificado	

Mezclas SMA

Diseño, Nueva Zelanda

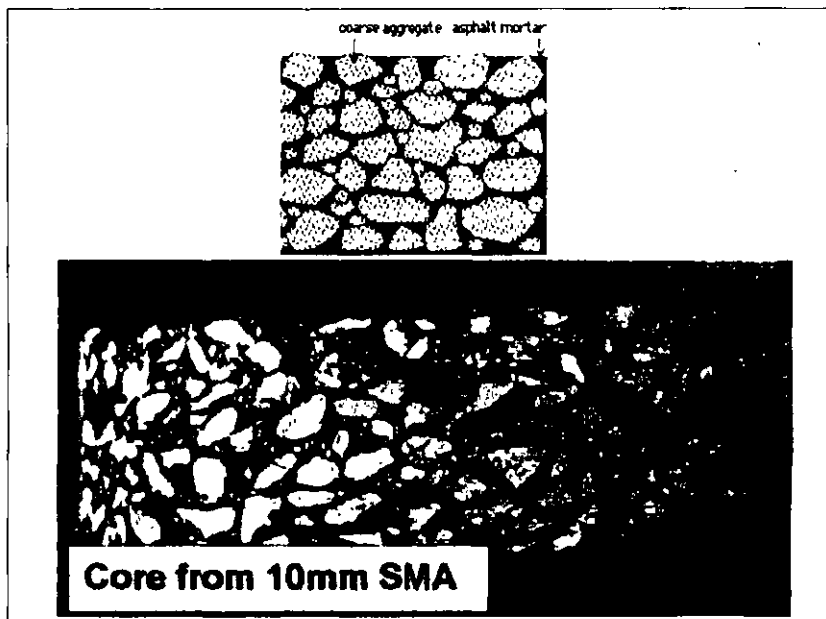
- ▣ El proceso de diseño de las SMA consiste en ajustar la granulometría para acomodar el contenido de asfalto requerido (6-7% dependiendo del tamaño máximo de agregado) y dejar un contenido de vacíos mínimo.
- ▣ A diferencia del diseño tradicional de buscar el contenido de asfalto para una determinada granulometría.
- ▣ Se requieren agregados pétreos 100% triturados. No se permite el uso de pétreos naturales, redondeados y pulidos.

Mezclas SMA

Diseño, Nueva Zelanda

- ▣ Recomiendan asfalto de penetración 60/70 según experiencia europea y utilizar fibras en lugar de polímeros para evitar el escurrimiento
- ▣ Debe tenerse cuidado al elegir el tamaño máximo de agregado en las SMA.

- Las SMA no son una capa estructural así que un incremento en el tamaño máximo del pétreo no conlleva un aumento de resistencia.
- Se recomienda el uso de compactador giratorio para no fracturar las partículas, "simular" la compactación de campo y permitir un índice de resistencia a las deformaciones plásticas.
- La compactación Marshall también puede usarse. 50 golpes equivales aprox. a 80 ciclos de la giratoria.
- El contenido de vacíos máximo con el Marshall ronda el 5% para prevenir el envejecimiento y reducir la permeabilidad.
- El contenido máximo de vacíos se complementa con el obtenido de la giratoria a 350 ciclos (mínimo) a fin de evitar sobrecompactación y exudado (llorado). Con el Marshall se fija una densidad máxima.



Mezclas SMA. Diseño, Alemania

Propiedades de los Pétreos

Tasa de Trituración	Una cara de fractura: 100 % de las partículas Dos ó más caras de fractura: 90 % mínimo (ASTM D 5821)
Forma	Partículas Chatas y Alargadas (ASTM D 4791) 3 a 1: 20 % máximo 5 a 1: 5 % máximo
	Índice de Lajas (NLT 354/91): menor del 25 %
Resistencia	Desgaste Los Angeles (AASHTO T 96) Gradación B, menor del 30 %.*
Resistencia al pulido	Coefficiente de Pulimento Acelerado (NLT174/72), mayor de 0,50.
Limpieza	Equivalente de Arena (ASTM D 2419) de la fracción Pasa Tamiz No.4, superior al 50 %.
Durabilidad	En Sulfato de Sodio (ASTM C 88): menor del 15 %.
Adhesividad con el asfalto	Ensayo ASTM D 3625-96: mayor del 95%.
Absorción de Agua	ASTM C 127 y C 128: menor del 2% **

* Si el valor de DA es mayor del 30% y no puede cambiarse el árido por otro que cumpla tal condición, entonces se procederá a analizar la rotura de partículas después del ensayo de compactación Marshall. La condición de aceptación será que la cantidad de material incrementada por la compactación Marshall en el TN4 no sea superior al 10%, y que se cumpla con el VAM mínimo. Siempre importante es conocer los antecedentes viales del material a utilizar en cuanto a su comportamiento en servicio. Si su comportamiento ha sido dudoso ó deficiente, el material no debe ser utilizado para SMA.

** Cuando la absorción sea mayor al 2% y no pueda evitarse el uso de tal agregado, entonces se deben complementar los análisis concentrándose en la determinación de la absorción de asfalto -el cual debe tenerse en cuenta al diseñar el contenido óptimo de ligante- y la compatibilidad con el ligante asfáltico, esto es, la adherencia del par árido-betún.

Mezclas SMA. Diseño, Alemania

La granulometría de los agregados pétreos está basada en la norma alemana ZTV Asphalt — StB 01.

Una observación muy importante:

- ▣ Las distintas fracciones componentes de cada mezcla no deberán tener sobre-tamaños mayores al 10% ni infra-tamaños mayores al 15%.
- ▣ El uso del mayor número de fracciones posibles facilitará el control de la estructura granular.

SMA		19	12	10	5
Mm	Pulgadas	Tamaño Máximo 19,0 mm Porcentaje que pasa	Tamaño Máximo 12,5 mm Porcentaje que pasa	Tamaño Máximo 9,5 mm Porcentaje que pasa	Tamaño Máximo 4,75 mm Porcentaje que pasa
25,0	1	100			
19,0	¾	90-100	100		
12,5	½	45 a 60	90-100	100	
9,5	3/8	30 a 45	Máximo 60	90-100	
6,35	¼				100
4,75	Nº4	20 a 25	30 a 40	26-60	90-100
2,36	Nº8	16 a 23	20 a 27	20-28	30-40
0,075	Nº 200	9 a 13	9 a 13	9-13	9-13

Mezclas SMA. Diseño, Alemania

Asfalto Convencional

Deberá cumplir en un todo con la norma ASTM D 3381.	El grado debe indicarse en función de las condiciones de clima, tránsito y estructura de proyecto.
Adicionalmente debe cumplir con la siguiente condición:	la Viscosidad Rotacional a 60 C del asfalto envejecido con el ensayo en película delgada rotativa (RTFOT, ASTM D 2872) dividido la Viscosidad Rotacional a 60 C del asfalto original debe ser menor o igual a 3.
El ligante debe ser clasificado según la norma AASHTO MP-1 (Superpave Performance Graded Asphalt Binder Specification) e informar su valor antes de la primera entrega de material y cada 500 toneladas de ligante entregado. Si la cantidad de material utilizado es menor de dicha cifra, se debe realizar al menos un ensayo PG.	

Mezclas SMA. Diseño, Alemania

Asfalto Modificado

El grado a utilizar debe indicarse en función de las condiciones de clima, tránsito y estructura de proyecto.	Perfil de Viscosidad Rotacional (ASTM D 4402) a 150, 170 y 190 C : debe ser indicado (incluyendo aguja, rpm, % de torque y shear rate), por la Refinería y controlada en obra una vez fijados sus valores y tolerancias.
Punto de Inflamación Cleveland (IRAM 6555):	Mínimo 235 C
Recuperación Elástica Torsional (NLT 328-91) a 25 C:	Mínima a establecer en el proyecto
Ensayo de Separación ASTM D 5976 (también NLT 328 / 91): diferencia de Viscosidad Rotacional a 170C	entre la parte superior y la inferior no mayor del 15%.
Grado de Comportamiento PG (AASHTO MP-1)	Indicar su valor cada 500 toneladas de material entregado.
Rango de temperaturas de mezclado y compactación :	deben ser indicadas por el fabricante.
Temperatura máxima de calentamiento:	a indicar por el fabricante
Condiciones de almacenamiento:	a indicar por el fabricante

Mezclas SMA. Diseño, Alemania

RIEGO DE LIGA ENTRE SMA Y LA SUPERFICIE DE APOYO

Emulsión Asfáltica Modificada (*)

- ▣ Viscosidad Saybolt Furol a 50 C : mayor de 40
- ▣ Carga de Partícula: positiva
- ▣ Asentamiento a 7 días, menor del 5%
- ▣ Ensayo de Tamiz (850 micrones), menor de 0,10%
- ▣ Contenido de Hidrocarburos destilados, menor del 2 %
- ▣ Residuo Asfáltico, mayor del 67%
- ▣ Penetración del Residuo (25/5/1 00): entre 50 y 90
- ▣ Recuperación Elástica Torsional a 25 C del residuo, mín. 15%

Mezclas SMA. Parámetros de Diseño, Alemania

Compactación Marshall:	50 + 50 golpes
Compactación Superpave:	75 a 100 giros dependiendo del proyecto
Vacios de aire totales:	2 a 4 %, recomendándose estar próximos al mínimo en climas fríos, y al valor máximo en climas templados y cálidos
Vacios del Agregado Mineral (VAM)	No inferior al 17 %
VCA mix, % (AASHTO MP8)	Menor que VCAorc
Contenido de Ligante en peso total de la mezcla	Mínimo 6,3 %
Contenido de fibras naturales en peso del total de la mezcla	Mínimo 0,3 %
Contenido máximo de humedad en la mezcla,	0.5%
Resistencia Retenida (Resistance of Compacted Bituminous Mixtures to Moisture-Induced Damage, AASHTO T 283)	Mínimo 80%
Escurrecimiento de Ligante a la temperatura de mezclado (AASHTO T305)	Máximo 0,3%

CONDICIONES DE COLOCACIÓN

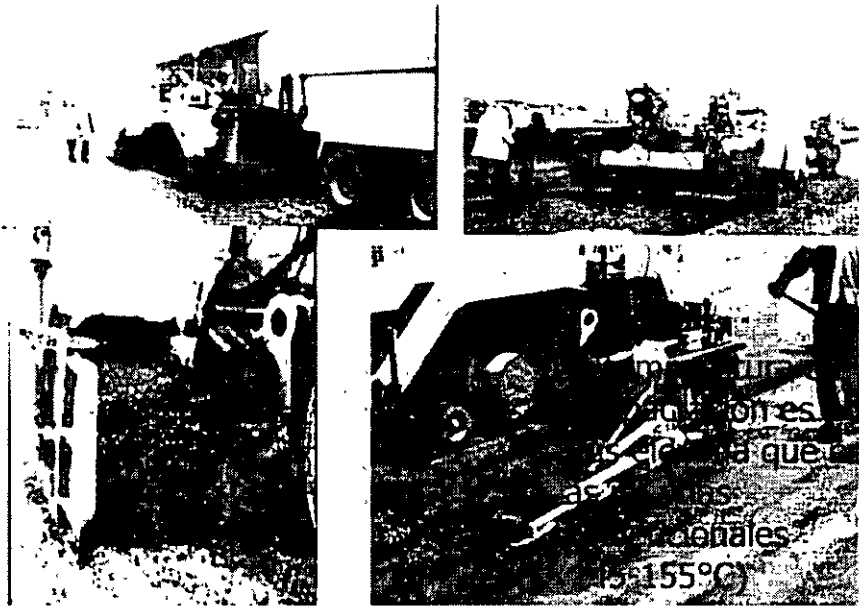
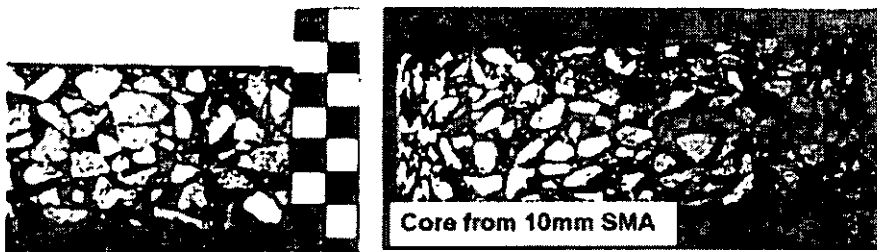
Tramo de Prueba: será obligatorio efectuar un tramo de prueba dentro de las primeras 200 tn a fin de verificar la fórmula de obra y los vacíos alcanzados en el camino. Liga: deberá efectuarse con emulsión asfáltica modificada catiónica de corte rápido con una dotación entre 0,20 y 0,35 litros/m² en base al residuo asfáltico.

Lisura: se debe medir ja irregularidad superficial con una regla de 3 m y constatar que en ninguna dirección se tenga un apartamiento mayor de 4 mm.

Compactación: se realizará empleando un número adecuado de rodillos lisos metálicos de 10 a 12 tn cada uno y en modo estático. No se permite el uso de rodillos con neumáticos en ningún caso.

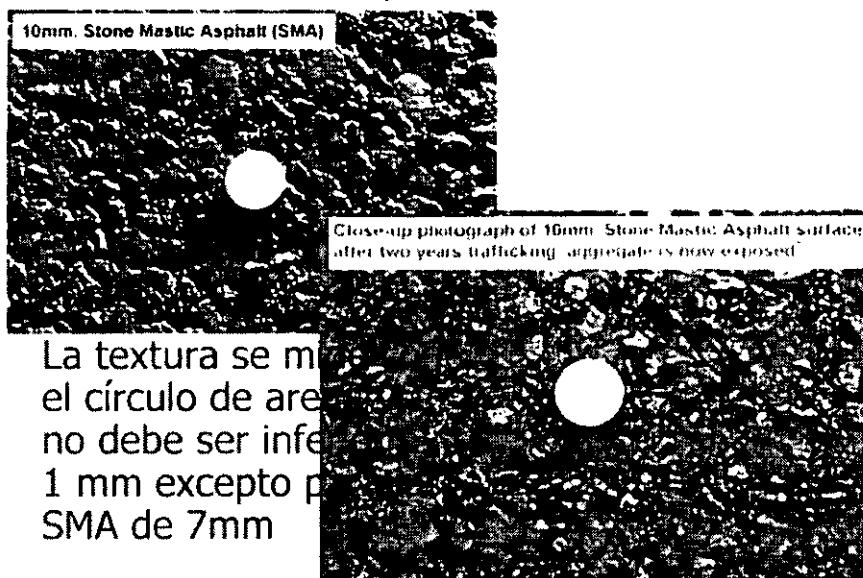
Vacios de la mezcla compactada: se exige una compactación tal que garantice el porcentaje de vacíos establecido. El mismo será calculado cada jornada comparando las densidades obtenidas en el camino mediante extracción de testigos y la densidad Máxima. Esta última será calculada dos veces por jornada de trabajo de muestras tomadas detrás de la terminadora 6 de mezcla elaborada en planta. Se deben extraer por lo menos seis testigos por tramo ejecutado por día aplicando la tabla de números aleatorios, nunca menos de un testigo cada 100 metros lineales por carril.

Ningún valor individual puede estar por debajo del 3 % (climas cálidos y templados) 6 del 1% (climas fríos), ni por encima del 6% (climas cálidos y templados) ni del 4% (climas fríos).

COLOCACIÓN SMA**CONTROL DE CALIDAD DE SMA**

El control de calidad se hace mediante extracción de corazones y obteniendo su densidad, contenido de vacíos y de asfalto y determinando su módulo de rigidez.

EVOLUCIÓN DE LA TEXTURA DE UNA SMA



El texto se mide con el círculo de arena y no debe ser inferior a 1 mm excepto para las SMA de 7mm.

RECOMENDACIONES DE USO DE LAS SMA

- En superficies de rodamiento sobre losas de concreto o sobre puentes de grandes claros donde se estimen grandes deformaciones y fuerte vibración.
- En capas de mezcla asfáltica que requieran gran resistencia al desprendimiento de agregados (raveling).
- Sobre capas agrietadas para retardar la reflexión de grietas (¿?)

MEZCLAS FRANCESAS

- DELGADAS
- MUY DELGADAS
- ULTRADELGADAS

Características de los agregados y arenas; PRUEBAS UTILIZADAS

MEZCLAS FRANCESAS

DELGADAS - MUY DELGADAS - ULTRADELGADAS

- QUÉ CORTES DE PÉTREOS SE UTILIZAN
- CÓMO SE CLASIFICAN LOS PÉTREOS

Características mecánicas de los agregados

- LA Los Ángeles
- MDE Micro Deval Humedo
- CPA Coeficiente de Pulido Acelerado Características de las arenas

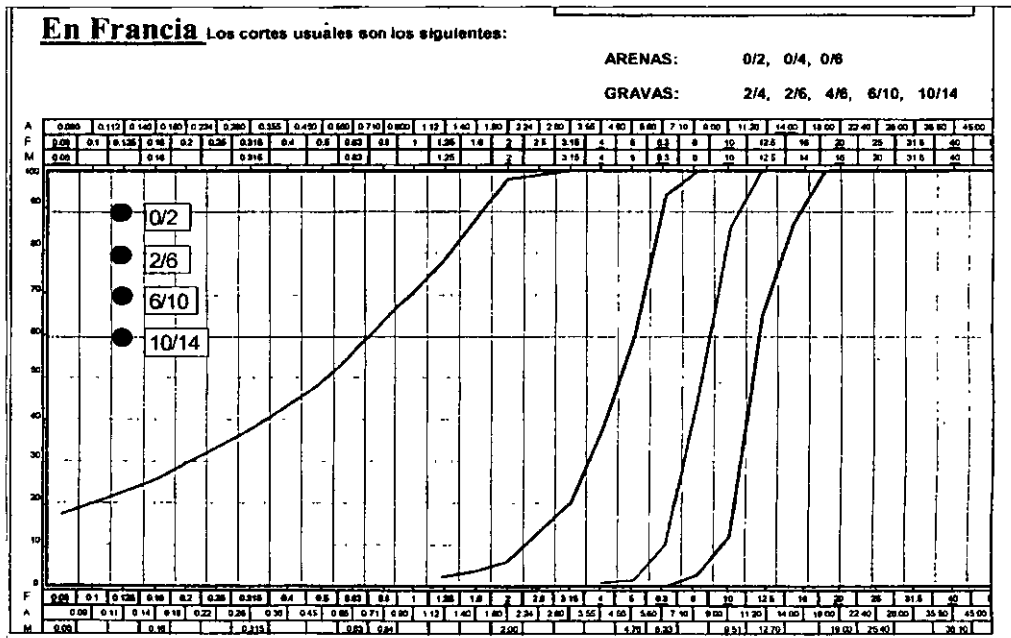
Características de las arenas

- EA Equivalente de arena
- Vbta * F Valor azul de Metileno por % de finos * 0/2

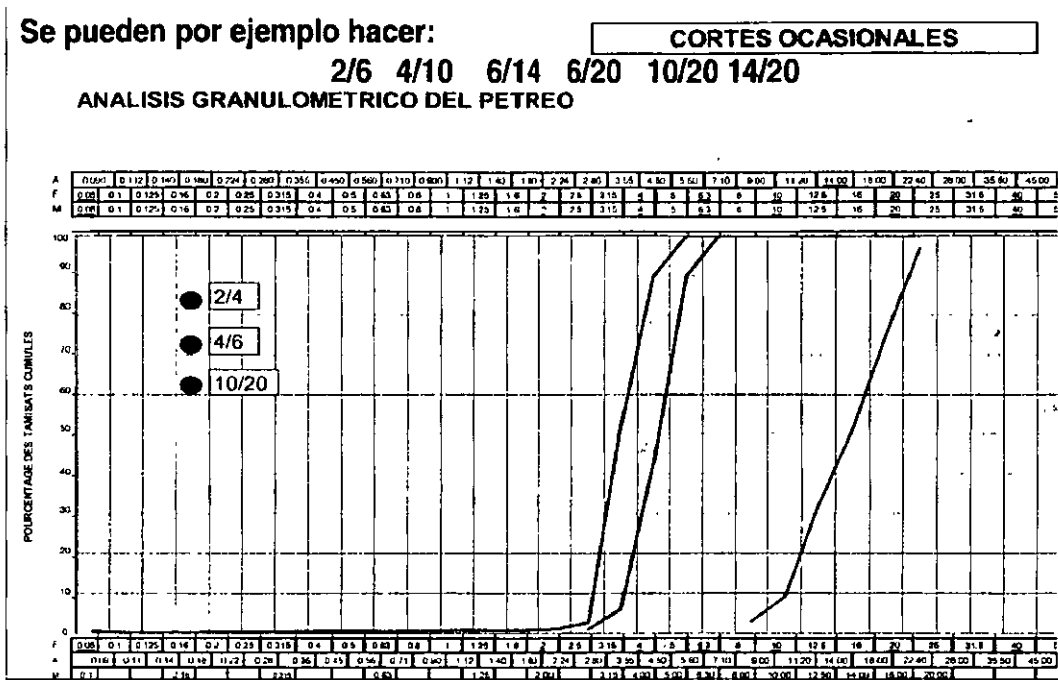
TÉCNICAS NUEVAS

- BBM
- BBTM
- BBUM

QUÉ CORTES DE PÉTREOS SE UTILIZAN



QUE CORTES DE PÉTREOS SE UTILIZAN



CÓMO SE CLASIFICAN LOS PÉTREOS

Ejemplo B III a

Letra mayúscula = Características mecánicas de las gravillas o agregados
 Número Romano = Calidad y regularidad de la trituración
 Letra Minúscula = Calidad de las arenas

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LAS GRAVILLAS O AGREGADOS:

Los Ángeles LA

- Determinar la resistencia a los golpes ligados a la compresión de los agregados

Micro Deval Humedo MDE

- Apreciar la resistencia al desgaste de los agregados en presencia de agua para aproximarse de las condiciones REALES a las que están sometidos en la calzada.

Coeficiente de Pulido Acelerado CPA

- Apreciar la tendencia de los agregados a pulirse bajo el tránsito carretero.

Para las capas de rodadura hay que satisfacer las 5 condiciones siguientes:

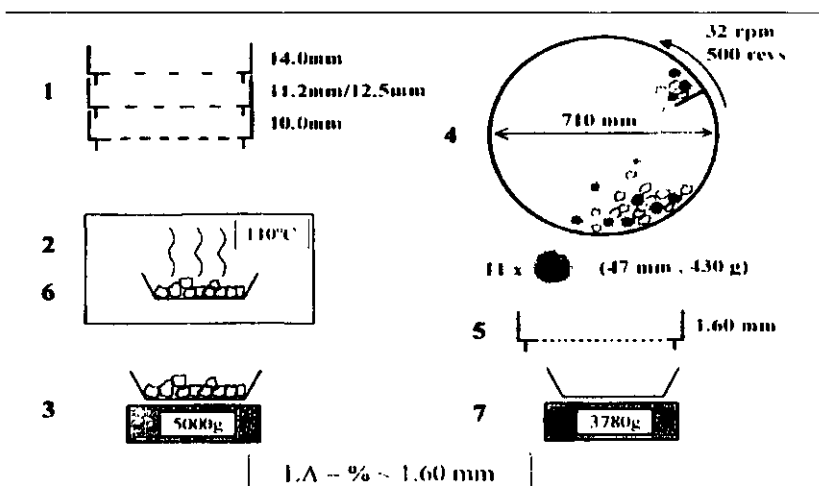
- NFP 18101 diciembre 1990

Categoría	100CPA - (LA+MDE)	100 CPA	LA+MDE	LA	MDE
A	>30	>50	<30	<20	<15
B	>15	>48	<40	<25	<20
C	>5	>45	<50	<30	<25

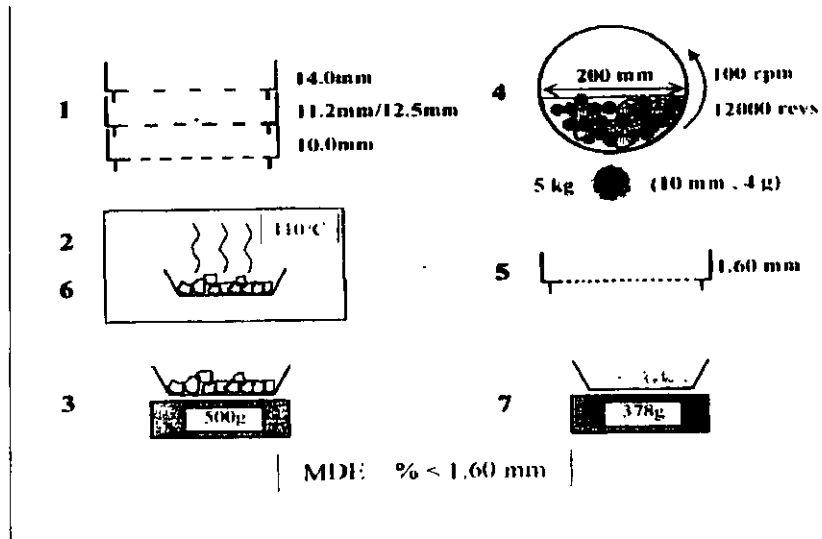
En general las bases piden

- A → para los riegos de sello
- B → carpetas altos tránsitos
- C → carpetas tránsitos bajos

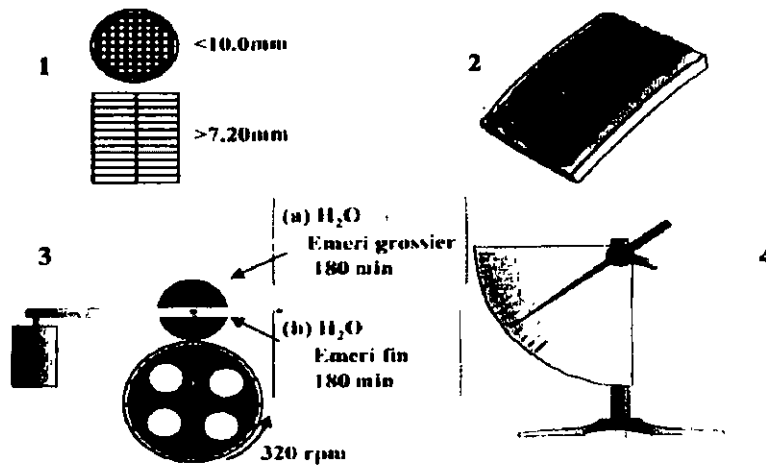
MÉTODO DE PRUEBA: Los Ángeles (EN 1097-2)

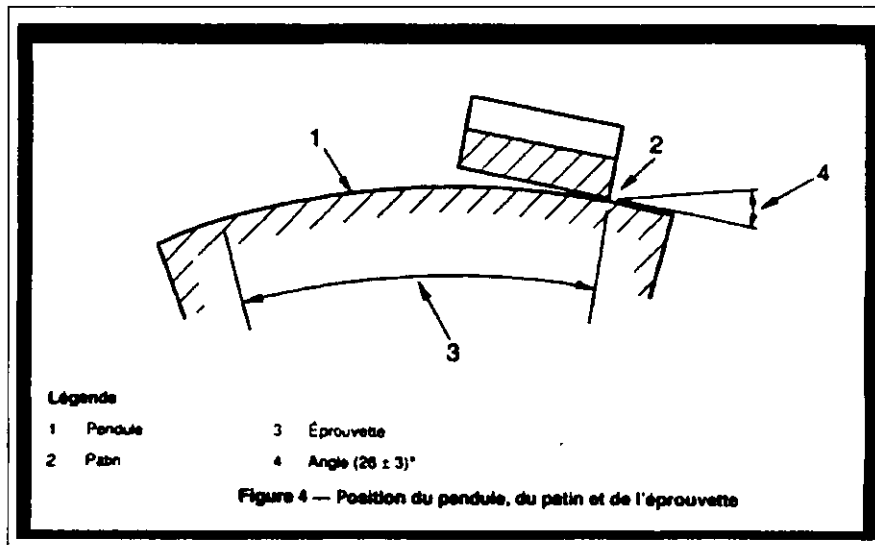
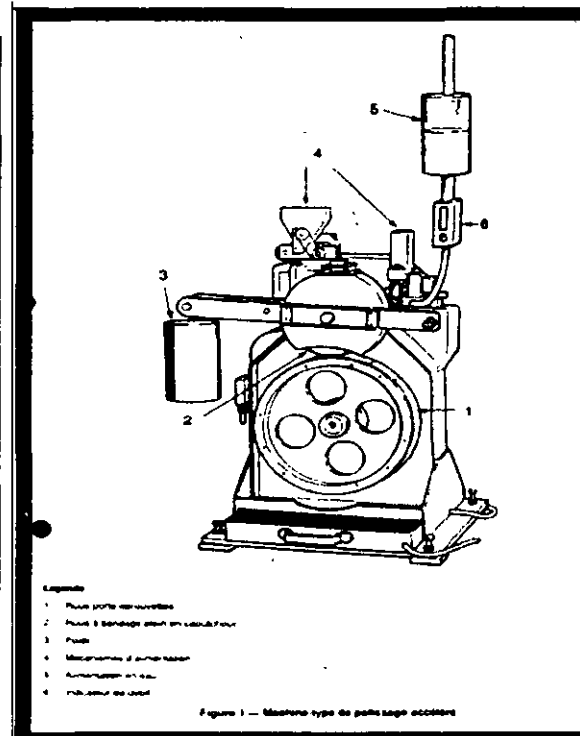
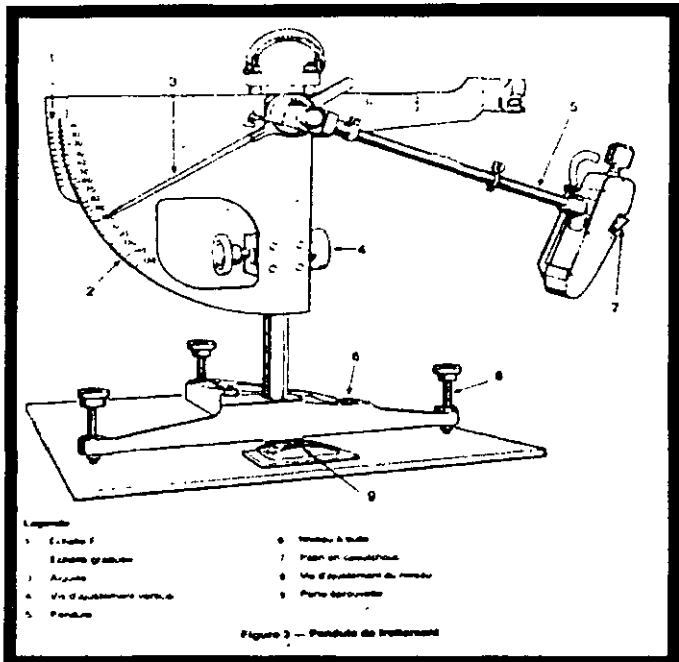


MÉTODO DE PRUEBA CEN: Micro-Deval (EN 1097-1)



COEFICIENTE DE PULIDO ACELERADO (EN 1097-8)





CARACTERÍSTICAS DE LAS ARENAS:

- Equivalente de Arena EA
- Valor de Azul VBta*f

Determinar el grado de contaminación de los fillers en calidad y actividad de la fracción de arcilla.

Equivalente de arena EA

a	>60	Riego de sello BBM BBTM BBUM altos tránsitos
b	>50	Siempre en carpetas
c	>40	Bases negras y binder

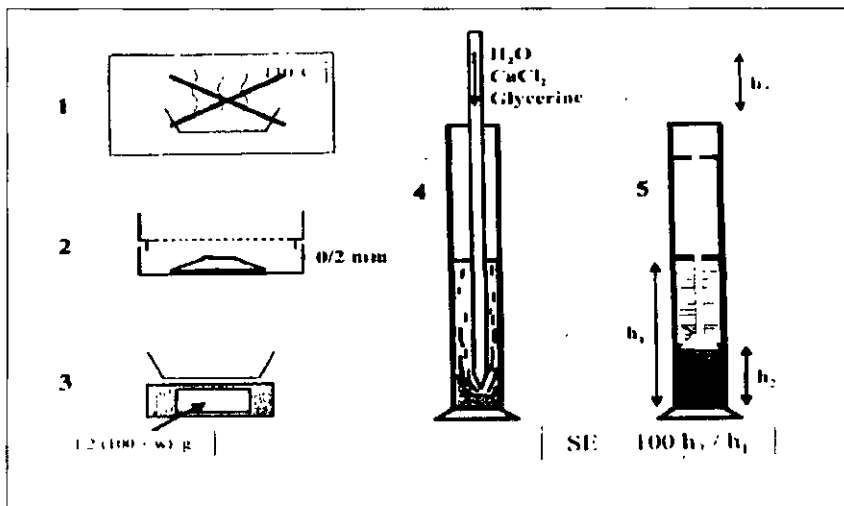
Azul VBta* f

a	<20	Riegos de sello BBM BBTM BBUM altos tránsitos
b	<25	Siempre en carpetas
c	<30	Bases negras y binder

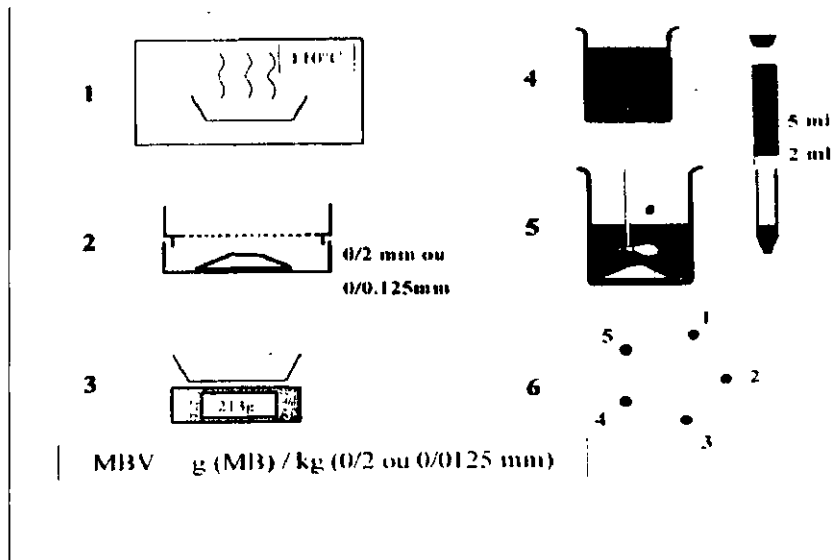
*f = % de filler de la fracción 0/2

VBta = Cantidad de azul (Polvo) en grs necesaria para saturar 100 grs de fillers.

MÉTODO DE PRUEBA: EQUIVALENTE DE ARENA (EN 933-8)



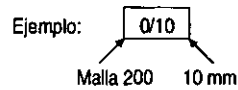
MÉTODO DE PRUEBA: AZUL DE METILENO (EN 933-9)



TÉCNICAS NUEVAS

CAPAS DE RODAMIENTO

BBM:	NO	0/10	0/14
Concretos Asfálticos Delgados:			
BBTM:	0/6	0/10	0/14
Concretos Asfálticos Muy Delgados			
BBUM:	0/6	0/10	0/14
Concretos Asfálticos Ultra Delgados:			
OTROS:	0/6	Drenantes	
Concretos Asfálticos Fónicos:			
Concretos Asfálticos Drenantes:	0/6	0/10	0/14



BBM: Concretos Asfálticos Delgados

Una familia muy numerosa

Mezclas para mantenimiento de primera generación

Características:

Granulometría: 0/10 0/14 (discontinuos o continuos)

% de finos: 8 a 12% para 0/10 - 0/14

% de asfalto: 5.5 a 6% para 0/10 - 0/14

Impermeabilidad:

Si fuerte discontinuidad -> Mediana

Si baja discontinuidad -> Buena

Rugosidad:

Buena a muy buena según tipo de fórmula (HSV de 0.7 a 1) (Mancha de Arena).

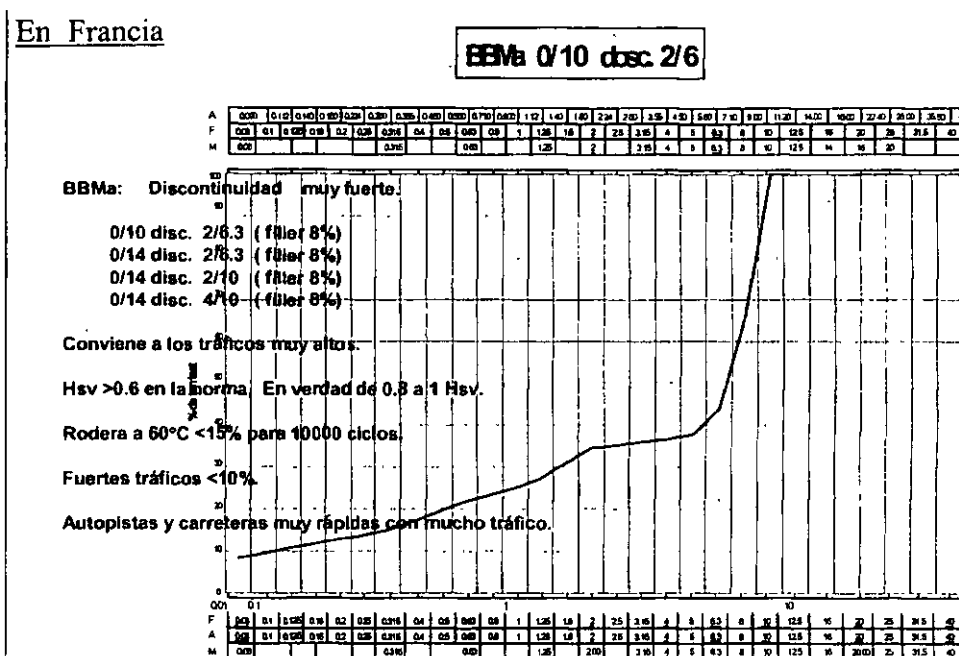
BBM: Concretos Asfálticos Delgados**Condiciones de utilización:**

- Baja deformabilidad del soporte
- Estado del soporte
- Liga al soporte
- Espesor 3 a 4 cm

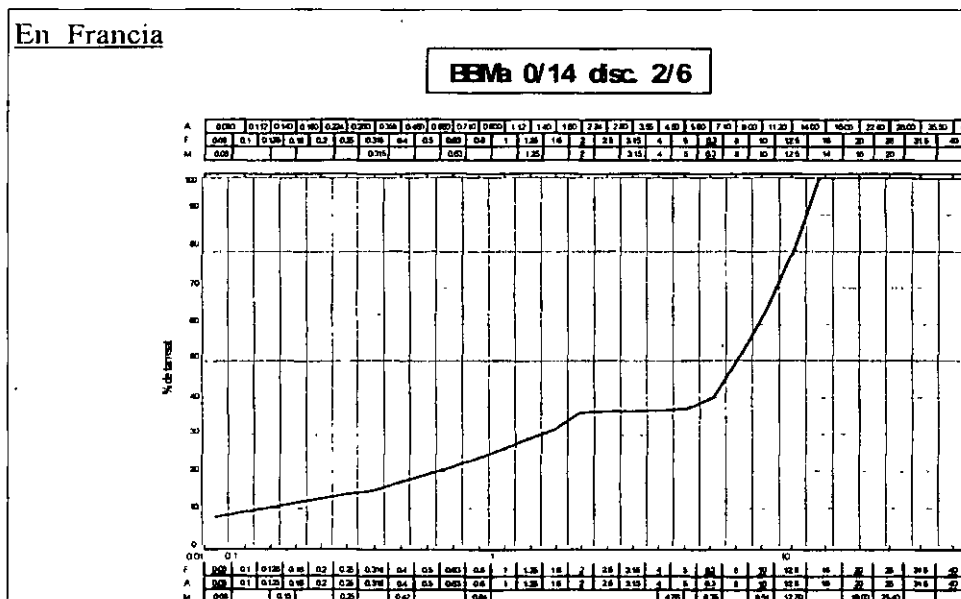
Recomendaciones de uso:

- Mantenimiento de las calzadas de baja deformabilidad
- Calzadas nuevas o reforzadas

CUANDO SE UTILIZA CADA TIPO DE MEZCLAS



CUANDO SE UTILIZA CADA TIPO DE MEZCLAS



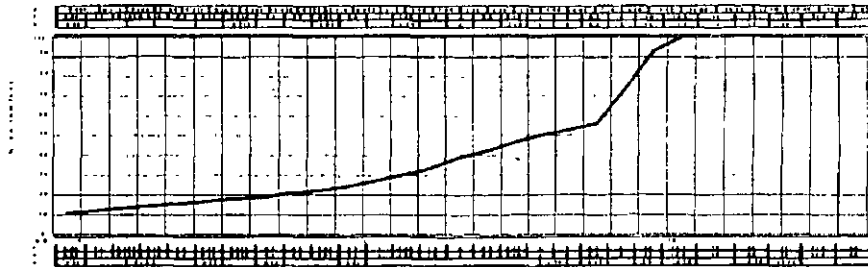
CUANDO SE UTILIZA CADA TIPO DE MEZCLAS

BBMb: Discontinuidad es pequeña.

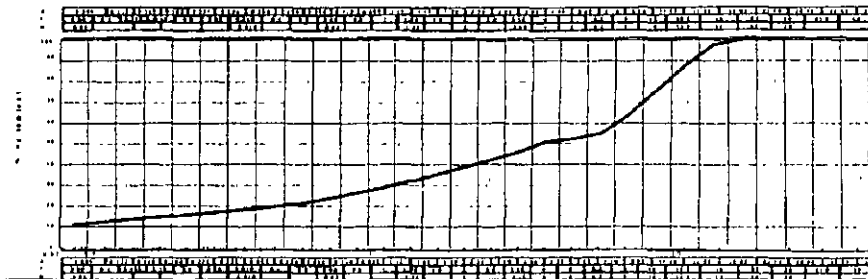
0/10 disc. 4/6.3 (filler 11%)

0/14 disc. 4/6.3 (filler 11%)

BBMb 0/10 disc. 4/6



BBMb 0/14 disc. 4/6



CUANDO SE UTILIZA CADA TIPO DE MEZCLAS

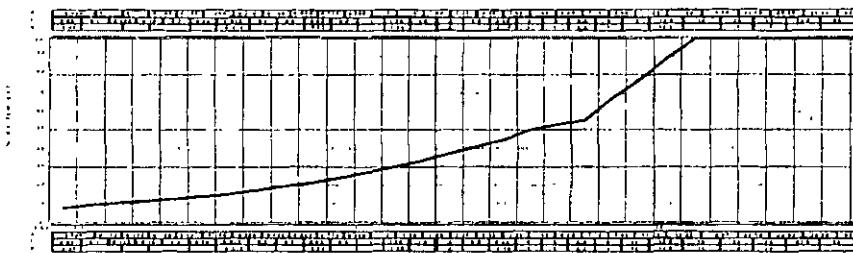
BBMc: Discontinuidad es pequeña.

0/10 disc. 4/6.3 (filler 8%)

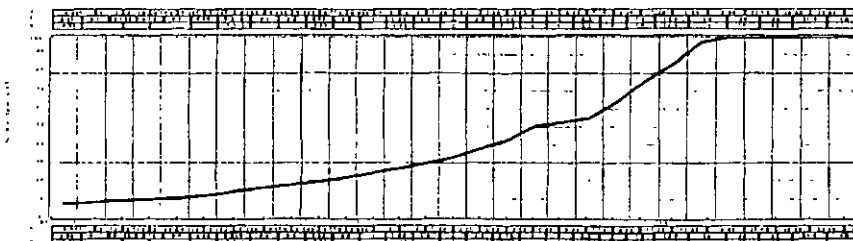
0/14 disc. 4/6.3 (filler 8%)

Tráficos ligeros. (calles urbanas).

BBMc 0/10 disc. 4/6



BBMc 0/14 disc. 4/6



BBTM: Concretos Asfálticos Muy Delgados

- Mezclas para mantenimiento de segunda generación
- Espesores entre 2 y cm: 40 a 60 kg/m²
- Excelente respuesta a los objetivos del mantenimiento de la superficie:

Granularidad: 0/6 0/10 0/14

%de finos: 5a10%

% de asfalto: 5.5 a 6%

Rugosidad (HsV de 1 a 1.2) (Mancha de Arena de Arena)

Drenabilidad de superficie

Costo menor

BBTM: Concretos Asfálticos Muy Delgados

- Cemento asfáltico puro:

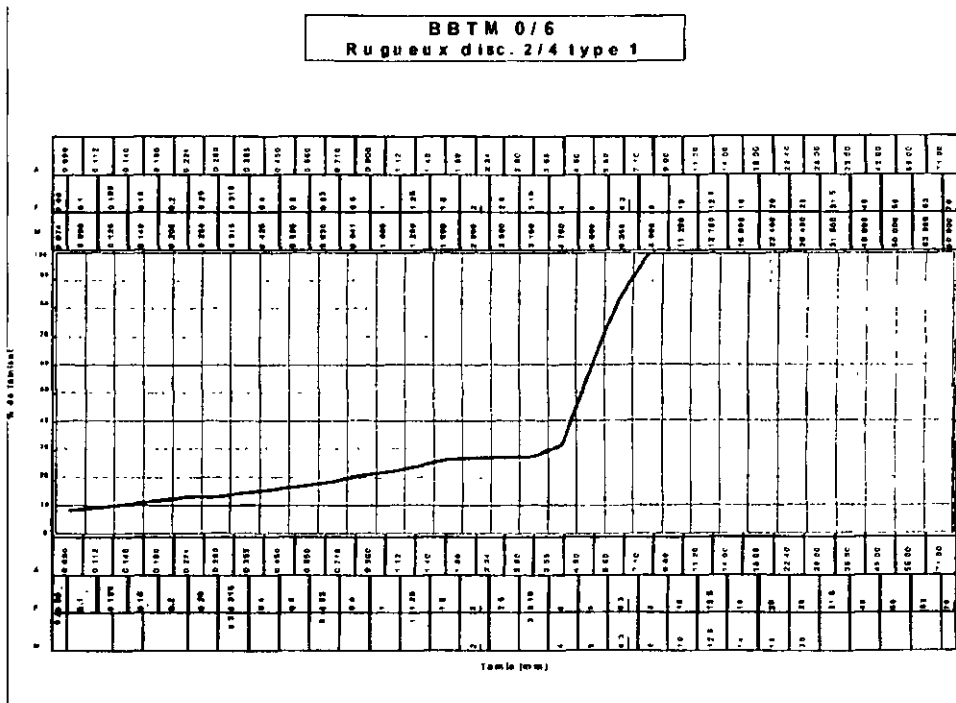
Posible para tránsito no demasiado fuerte <150 camiones/día

- Modificado:

El más aconsejado:

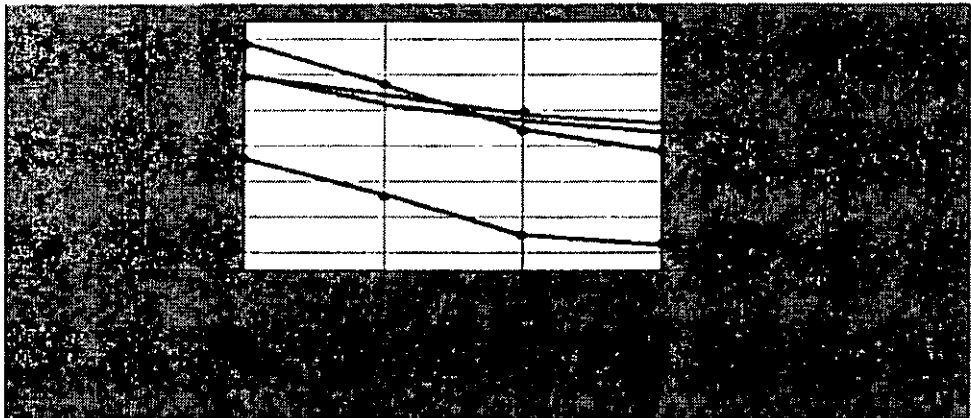
Prolonga la vida útil Superior desempeño mecánico

- Excelente rugosidad y drenabilidad de superficie
- Impermeabilización de la calzada hecha por el riego de liga
- Su desarrollo es muy importante
- Implica un soporte en muy buen estado
- BBTM: 0/6 0/10 0/14



BBTM: Concretos Asfálticos Muy Delgados

Diagrama CFL: Coeficiente de Fricción Longitudinal



BBUM: Concretos Asfálticos Ultra Delgados

- ▣ Mezclas para mantenimiento de 3a. generación
- ▣ Espesor de 1cm a 2 cm: 25 kg/m² a 40 kg/m²

- Excelente respuesta a los objetivos de mantenimiento de la superficie con un costo relativamente bajo.
- Granulometría mayormente 0/10 (0/6 en zonas urbanas)

BBUM: Concretos Asfálticos Ultra Delgados

Cemento asfáltico: Modificados (con fibras en algunos casos)

Muy raramente con asfaltos puros (Tránsito muy bajo)

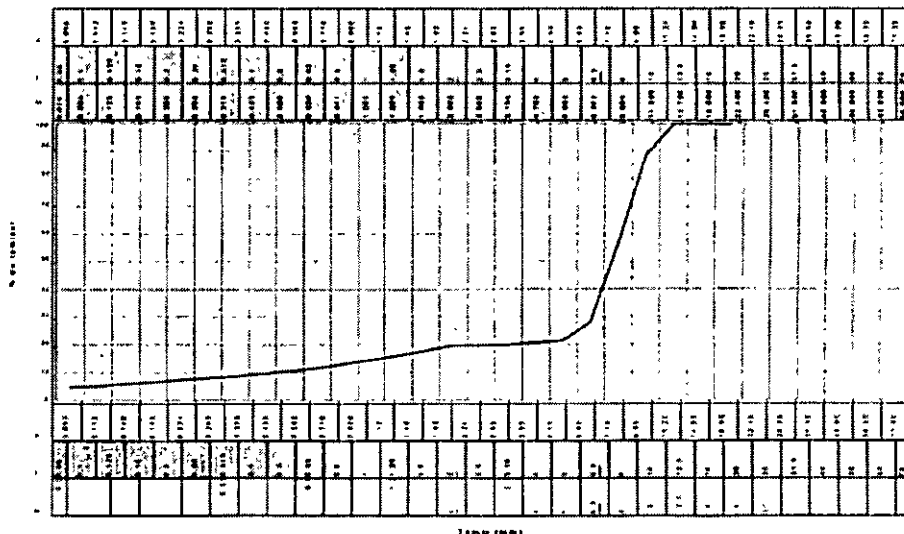
Excelente rugosidad

Importancia fundamental del riego de liga: Emulsión modificada indispensable

Por eso: Maquinaria de aplicación Específica

Pavimentadora Equipada de un tanque de Emulsión y una barra de riego, justo antes de colocar la mezcla.

BBUM 0/10 disc. 2/6



PRECAUCIONES INDISPENSABLES

CALIDAD DEL SOPORTE

- Deflexiones máximas
- Impermeabilización
- Tolerancias geométricas

TENDIDO

- Condiciones de temperatura
- Excelente calidad del riego de sello
- Compactación

CALIDAD DEL SOPORTE

DEFLEXIONES MÁXIMAS

	T3	T2	T1	T0
Tránsito	<150	150-300	300-750	750-1200
BBM/BBTM	100	80	65	50

Deflexiones medidas sobre por lo menos 10 cms de Mezcla Asfáltica

RIEGO DE LIGA

BBM	500 gr/m ² → 700 gr/m ²	Según Tránsito
BBTM	650 gr/m ² → 850 gr/m ² Tránsito	Modificada Fuertes
BBUM	650 gr/m ² → 850 gr/m ²	Modificada Siempre

DEFORMACIONES MÁXIMAS

BBM	0/10 - 0/14	< 2cm
BBTM	0/6 - 0/10 - 0/14	< 1cm
BBUM	0/6 - 0/10 - 0/14	< 1cm

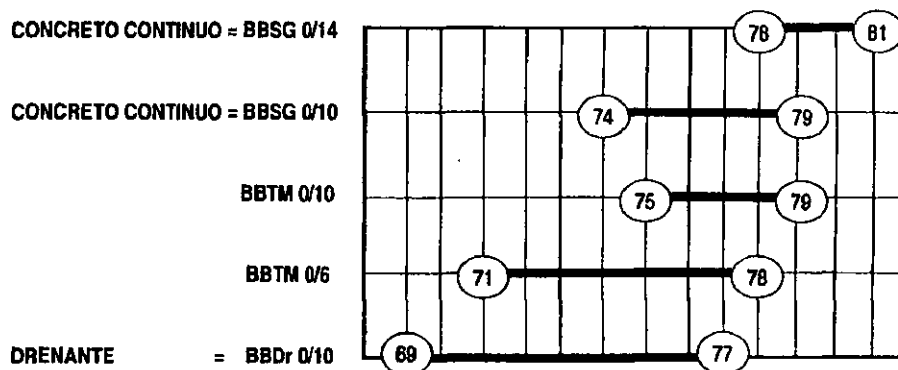
CONDICIONES DE TENDIDO

CONDICIONES DE TEMPERATURA			
	T°C Soporte	T°C Tornillos	T°C Compactación
BBM	> 10	> 150	> 135
BBTM			
BBUM			

CALIDAD DEL RIEGO DE LIGA			
	Equipo Tradicional		Máq. Específica
BBM	SI		Aconsejado
BBTM	No Aconsejado		Muy Aconsejado
BBUM	NO		Obligatorio

MEDIOS DE COMPACTACION			
	Vibración	Plancha	Neumático
BBM	SI	SI	Posible
BBTM	NO	SI	NO
BBUM	NO	SI	NO

COMPARATIVO DE LOS RUIDOS DE RODAMIENTO



*Informe de Laboratorio Regional de los Puentes y Caminos de Estrasburgo (Francia)