



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

"PAVIMENTOS ASFÁLTICOS"

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

JESÚS ELEAZAR VALENCIA RAMOS

DIRECTOR DE TESIS:

ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO



CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO D.F. 2008

PAVIMENTOS ASFÁLTICOS



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	5
1. MATERIALES.....	7
1.1 Materiales pétreos.....	7
1.2 Materiales asfálticos	13
2. EQUIPO	27
2.1 Petrolizadoras	28
2.2 Esparcidores	33
2.3 Fresadoras.....	35
2.4 Barredora	36
2.5 Extendedora o Finisher.....	38
2.6 Camiones de transporte	44
2.7 Compactación	44
3. PRUEBAS A LA CARPETA.....	50
3.1 Prueba Marshall.....	50
3.2 Método de diseño Marshall	50
3.3 Pruebas a las mezclas asfálticas compactadas.....	52
3.4 Prueba en campo.....	54
4. CARPETAS ASFÁLTICAS DE RIEGO.....	55
4.1 Carpetas de un riego	55
4.2 Carpeta de dos y tres riegos.....	57
5. CARPETAS DE MEZCLA EN PLANTA EN FRIO Y EN CALIENTE.....	61
5.1 Mezclas.....	61
6. PLANTAS DE ASFALTO	64
6.1 Plantas de Bachas	66
6.2 Plantas de mezcla asfáltica continua	71
7. RECICLADO DE PAVIMENTOS	76
7.1 Fresado	76
7.2 Ahorros logrados con el reciclaje	81
7.3 Clasificación	81
CONCLUSIONES.....	85
BIBLIOGRAFÍA	87

INTRODUCCIÓN

En la planeación y construcción de una obra vial se tienen que observar aspectos como la magnitud de esta y los programas de obra. Para ejecutar de manera adecuada la construcción se debe programar adecuadamente la obra, considerando la secuencia de las actividades que se llevarán a cabo y los tiempos de ejecución. Dentro del programa de obra se tiene que contemplar, además de las actividades propias de la construcción, las obras inducidas, debido a que juegan un papel muy importante en el desarrollo del mismo para evitar atrasos en el tiempo de construcción por interferencias en el trazo de la vialidad. En el caso de los pavimentos asfálticos, deberá también estudiarse la zona en la que se realizará la obra con objeto de identificar los materiales que se utilizarán y las posibles fuentes para el abastecimiento del mismo, así como su posible reaprovechamiento.

El tema de los asfaltos es muy extenso, el presente trabajo está dirigido a estudiantes de la carrera de ingeniería civil que se encuentran cursando, específicamente, la materia de pavimentos, y presenta los diferentes tipos de asfalto, sus orígenes, fabricación, producción de la mezcla en plantas asfálticas, equipo para su transporte y colocación, las especificaciones y las pruebas de control.

El trabajo está dividido en siete capítulos, los primeros dos se refieren a materiales y equipo, el tercero es acerca de las pruebas a la carpeta, específicamente a la Prueba Marshall, los siguientes tres capítulos explican los tipos de carpetas, mezclas y plantas asfálticas, y finalmente, en el capítulo siete se expone el tema de reciclado de pavimentos.

Para la selección de los agregados para las carpetas asfálticas se toman como base las normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes a través del Instituto Mexicano del Transporte referentes a granulometría, tipos de asfalto y emulsiones.

Una parte muy importante de la calidad de los pavimentos depende de sus componentes, donde los agregados, los asfaltos y procedimientos de fabricación tienen una gran importancia. Los agregados deben cumplir con ciertas características así como las emulsiones que se tienen que determinar a partir de factores que están relacionados con las condiciones de la zona geográfica y las especificaciones del proyecto.

Un pavimento debe funcionar dentro de su ambiente, dicho ambiente puede variar grandemente. Las variaciones ambientales pueden tener un impacto significativo en los materiales del pavimento y el subsuelo subyacente que pueden afectar drásticamente el funcionamiento del pavimento.

Se estudian las carpetas de riego y las carpetas de mezcla en planta, en estas, para que se lleve a cabo el mezclado se requiere que la mezcla asfáltica se produzca en una planta central y de ahí se transporte. Una planta de asfalto debe ser capaz de mezclar y calentar los agregados y el cemento asfáltico. De estas plantas existen dos tipos: plantas de asfalto de mezcla continua y discontinua (bachas).

El reciclado de los pavimentos es la reutilización de mezclas asfálticas retiradas (fresadas) de capas de firmes envejecidos, mediante un tratamiento en el que se añaden a las mezclas antiguas áridos y ligantes nuevos, y a veces un rejuvenecedor del ligante. Diseñadas adecuadamente se logran mezclas bituminosas recicladas que presentan un comportamiento similar a las convencionales. Por tanto, esta técnica presenta numerosas ventajas de entre las que se destacan las medioambientales y por supuesto las económicas.

1. MATERIALES

1.1 Materiales pétreos

Petreus = pedregoso. Son los materiales naturales, o estos adaptados por el hombre, que sirven como base para elaborar elementos componentes de una obra civil o arquitectónica. Dichos materiales se obtienen de las rocas y se utilizan para construcción y ornamentación, se extraen de canteras y se pueden encontrar en grandes bloques o losas, como el mármol y el granito, o en fragmentos y gránulos, como la arena y la grava, llamados también agregados.

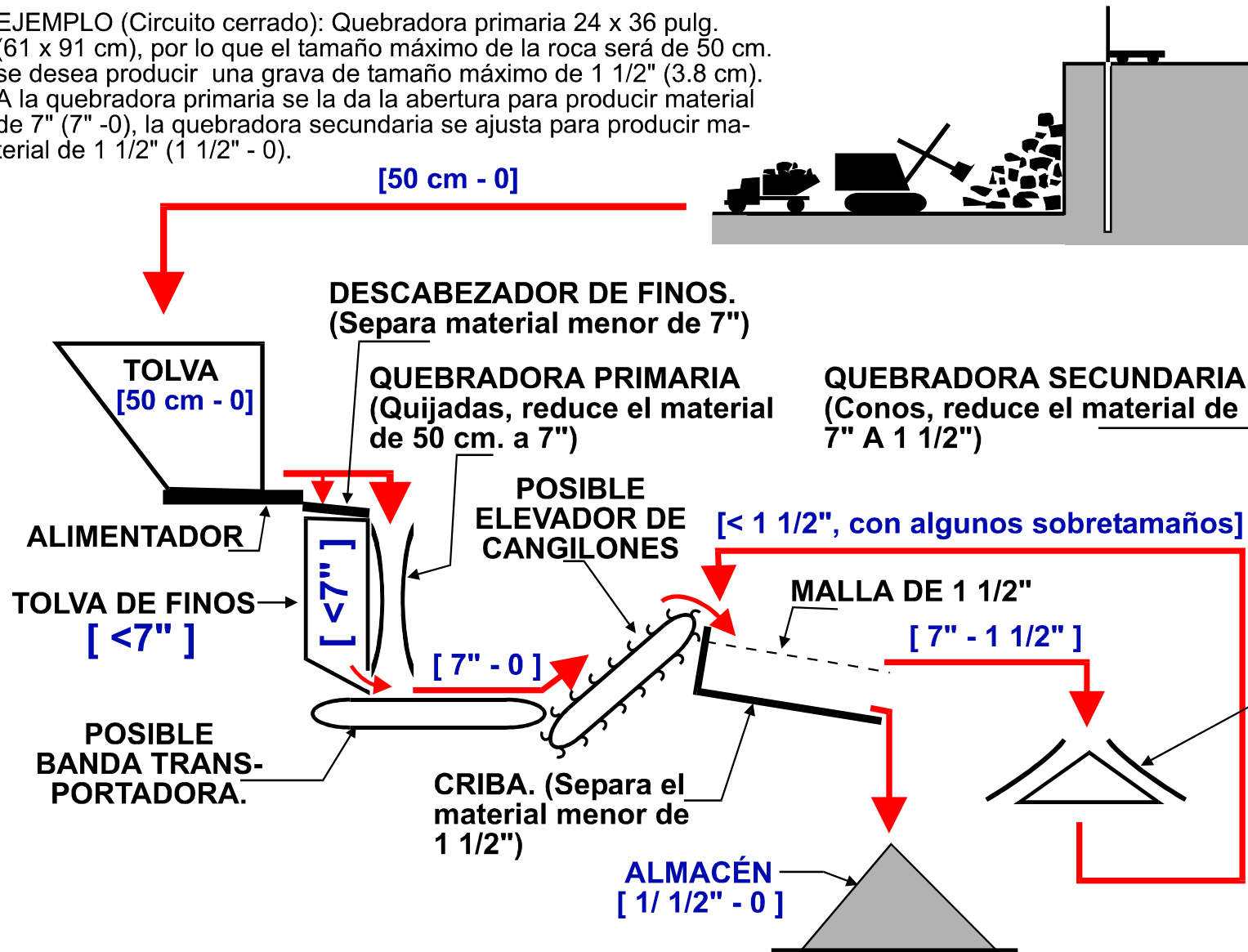
1.1.1 Agregados

El “agregado” es un término colectivo para la arena, la grava y los materiales minerales de piedra en su estado natural o procesado. La carga aplicada a un pavimento es llevada sobre todo por los agregados en la mezcla. El agregado de una mezcla comprende del 90 al 95% del peso del material. Los buenos agregados y su granulometría apropiada son críticos para el buen funcionamiento de la mezcla. Idealmente, una graduación de agregados debe cumplir con la condición que requiera la cantidad mínima de cementante (que es lo más costoso del asfalto). El cemento asfáltico llena la mayor parte de los vacíos entre las partículas que lo componen.

Generalmente, el proyectista especificará una gama de las graduaciones permisibles para una mezcla de pavimento asfáltico, la granulometría de los agregados permisibles es señalada por el tamaño máximo de agregado nominal, los más usados en pavimentos son de 1½", 1", ¾", ½", y ⅜".

Mientras se realiza el proceso de diseño de la mezcla asfáltica, las proporciones necesarias de cada tamaño agregado son determinadas. Durante la producción del asfalto, los agregados se mezclan. El método usado para combinar los agregados depende del tipo de producción. Además de la granulometría, la limpieza, la resistencia al desgaste, la abrasión, la textura, la porosidad, y la adherencia (fuerza que evita el desprendimiento entre el asfalto y el agregado), es importante la cantidad de material orgánico, ya que este material presente en el agregado reducirá la capacidad de carga de un pavimento. La inspección visual puede identificar un problema de agregado limpio.

EJEMPLO (Circuito cerrado): Quebradora primaria 24 x 36 pulg. (61 x 91 cm), por lo que el tamaño máximo de la roca será de 50 cm. se desea producir una grava de tamaño máximo de 1 1/2" (3.8 cm). A la quebradora primaria se le da la abertura para producir material de 7" (7" - 0), la quebradora secundaria se ajusta para producir material de 1 1/2" (1 1/2" - 0).



1.1.2 Orígenes y Producción de Agregados

Los agregados pueden ser naturales o manufacturados. Los agregados manufacturados se extraen generalmente de formaciones de roca más grandes a través de una excavación abierta. La roca se excava de las paredes del banco, después se reduce generalmente de tamaño usando una serie de cribas y de trituradoras, y cuando es necesario debe lavarse el agregado. Los agregados son típicamente subproductos industriales cuyas características físicas particulares no son encontradas en la roca natural.

La industria del pavimento confía típicamente en las características físicas para la determinación del funcionamiento, dichas características son:

Tamaño máximo: El tamaño máximo del agregado puede producir en los asfaltos, la inestabilidad que puede ser resultado de tamaños excesivamente pequeños; y la capacidad para trabajar y/o las segregaciones pobres pueden resultar de los tamaños excesivamente grandes.

Granulometría: La granulometría es medida generalmente por un análisis de cribas. En un análisis de cribas, una muestra del agregado seco del peso conocido se separa con una serie de cribas con aberturas progresivamente más pequeñas. Una vez que está separado, el peso de partículas conservadas en cada criba se mide y se compara con el peso total de la muestra. La distribución de tamaño de partículas entonces se expresa como por ciento acumulado por peso en cada tamaño de criba. Los resultados se expresan generalmente en formato tabular o en una gráfica semilogarítmica.

Requisitos de granulometría del material pétreo para carpetas asfálticas.

Malla		Tamaño nominal del material pétreo mm (in)					
Abertura mm	Designación	12.5 (1/2)		19 (3/4)		25 (1)	
		Porcentaje que pasa					
		Límites		Límites		Límites	
		Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior
37.5	1 1/2"						
25	1"						100
19	3/4"				100	90	100
12.5	1/2"		100	90	100	76	89
9.5	3/8"	90	100	79	92	67	82
6.3	1/4"	76	89	66	81	56	71
4.75	No. 4	68	82	59	79	50	64

2	No. 10	48	64	41	55	36	46
0.85	No. 20	33	49	28	42	25	35
0.425	No. 40	23	37	20	32	18	27
0.25	No. 60	17	29	15	25	13	21
0.15	No. 100	12	21	11	18	9	16
0.075	No. 200	7	10	6	9	5	8

Dureza y Resistencia a la Abrasión: Los agregados deben ser duros y bastante resistentes a la compresión, la degradación y desintegración durante actividades tales como fabricación, almacenamiento, producción, colocación y compactación.



PLANTA TRITURADORA



OBTENCIÓN DE AGREGADOS

Durabilidad: Los agregados deben ser resistentes a la acción de agentes atmosféricos, es decir, a su desintegración y desgaste ya que si no son suficientemente durables pueden causar fallas prematuras del pavimento.

Peso Específico: El peso específico es utilizado en la fabricación para analizar conversiones del peso-volumen y en calcular el contenido de vacíos en la mezcla asfáltica.

Limpieza: Los agregados deben estar relativamente limpios cuando están utilizados en las mezclas asfálticas. La vegetación, las partículas suaves, los terrones de la arcilla, exceso del polvo y la materia vegetal pueden afectar su funcionamiento degradando rápidamente el producto.

1.1.3 Especificaciones S.O.P.

La curva granulométrica del material pétreo para mezclas en el lugar deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el límite superior de la zona 2. De la figura, la zona 1 corresponde a materiales pétreos de granulometría gruesa y la zona 2 a los materiales pétreos de granulometría fina. La curva granulométrica del material pétreo deberá afectar una forma semejante a la de las

curvas que limitan las zonas, por lo menos en las dos terceras (2/3) partes de la longitud sin presentar cambios bruscos de pendiente.

MATERIALES PÉTREOS QUE SE EMPLEEN EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN EL LUGAR

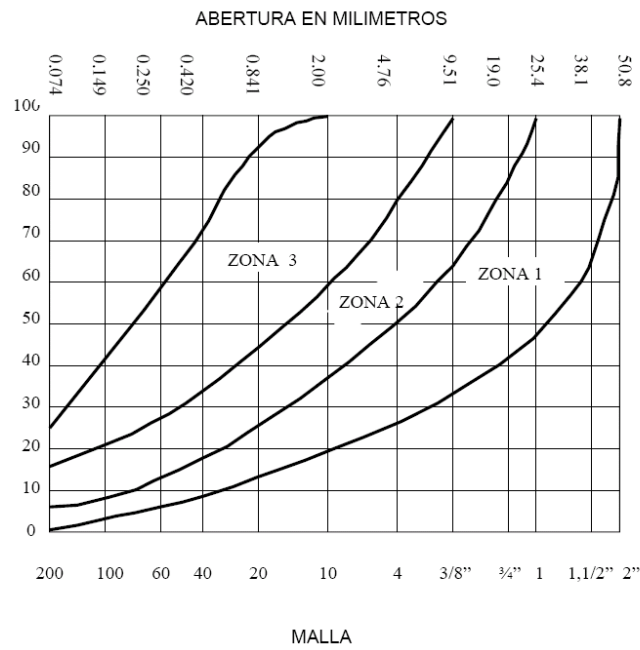


Figura 1

Y además deberán cumplir los siguientes requisitos:

a) De contracción lineal.

a.1) Cuando la curva granulométrica del material pétreo quede ubicada en la zona 1, de la figura 1.....3% máximo.

a.2) Cuando la curva granulométrica del material pétreo quede ubicada en la zona 2, de la figura 1.....2% máximo.

b) De desgaste Los Ángeles, para cualquier tipo de material pétreo....40% máximo.

c) De forma de las partículas. Alargadas y/o en forma de laja.....35% máximo.

d) De afinidad con los asfaltos. Debe cumplir cuando menos con dos de las siguientes pruebas:

d.1) Desprendimiento por fricción.....25% máximo.

- d.2) Cubrimiento con asfalto.....90% mínimo.
- d.3) Pérdida de estabilidad por inmersión en agua.....25% máximo.
- e) Equivalente de arena.....55% mínimo.

1.1.4 Materiales pétreos para carpetas de riego

Los materiales pétreos que se empleen en la construcción de carpetas asfálticas por el sistema de riegos, se denominarán como se indica en la tabla siguiente:

Denominación del material pétreo	Que pase por malla de		Y se retenga en malla de	
1	25.4	1"	12.7	1/2"
2	12.7	1/2"	6.3	1/4"
3-A	9.5	3/8"	6.58	No.8
3-B	6.3	1/4"	6.58	No.8
3-E	9.5	3/8"	4.75	No.4

Y debe cumplir las siguientes granulometrías:

MALLA		Denominación del material pétreo				
Abertura mm	Designación	1	2	3-A	3-B	3-C
		Porcentaje que pasa				
31.8	1 1/4"	100	--	--	--	--
25.4	1"	95 min	--	--	--	--
19.1	3/4"	--	100	--	--	--
12.7	1/2"	5 max	95 min	100	--	100
9.5	3/8"	--	--	95 min	100	95 min
6.3	1/4"	0	5 max	--	95 min	--
4.75	No.4	--	--	--	--	5 max
6.58	No.8	--	100	95 min	95 min	100
2	No.10	--	0	5 max	5 max	0
0.425	No.40	--	--	0	0	--

Además estará libre de polvo, de materia orgánica y de cualquier otro material extraño al pétreo, su humedad será como máximo la humedad de absorción y deberá pasar las siguientes pruebas:

- De desgaste Los Ángeles, para cualquier tipo de material pétreo.....30% máximo.
- De intemperismo acelerado.....12% máximo.
- De forma de las partículas, para partículas alargadas y/o en forma de laja..... 35% máximo.
- De afinidad con el asfalto:

- d.1) Desprendimiento por fricción.....25% máximo.
- d.2) Cubrimiento con asfalto.....90% mínimo.

1.2 Materiales asfálticos

Los materiales asfálticos se emplean en la elaboración de carpetas, morteros, riegos y estabilizaciones, ya sea para aglutinar los materiales pétreos utilizados para ligar o unir diferentes capas del pavimento o bien para la estabilización de suelos.

Los materiales asfálticos se clasifican en:

- cementos asfálticos
- emulsiones asfálticas
- asfaltos rebajados

Dependiendo del vehiculo que se emplee para su incorporación.

1.2.1 Definición de asfalto

El asfalto es un material bituminoso sólido o semisólido con propiedades adherentes que se licua por calentamiento, en el cual los constituyentes predominantes son betunes (o bitúmenes). Existe en forma sólida o semisólida en la naturaleza, o que es producido por la destilación del petróleo crudo. Este proceso puede ocurrir naturalmente, dando por resultado los lagos de asfalto.

En forma sólida, el asfalto es un medio cementante (aglutinante), duro y de gran duración. Mediante el asfalto ha sido posible el uso de agregados pétreos para la construcción de pavimentos permanentes de buena calidad. Al mismo tiempo es el asfalto uno de los conservadores mejor conocidos por el hombre y es posiblemente el material impermeabilizante más útil que existe. El asfalto es fácilmente manejable para todos los usos y puede ser transformado a formas sólidas o líquidas; moldeado para dar cualquier forma y trabajado para revestimientos relativamente delgados. Para las carpetas se utilizan materiales bituminosos, incluyendo los naturales o los asfaltos del petróleo, los alquitranes o betún, de mezcla de hidrocarburos de origen natural que pueden ser sólidos, semisólidos líquidos. El éxito de una pavimentación depende de tres elementos dominantes en el proceso, éstos son:

1. Los tipos y la granulometría del agregado.
2. El tipo y la condición de la carpeta; y
3. El método de construcción utilizado.

1.2.2 Características Físicas del Asfalto

El asfalto se puede clasificar por su composición química y características físicas. La industria del pavimento confía típicamente en las características físicas para la caracterización del funcionamiento.



MUESTRAS DE LABORATORIO DE ASFALTOS

Durabilidad. La durabilidad es una medida de como las características físicas de la carpeta de asfalto cambian con la edad. Generalmente cuando la carpeta de asfalto envejece, su viscosidad aumenta y llega a ser más rígida y frágil.

Reología. La reología es el estudio de la viscosidad, la plasticidad, la elasticidad y en general la deformación y del flujo de la materia. La deformación y el flujo de la carpeta de asfalto son importantes en el funcionamiento del pavimento. Los pavimentos de mezcla asfáltica que se deformen demasiado debido al flujo pueden ser susceptibles a llenarse de baches, mientras que los que son demasiado rígidos pueden agrietarse debido a fatiga.

Seguridad. Al colocar el asfalto, el cemento como la mayoría de los otros materiales, volatiliza (emite vapor) cuando se está calentado.

En las temperaturas altas sufridas durante su fabricación y construcción el cemento del asfalto puede lanzar bastante vapor para aumentar la concentración volátil inmediatamente sobre el cemento asfáltico a un punto donde se encenderá cuando está expuesto a una chispa o a una llama abierta. Esto se llama el punto de ignición. Por razones de seguridad, el punto de ignición del cemento del asfalto se prueba y se controla.

Pureza. El cemento asfáltico, como el utilizado en mezclas de asfalto caliente, debe ser betún casi puro. Las impurezas no son componentes de cementación activos y pueden ser perjudiciales al funcionamiento del asfalto.

1.2.3 Materiales asfálticos (para todas las carpetas)

El asfalto, en su estado natural, es sólido a la temperatura ambiente y no se puede trabajar fácilmente. Para ello existen los asfaltos rebajados y las emulsiones asfálticas.

1.2.4 Asfaltos rebajados

Para trabajar el asfalto con facilidad se disuelve en varios derivados de hidrocarburos como se muestra a continuación:

- Asfaltos de fraguado rápido identificados como "FR" cuando están disueltos en gasolinas que, al regarlos, el solvente se evapora rápidamente.
- Asfaltos de fraguado medio, identificados como "FM" cuando están disueltos en kerosenos que, al regarlos, el solvente se evapora a mediana velocidad.
- Asfaltos de fraguado lento identificados como "FL" cuando están disueltos en aceites ligeros que, al regarlos, el solvente se evapora lentamente.

Cada una de estas identificaciones va seguida de un número que indica su viscosidad. FR-3, FM-1 y FL-0 son los más usuales.

La viscosidad se regula con la proporción asfalto-solvente. Entre más solvente menos viscosidad.

Cuando estos asfaltos rebajados son regados la superficie específica crece mucho y se facilita la evaporación de los solventes volviendo el asfalto a su estado natural. A este hecho se le llama fraguado.

El FR-3 se usa comúnmente para riegos de sello, riegos de liga, mezclas con agregados y carpetas de riegos.

El FM-1 se usa comúnmente para impregnar bases, donde se requiere tiempo para la penetración del asfalto en la capa.

El FL-0 se usa en aquellos casos que se requiere largo tiempo para que el asfalto trabaje. Se usa cuando como sustituto del FM-1 en impregnación cuando la capa está muy cerrada y se requiere mayor tiempo para la penetración.

a) Asfaltos rebajados de fraguado rápido

Características	Grado				
	FR-0	FR-1	FR-2	FR-3	FR-4
<u>Pruebas al material asfáltico</u>					
Punto de inflamación (copa abierta a Tag), °C mínimo			27	27	27
Viscosidad Saybolt-Furol:					
a 25°C, segundos	75-150				
a 50°C, segundos		75-150			
a 60°C, segundos			100-200	250-500	
a 82°C, segundos					125-250
Destilación: porciento del total destilado a 360°C					
Hasta 190°C, mínimo	15	10			
Hasta 225°C, mínimo	55	50	40	25	8
Hasta 260°C, mínimo	75	70	65	55	40
Hasta 315°C, mínimo	90	88	87	83	80
Residuo de la destilación a 360°C. Por ciento del volumen total por diferencia, mínimo	50	60	67	73	78
Agua por destilación, por ciento, máximo	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
<u>Pruebas al residuo de la destilación</u>					
Penetración, grados	80-120	80-120	80-120	80-120	80-120
Ductilidad en centímetros, mínimo	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

b) Asfaltos rebajados de fraguado medio

Características	Grado				
	FM-0	FM-1	FM-2	FM-3	FM-4
<u>Pruebas al material asfáltico</u>					
Punto de inflamación (copa abierta a Tag), °C mínimo	38	38	66	66	66

Viscosidad Saybolt-Furol:

a 25°C, segundos	75-150				
a 50°C, segundos		75-150			
a 60°C, segundos			100-200	250-500	
a 82°C, segundos					125-250

Destilación: porciento del total destilado a 360°C

Hasta 225°C, mínimo	25	20	10	5	0
Hasta 260°C, mínimo	40-70	25-65	15-55	5-40	30 Máx
Hasta 315°C, mínimo	75-93	70-90	60-87	55-55	40-80

Residuo de la destilación a 360°C. Por ciento del volúmen total por diferencia, mínimo

50	60	67	73	78
----	----	----	----	----

Agua por destilación, por ciento, máximo

0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
-----	-----	-----	-----	-----

Pruebas al residuo de la destilación

Penetración, grados	120-300	120-300	120-300	120-300	120-300
Ductilidad en centímetros, mínimo	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

c) Asfaltos rebajados de fraguado lento

Características	Grado				
	FL-0	FL-1	FL-2	FL-3	FL-4
<u>Pruebas al material asfáltico</u>					
Punto de inflamación (copa abierta de Cleveland), °C mínimo	66	66	80	93	107
Viscosidad Saybolt-Furol:					
a 25°C, segundos	75-150				

a 50°C, segundos	75-150				
a 60°C, segundos	100-200		250-500		
a 82°C, segundos	125-250				
Destilación: destilado total a 360°C, por ciento en volumen	15-10	10-30	5-25	2-15	10 Máx
Agua por destilación, por ciento, máximo	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Resiguo asfáltico de 360° de penetración por ciento, mínimo	40	50	60	70	75
Pruebas al residuo de la destilación					
Flotación en el residuo de la destilación, a 25°C, segundos	15-100	20-100	25-100	50-125	60-150
Ductilidad del residuo asfáltico de 100 grados de penetración, 25°C, cm. mínimo	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

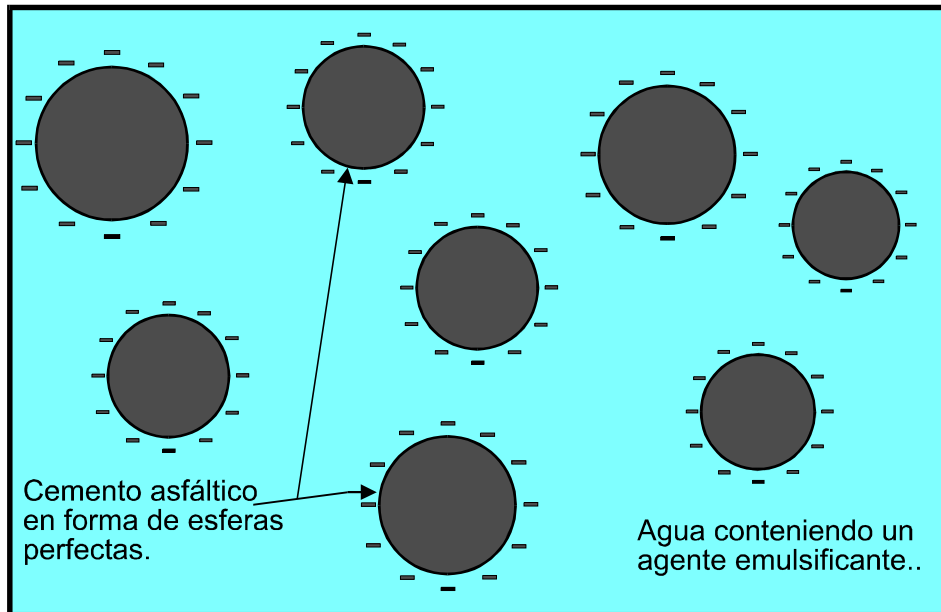
1.2.5 Emulsiones asfálticas

Una emulsión consiste en una dispersión de pequeñas partículas de un líquido dentro de otro líquido. En el caso de las emulsiones asfálticas se trata de una dispersión de asfalto en agua. Al agua, entonces, se le llama *matriz* de la emulsión.

Como el agua y el asfalto no se mezclan si dispersamos aceite en agua, por medio de una agitación enérgica, las partículas de asfalto tenderán a reagruparse rompiéndose la emulsión.

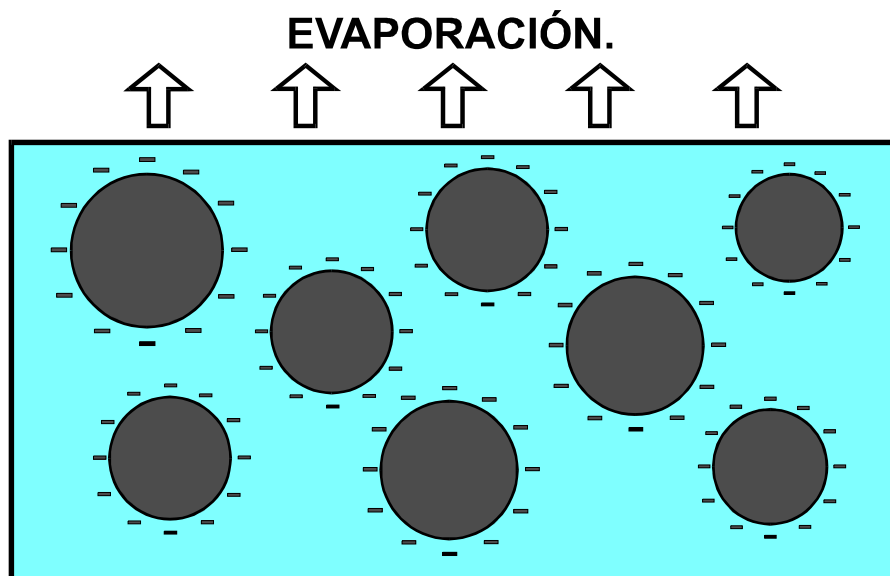
Para evitar esto se usa un emulsificante que, ionizándose y disolviéndose en el asfalto, hacen que las partículas de éste se carguen eléctricamente con el mismo signo. En consecuencia se rechazan y no se reagrupan formando una emulsión estable.

El jabón, estearato de sodio, puede ser un buen ejemplo de emulsificante, ya que el ión estearato (electronegativo) se disuelve en el asfalto haciendo que los glóbulos de asfalto se carguen negativamente rechazándose unos a otros y la emulsión permanece estable.

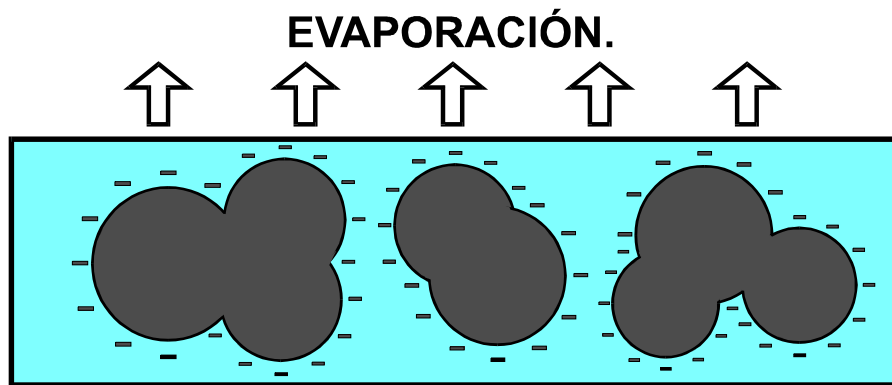


Emulsión asfáltica.

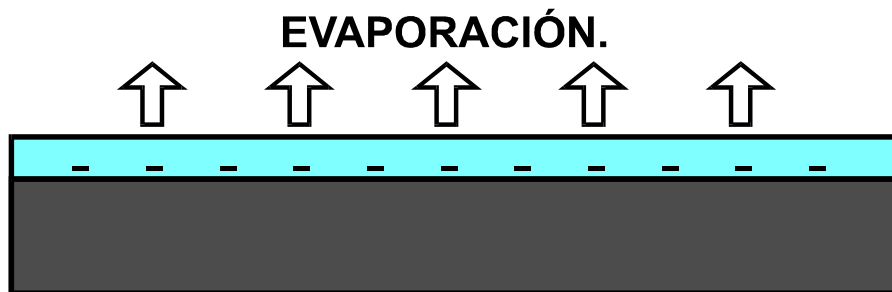
Cuando la emulsión se riega sobre una base o sobre agregados, la superficie expuesta aumenta sobre manera y el agua se evapora rápidamente con lo que las partículas de asfalto se tienen que acercar y terminan agrupándose nuevamente. A esto se le llama *romper la emulsión*.



Con la evaporación del agua las partículas se juntan.



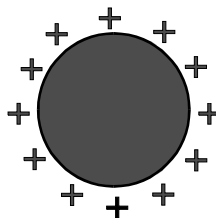
Al continuar la evaporación las partículas se empiezan a agrupar.



Al final las partículas de asfalto se unen en una sola fase electronegativa.

Esta clase de emulsiones electronegativas son alcalinas se llaman *emulsiones aniónicas* y tienen gran afinidad con agregados derivados de rocas electro positivas, como son las calizas y las dolomitas.

Por lo tanto no tendrán afinidad con agregados electro negativo como son todos los materiales silicosos. Para ello se han creado emulsiones electropositivas (catiónicas) con emulsificantes como el bromuro de cetil-trimetril-amonio, que genera partículas electropositivas.



Modelo de glóbulo de asfalto electropositivo.

El fenómeno es igual que en las emulsiones electronegativas, excepto por que ahora las partículas son electropositivas y la masa de asfalto final también es electropositiva.

Las emulsiones asfálticas también se clasifican en:

- Emulsiones asfálticas de rompimiento rápido (RR)
- Emulsiones asfálticas de rompimiento medio (RM)
- Emulsiones asfálticas de rompimiento lento (RL)

Esta identificación va seguida de un número (p.ej: RR-3, RM-1 y RL-0) que es un índice de la viscosidad de la emulsión.

Para distinguir las emulsiones aniónicas de las catiónicas a éstas se agrega una "K" al final (p.ej: RR-3K, RM-1K y RL-0K, que son las más usuales)

El rompimiento rápido, medio o lento se consigue variando el porcentaje de emulsificante en el agua. Entre menos emulsificante más rápido el rompimiento. La viscosidad varía en función del porcentaje de asfalto en el agua y del diámetro de los glóbulos.

Igual que en los asfaltos rebajados las emulsiones RR se usan en riegos de sello, en carpetas de riegos, en carpetas de mezcla en el lugar y en bacheos. Las emulsiones RM se usan cuando se requiere un cierto tiempo del trabajo de la emulsión como es el caso de la impregnación de bases. Las emulsiones RL solo se usan cuando se necesita un largo tiempo de trabajo de la emulsión, como en una impregnación cuando la base está muy cerrada.

d.1) Emulsiones asfálticas aniónicas

Características	Grado				
	RR-1	RR-2	RM-2	RL-1	RL-2
<u>Pruebas al material asfáltico</u>					
Viscosidad Saybolt-Furol					
a 25°C, segundos	20-100		100 Mín	20-100	20-100
a 50°C, segundos		75-400			
Residuo de la destilación por ciento en peso, mín.	57	62	62	57	57
Asentamiento en 5 días, diferencia en por ciento, máx.	3	3	3	3	3
Demulsibilidad:					
35 ml de 0.02 NCaCl ₂ , por ciento, mínimo	60	50			

50 ml de 0.01 NCaCl ₂ , por ciento, mínimo			30		
Retenido en la malla Núm. 20, por ciento, máximo	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Miscibilidad con cemento Portland, por ciento, máximo				2	2
Pruebas al residuo de la destilación					
Penetración, 25°C, 100 g, 5 segundos, grados	100-200	100-201	100-202	100-203	40-90
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo	97.5	97.5	97.5	97.5	97.5
Ductilidad, 25°C, cm, mínimo	40	40	40	40	40

d.2) Emulsiones asfálticas catiónicas

Características	Grado					
	Rompimiento rápido		Rompimiento medio		Rompimiento lento	
	RR-2K	RR-3K	RM-2K	RM-3K	RL-2K	RL-3K
Pruebas al material asfáltico						
Viscosidad Saybolt-Furol a 25°C, segundos					20-100	20-100
a 50°C, segundos	20-100	100-400	50-500	50-500		
Residuo de la destilación por ciento en peso, mín.	60	65	60	65	57	57
Asentamiento en 5 días, diferencia en por ciento, máx.	5	5	5	5	5	5
Retenido en la malla Núm. 20, por ciento, máximo	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Cubrimiento del agregado (en condiciones de trabajo) prueba de resistencia al agua:			80	80		
Agregado seco, por ciento de cubrimiento, mínimo			60	60		
Miscibilidad con cemento Portland, por ciento, máximo					2	2
Carga de la partícula	POSITIVA	POSITIVA	POSITIVA	POSITIVA		

Disolvente en volúmen, por ciento, máximo	3	3	20	12		
Pruebas al residuo de la destilación						
Penetración, 25°C, 100 g, 5 segundos, grado	100-250	100-250	100-250	100-250	100-200	40-90
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo		97	97	97	97	97
Ductilidad, 25°C, cm. mínimo		40	40	40	40	40

NOTA: La viscosidad de la emulsiones no debe aumentar más de treinta por ciento (30%) al bajar su temperatura de veinte grados centígrado (20°C) a diez grados centígrado (10°C), ni bajar más de treinta por ciento (30%) al subir su temperatura de veinte grados centígrados (20°C) a cuarenta grados centígrados (40°C).

Por otra parte, los materiales asfálticos deberán almacenarse en depósitos que reúnan los requisitos necesarios para evitar contaminaciones y estarán protegidos contra incendios, fugas y pérdidas excesivas de disolventes.

Cuando se usan asfaltos rebajados se contará con un calentador y una bomba para poder hacer la carga a la petrolizadora.

Las temperaturas de los materiales asfálticos en el momento de su empleo serán las siguientes:

a) Asfaltos rebajados de fraguado lento

FL-0 de 20 a 30°C
 FL-1 de 30 a 45°C
 FL-2 de 75 a 85°C
 FL-3 de 85 a 95°C
 FL-4 de 95 a 100°C

b) Asfaltos rebajados de fraguado medio:

FM-0 de 20 a 40°C
 FM-1 de 30 a 60°C
 FM-2 de 70 a 85°C
 FM-3 de 80 a 95°C
 FM-4 de 90 a 100°C

c) Asfaltos rebajados de fraguado rápido:

FR-0 de 20 a 40°C

FR-1 de 30 a 50°C

FR-2 de 40 a 60°C

FR-3 de 60 a 80°C

FR-4 de 80 a 100°C

d) Emulsiones asfálticas

Por lo general no requieren calentamiento. (Se usan de 5 a 40°C)

No deberán aplicarse riegos de materiales asfálticos cuando la temperatura sea menor de 5°C, cuando haya amenaza de lluvia o cuando la velocidad del viento impida que la aplicación sea uniforme.

1.2.6 Cemento Asfáltico

Es el material preparado en una planta caliente de mezcla y es usado para las carreteras o los campos de aviación que tienen altos volúmenes de tráfico y cargas de las llantas.

Algunos agregados y cementos asfálticos tienen problemas de afinidad y el asfalto se separará del agregado durante la vida útil del pavimento. Este problema se evalúa durante el diseño de mezcla, y si las pruebas indican la posibilidad de que exista desprendimiento, es necesario un aditivo que evite este fenómeno, el cual será especificado. Los materiales líquidos que previenen el desprendimiento se agregan al cemento asfáltico caliente durante la producción de la mezcla.

El cemento refinado del asfalto es un material visco-elástico que se comporta como líquido en las temperaturas altas y como sólido elástico en las bajas temperaturas. En las temperaturas de funcionamiento del pavimento, el cemento asfáltico tiene una consistencia semisólida. Para la construcción, el cemento se debe calentar para estar en estado líquido y adherirse a los agregados de la mezcla.

El cemento asfáltico se puede calentar a una condición líquida, aproximadamente a 155°C, antes de mezclarse con los agregados, o convertirlo a un producto líquido por la dilución o la emulsificación.

1.2.7 Asfaltos modificados

Entre los materiales innovadores están los asfaltos modificados que se utilizan en las mezclas asfálticas de alto rendimiento, especialmente pensadas para evitar las deformaciones y fatigas, y las emulsiones asfálticas que se emplean en técnicas de conservación de los pavimentos.

1.2.7.1 Asfalto con fibras de celulosa (SMA): Es una mezcla asfáltica de gran estabilidad y duración, formada por agregados pétreos de alta calidad. Con granulometría discontinua que permite obtener una estructura granular gruesa con contacto entre partículas y maximizando la fricción interna de la mezcla. El SMA está formado por relleno árido (material fino), ligante asfáltico que puede ser tanto cemento asfáltico tradicional o modificado y fibras. Resiste la fatiga debido al gran porcentaje de ligante asfáltico y bajo contenido de vacíos, es decir, evita el agrietamiento por esfuerzos repetidos y cuenta con larga vida útil. El uso de fibras permite maximizar el contenido ligante, de tal forma que se pueda obtener una mezcla estable, evitando el escurrimiento en la elaboración y almacenamiento, y la exudación. Se aplica en lugares donde se ejercen elevadas tensiones sobre el pavimento como intersecciones con semáforos, rotondas, puertos, autopistas, vías de tránsito lento y pesado, pistas de aterrizaje y otros.

1.2.7.2 Asfalto Multigrado: Se trata de cementos asfálticos modificados sin polímeros, que se utilizan en las mezclas asfálticas para capas de rodadura en pavimentos que aumentan su capacidad estructural de resistencia y disminuyen la susceptibilidad térmica, el cemento asfáltico multigrado puede definirse como similar a los aceites multigrados, es decir, conserva las propiedades en un amplio rango de temperaturas. En su elaboración se emplean aditivos y catalizadores de la base asfáltica, la que es sometida a reacciones químicas controladas. Además, posee propiedades reológicas mejoradas, otorgando un mejor comportamiento.

1.2.7.3 Modificado con Hule: Se trata de una mezcla asfáltica en caliente modificada con polvo obtenido de neumáticos de desechos. Posee características favorables desde el punto de vista ambiental y vial. Por una parte presenta mejores respuestas en condiciones climáticas extremas, y por otra permite reutilizar el hule proveniente de los neumáticos, un material difícil de reciclar.

1.2.7.4 Emulsiones para la Impregnación: La función principal es estabilizar la capa superficial de la base granular compactada y proveer una superficie que permita una adherencia entre la base y la capa asfáltica superior. Estas emulsiones especiales reemplazan a los asfaltos rebajados que producen contaminación por su alto contenido de solvente al evaporarse. Esta nueva técnica de impregnación resulta más amigable con el medio ambiente, ya que el curado contempla esencialmente la evaporación de agua a diferencia del solvente de los asfaltos rebajados. Además, se puede aplicar a temperatura ambiente y posee un curado más rápido que permite una pronta aplicación de la mezcla asfáltica o tratamiento superficial. Estas emulsiones se han masificado a tal grado que las han logrado introducir en la especificación de los contratos como una solución válida, y podrían reemplazar completamente a los asfaltos rebajados por sus favorables factores medioambientales y de seguridad. La impregnación de las bases, previo a la

colocación de la capa asfáltica actúa como una capa de impermeabilización, protegiendo la base del tráfico y la lluvia.

1.2.7.5 Aditivos. Algunos cementos del asfalto requieren la modificación para cumplir especificaciones. La modificación del cemento del asfalto se ha practicado por más de 50 años pero ha recibido la atención agregada en la última década y se han añadido numerosos modificantes de la carpeta, disponibles en el mercado hoy en día. Las ventajas del cemento modificado del asfalto se pueden observar solamente por una selección juiciosa de los modificantes; no todos los modificantes son apropiados para todos los usos. El cemento asfáltico se debe modificar generalmente para alcanzar las siguientes mejoras:

- Bajar la rigidez (o la viscosidad) en las temperaturas altas asociadas a la construcción. Esto facilita el bombeo de la carpeta de asfalto líquida así como mezclarse y de la compactación de mezcla de asfalto caliente.
- Una dureza más alta en las altas temperaturas del servicio. Esto reducirá las señales que dejan las ruedas de los vehículos.
- Bajar la rigidez y características más rápidas de la relajación en las temperaturas bajas del servicio. Esto reducirá los agrietamientos.
- Adherencia creciente entre la carpeta de asfalto y el agregado en presencia de la humedad. Esto reducirá la probabilidad de desprendimientos.

2. EQUIPO

Un proceso de pavimentación requiere de diversos equipos, éstos incluyen:

- *Fresadora* (en caso de repavimentación)
- *Barredora/escoba* (para quitar el polvo de la superficie que se pavimentará)
- *Impregnación.*
- *Camiones* (para transportar la mezcla asfáltica de la planta hasta el lugar de instalación en la obra)
- *Petrolizadoras (para riegos de asfalto)*
- *Esparcidores*
- *Barredoras mecánicas*
- *Extendedora o Finisher*
- *Compactadores*

Riego de liga (riegos de material pétreo)

Una capa de sello en asfalto, es una emulsión o una capa líquida bituminosa fina aplicada entre las capas del pavimento de mezcla asfáltica para conseguir una adherencia adecuada entre la superficie de existente y la capa que se va a colocar, esta parte del proceso es crítica para conseguir que la estructura terminada del pavimento se comporte como una sola unidad. Si las capas adyacentes no se enlazan una con la otra se comportan como capas delgadas independientes múltiples.

Al aplicar el riego de liga, se utiliza un carro distribuidor especialmente diseñado, la petrolizadora.



Petrolizadora usual (obsérvese lo disperejo del riego)

2.1 Petrolizadoras

Esta máquina consiste básicamente en un tanque de almacenamiento para el asfalto y está provista de un sistema de calentamiento para el asfalto de una bomba de presión, una barra de riego con espreas, tacómetro, termómetro y aditamento de medición de volúmenes.

Esta máquina debe ser capaz de regar los asfaltos de una manera uniforme y dosificada.

Para ello, el asfalto debe tirarse a una temperatura adecuada, y la presión en las espreas debe ser uniforme.

Para calentar los asfaltos a la temperatura indicada está provista de unos quemadores que pueden ser de diesel o de gas. Para mantener una presión y un flujo uniforme sobre la barra de riego está provista de una bomba de engranes movida por un motor especial para ello.

Para operarla se siguen las siguientes operaciones:

- a) se llena con una cantidad mayor a la que se va a regar (200 ó 300 litros más).
- b) se encienden los quemadores para calentar el asfalto a la temperatura adecuada, la que se vigila por medio del termómetro.
- c) Se calcula la velocidad de la máquina en función del número de litros por segundo de asfalto que tiran las barras y de la dosificación de asfalto para el riego.

Por ejemplo, sabemos que por cada metro de barra se tiran 4 lt/seg y debemos tirar 1.2 lts/m².

$$\text{Velocidad} = \frac{4 \text{ lts/seg. m}}{1.2 \text{ lts/m}^2} = 3.33 \text{ m/seg}$$

De esta forma la petrolizadora está lista para operar.

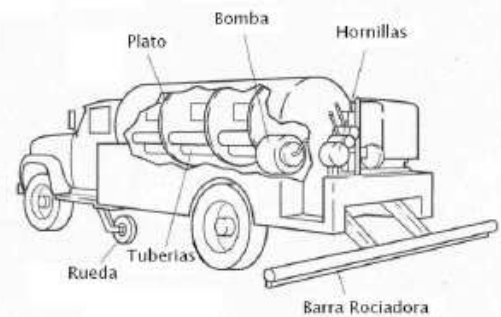
El camión distribuidor del asfalto o petrolizadora requiere la supervisión constante para producir un esparcido uniforme.

Todas las galgas y aparatos de medición tales como el tacómetro de la bomba, termómetros, y los aspersores del bitumen deben ser calibrados correctamente.

Las barras e inyectores de distribución deben estar perfectamente limpios y fijados en la altura apropiada sobre la superficie que recibe el riego.

Los factores que afectan el uso uniforme son:

- *La temperatura de rociadura del asfalto.*
- *La presión líquida a través de la longitud de la barra de aspersión.*
- *El ángulo de las espreas.*
- *La altura del inyector sobre la superficie.*
- *La velocidad del distribuidor.*



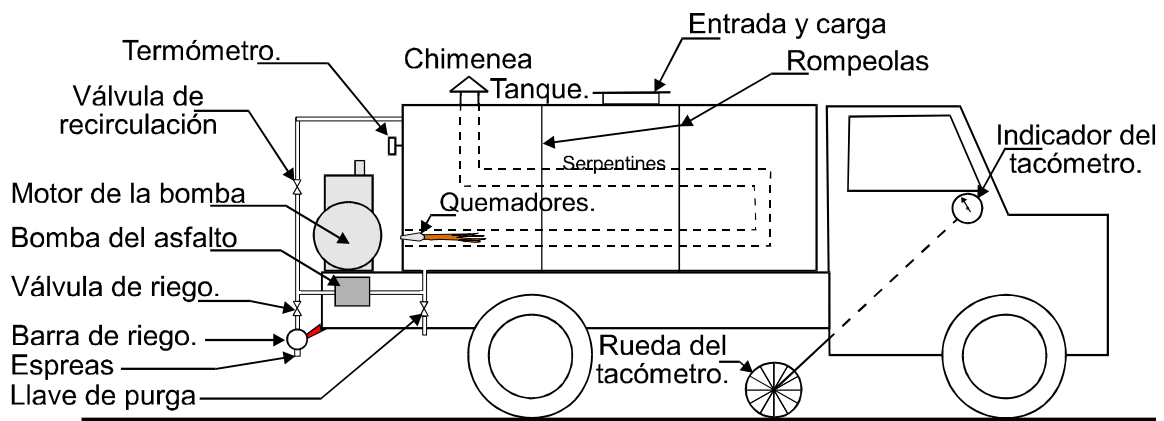
ESQUEMA DE UN DISTRIBUIDOR DE ASFALTO

Las petrolizadoras tienen aislados los tanques para mantener la temperatura del asfalto.





Las petrolizadoras de modelo antiguo son como muestra la figura:



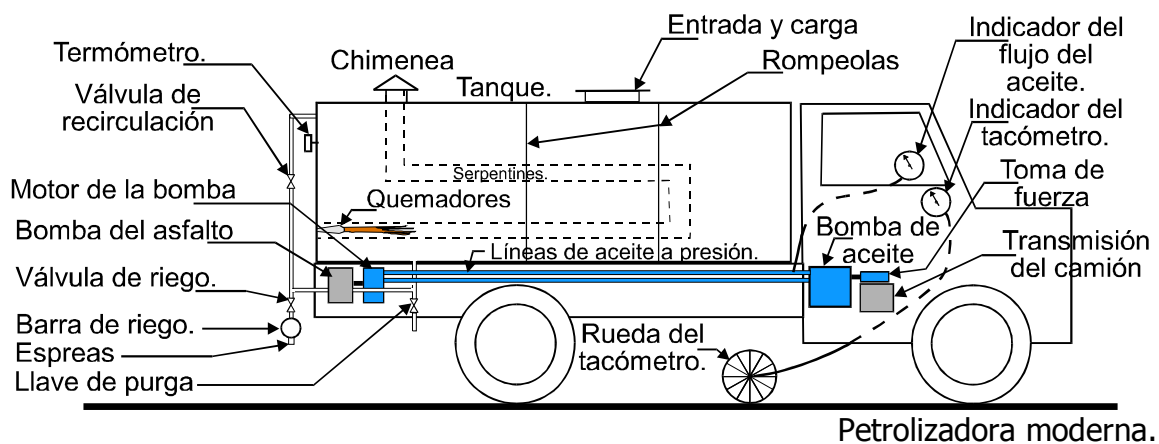
Petrolizadora de modelo antigua, todavía muy usual.

Estas petrolizadoras, todavía de uso frecuente, tienen dos problemas graves que conducen a riegos no uniformes:

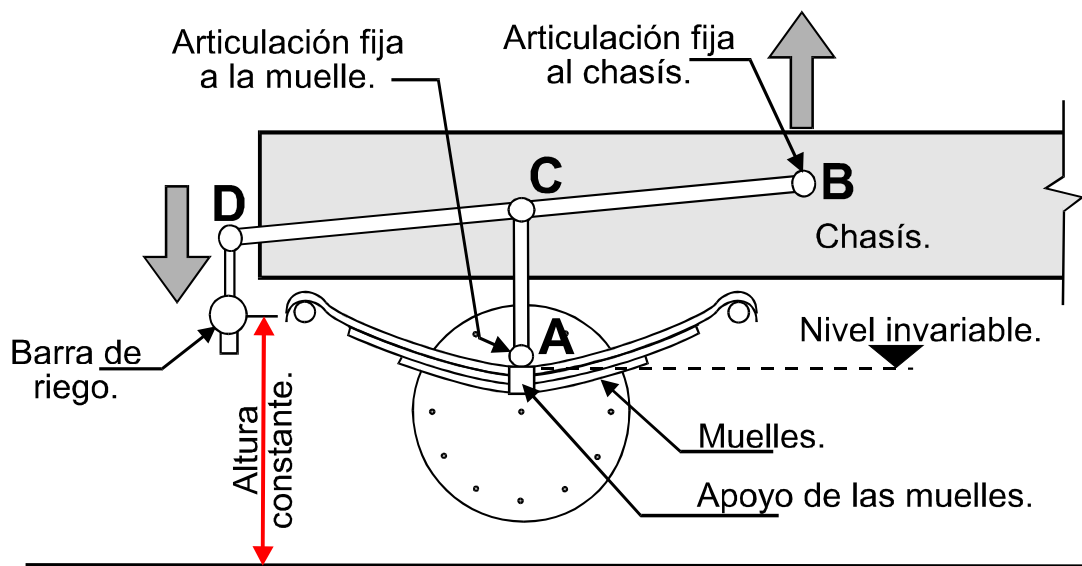
- 1) El motor del camión es independiente del motor de la bomba del asfalto. El operador tiene que ir a velocidades muy pequeñas, 3 a 5 km/hora, por eso tiene el tacómetro porque el velocímetro del camión no funciona a estas velocidades. Aun así, es muy difícil sincronizar la velocidad del camión con el flujo del asfalto, dando como resultado riegos irregulares longitudinalmente.
- 2) La barra de riego está fija al chasis, por lo que conforme se descarga el asfalto trabajan las muelles y el chasis sube junto con la barra. El riego

de cada esprea invade el riego de las espreas vecinas; hay franjas con exceso de asfalto y el riego es irregular transversalmente.

En las petrolizadoras modernas el motor de la bomba, que en este caso es un motor impulsado por aceite a presión, es impulsado desde el motor del camión por una bomba de aceite conectada a la transmisión. Si el camión aumenta o disminuye la velocidad el motor de la bomba también asegurando una distribución longitudinal uniforme del asfalto. La disposición de estas máquinas modernas se muestra en la siguiente figura:



En cuanto a mantener fija la altura de la barra de riego, las petrolizadoras modernas están dotadas de mecanismos similares al mostrado en la siguiente figura:



Mecanismo para mantener fija la altura de la barra de riego.

Cuando la petrolizadora se descarga las muelles trabajan y el chasis sube junto con el punto "B", como la distancia entre "A" y "C" es fija y el nivel "A" es constante, la palanca BD gira en sentido contrario a las manecillas del reloj. Si las distancias CB y DC son iguales el punto "D" (Barra de riego) baja la misma distancia que subió el punto "B" en el chasis. Así se asegura un riego uniforme transversalmente.

La barra de riego es muy importante para un buen riego. Debe estar perfectamente limpia así como sus espreas, que son las boquillas que riegan el asfalto en forma de abanico. Su altura sobre el piso debe ser exacta y, como se dijo, invariable.

Esta altura (H) debe ajustarse para que el riego de cada esprea se traslape la mitad de su ancho con las espreas vecinas, como en la siguiente figura:



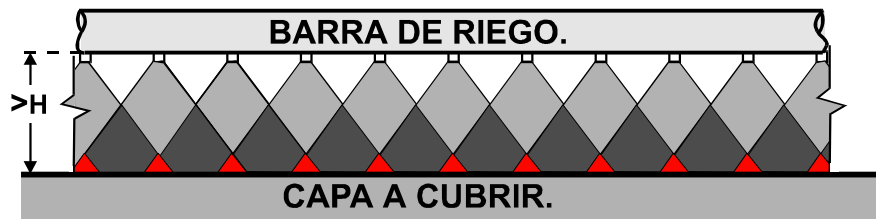
Traslape correcto del riego de las espreas.

De esta manera cada punto es regado por dos espreas, si falla una de ellas su área tributaria recibe sólo la mitad del riego, que, aunque menor, es más homogéneo que si no existiera el traslape.



Falla de una esprea.

Si la altura "H" aumenta el riego ya no es parejo, como se muestra en la siguiente figura las áreas rojas son regadas por tres espreas, el resto sólo por dos:



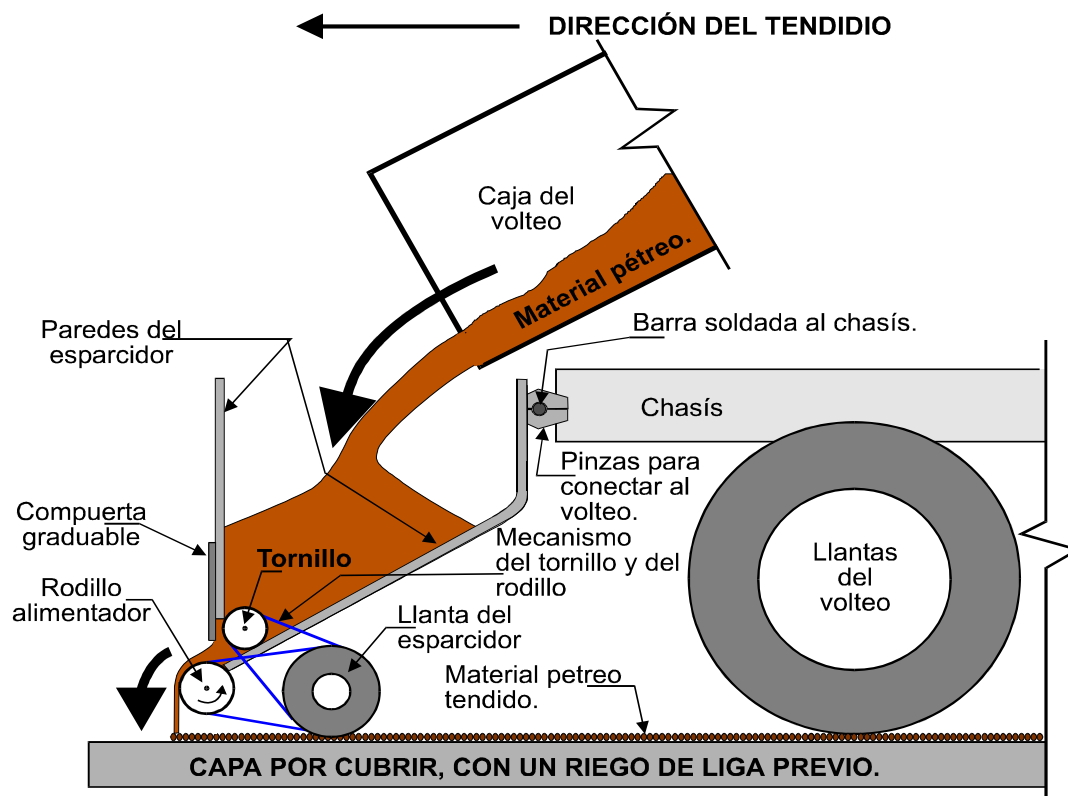
Riego disparejo al aumentar la altura de la barra.

2.2 Esparcidores

Los esparcidores son máquinas o mecanismos utilizados para regar el material pétreo en forma uniforme sobre una capa del pavimento o para construir las llamadas carpetas de riegos.

Hay dos tipos de esparcidores mecánicos: Remolcados y Autopropulsados. Ambos tienen que rodar sobre el riego de material pétreo para evitar el desprendimiento del riego de asfalto previo al riego del material pétreo.

1) Los esparcidores remolcados son simplemente una caja metálica que se conecta a un camión de volteo, que trae el material pétreo, y están constituidos como se muestra en la siguiente figura:



Croquis de un esparcidor remolcado

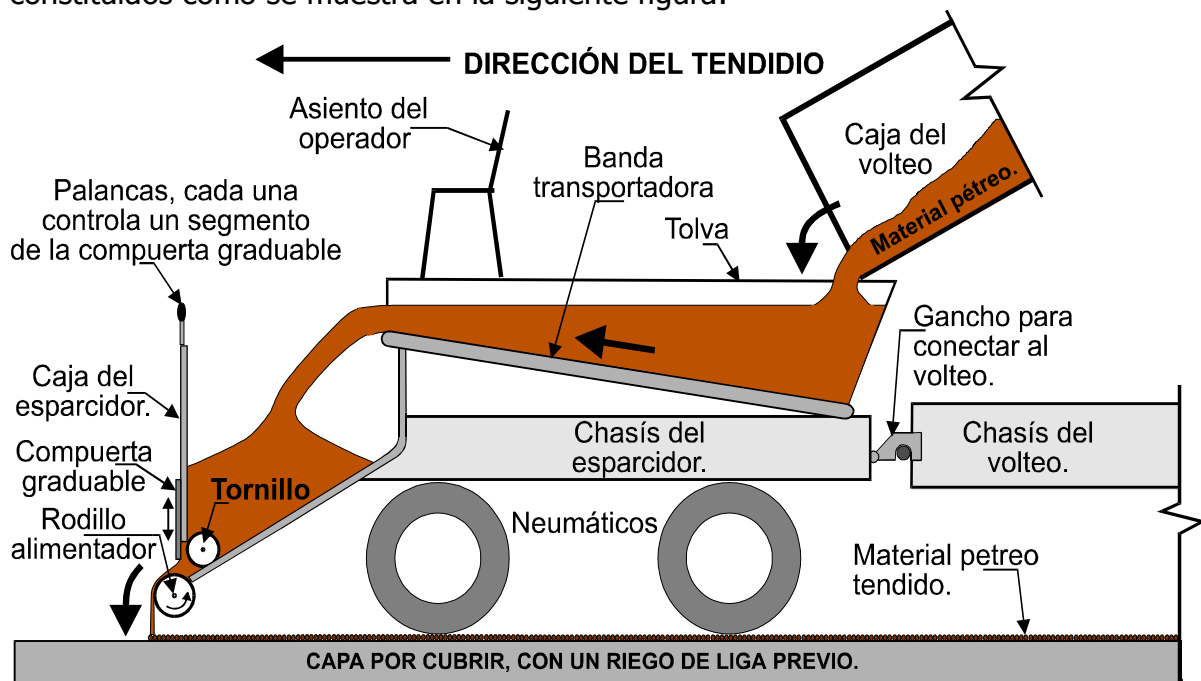
El esparcidor tiene unas pinzas con las cuales se conecta al camión en una barra soldada al chasis. En el frente tiene una compuerta graduable para controlar el flujo del material pétreo, un tornillo de Arquímedes para extender el material a todo lo ancho y un rodillo alimentador, los tres movidos desde las ruedas del mismo esparcidor que se mueve con el empuje del camión.

El camión levanta la caja y el material pétreo fluye hacia la caja del esparcidor, aquí el tornillo de Arquímedes uniformiza el material a todo lo ancho y el rodillo alimentador hace que fluya hacia fuera cayendo uniformemente sobre la superficie a cubrir. Un defecto grave es que no hay control del ancho del riego, sólo puede regar a todo lo ancho, lo que ocasiona desperdicios.

En esta operación el camión tiene que caminar necesariamente hacia atrás por lo que es difícil seguir la trayectoria requerida para cubrir exactamente el área a cubrir.

Por otra parte esta máquina no tiene capacidad de almacenamiento por lo que hay que desmontar frecuentemente el esparcidor del camión (cada 60 m aproximadamente) provocando problemas de irregularidad en el tendido, bajo rendimiento y elevados costos.

2) Para evitar estos problemas existen los esparcidores autopropulsados que están constituidos como se muestra en la siguiente figura:



Croquis de un esparcidor autopropulsado

Estos esparcidores autopropulsados disponen de un motor y jalan el camión para lo cual tienen un gancho que se conecta una barra soldada en el camión.

El camión descarga en una tolva que tiene capacidad suficiente para permitir los cambios de camión sin interrumpir el tendido el que puede ser continuo. Aún cuando hay interrupciones del tendido el esparcidor queda en el mismo lugar por lo que no hay discontinuidad en el riego.

El operador ve hacia delante lo que da precisión en el tendido.

La caja esparcidora es semejante a la del esparcidor remolcado, excepto que el tornillo y el rodillo alimentador se mueven con el impulso del motor del esparcidor.

La compuerta graduable está segmentada con lo que se controla el ancho del tendido, esto se maneja por medio de una serie de palancas sobre el borde superior delantero de la caja.

2.3 Fresadoras

Las máquinas fresadoras de pavimentos asfálticos pequeñas se introdujeron por primera vez alrededor de 1970. Su desarrollo se había extendido con rapidez para mediados de la década de los años 70. Las fresadoras han crecido en tamaño y potencia. Ahora son muy simples, confiables y de alta capacidad.

2.3.1 Fresado. El fresado (también denominado perfilado en frío) ofrece muchas ventajas cuando se necesita reparar una carpeta mediante repavimentación ya que recupera los agregados, y en la mezcla, lo más caro son los agregados.

El fresado puede reducir o hasta eliminar los problemas de agrietamientos

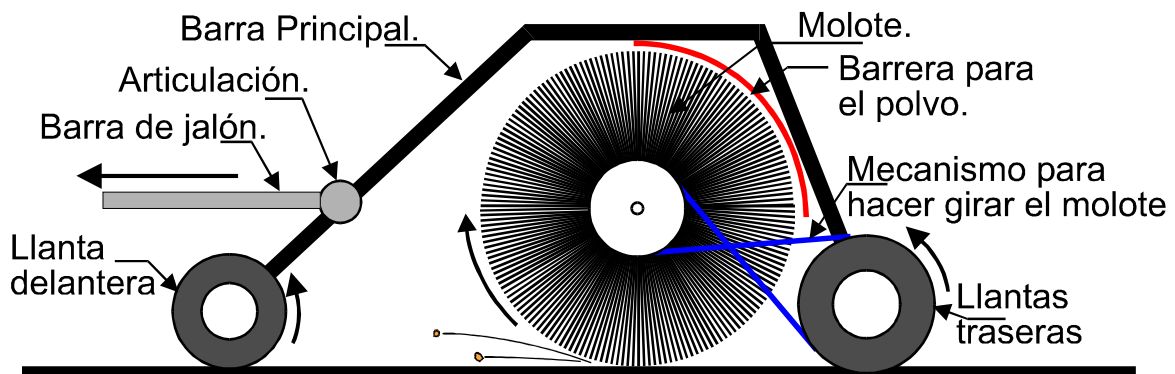
Así, una superficie correctamente fresada se une perfectamente bien con la nueva superficie de asfalto que se aplica.



2.4 Barredora

El barrido de una superficie, previo a un riego de asfalto es muy importante, pues quita el polvo superficial al que se adheriría el asfalto en lugar de a la superficie y abre la textura de la capa para facilitar la penetración del asfalto.

Cada vez que hablamos de "barrer" se refiere a la operación con una barredora o escoba mecánica, como la de la siguiente figura:



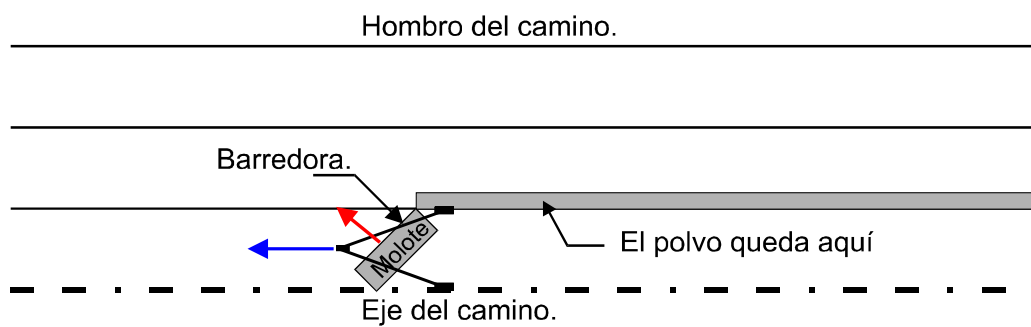
Croquis de una barredora.

Esta sencilla máquina generalmente es remolcada por un tractor agrícola, aunque las hay autopropulsadas pero son muy escasas.

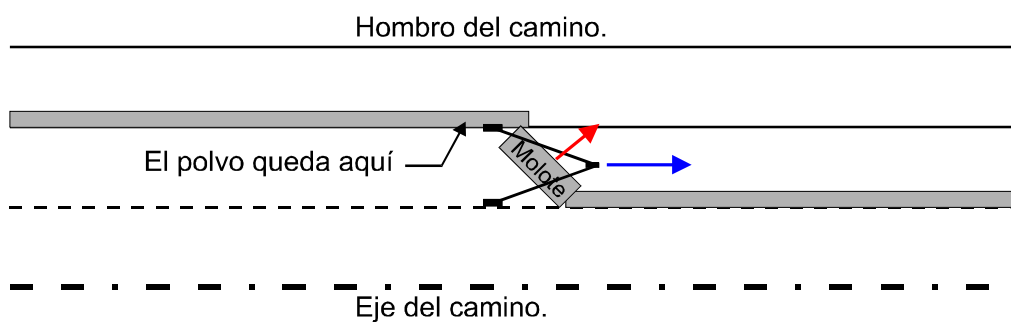
El molote es un cepillo cilíndrico formado por un núcleo rígido del que parten radialmente una multitud de varas de palma y algunas veces, cuando se requieren barridos muy intensos, estas varas son soleritas de acero.

Esta pieza gira, en sentido contrario al de las llantas, mediante un mecanismo de cadena que es impulsado por el movimiento de las llantas traseras de la barredora, de manera que este molote barre hacia delante.

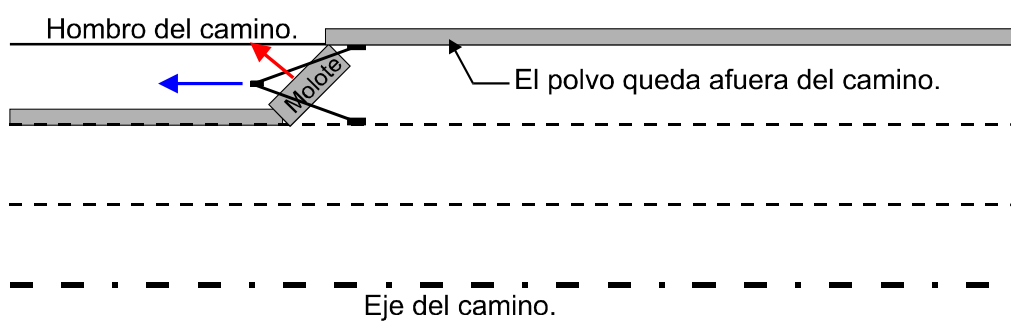
Con objeto de sacar el polvo fuera de la superficie a barrer, el molote se conserva inclinado con respecto a la trayectoria de la máquina recorriendo el polvo hacia la siguiente franja a ser barrida, como se muestra en las tres supuestas etapas de la siguiente figura (En planta) en donde la flecha azul indica la dirección de la barredora y la flecha roja la dirección del polvo.



PRIMERA ETAPA.



SEGUNDA ETAPA.



TERCERA ETAPA

Obsérvese que las direcciones de avance de la barredora alternan el sentido para optimizar el recorrido total y que en cada etapa cambia la inclinación del molote.



2.5 Extendedora o Finisher

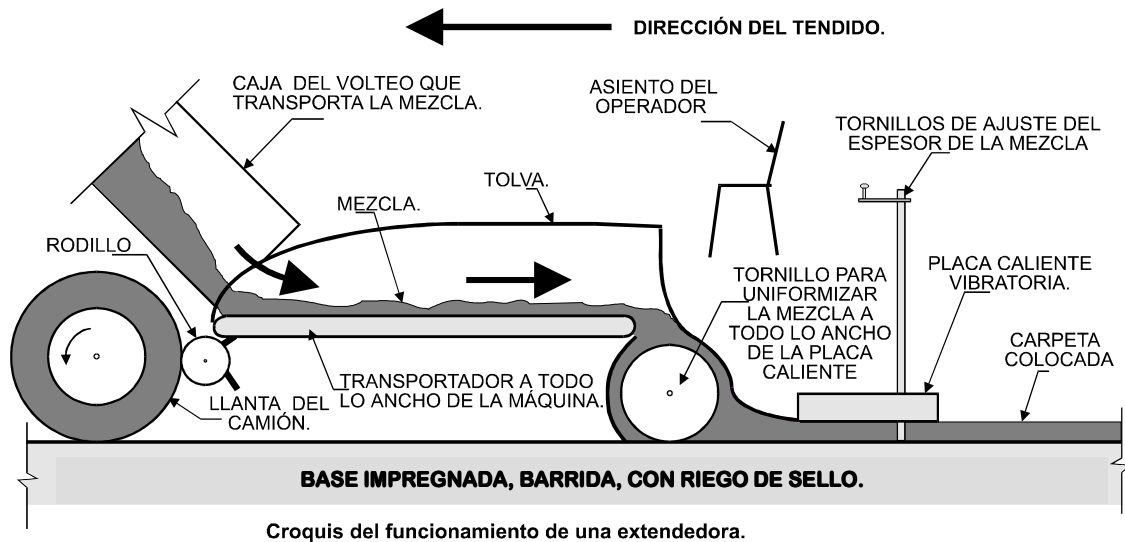
El extendido de la mezcla asfáltica se lleva acabo con una máquina extendedora. Consta de dos partes principales: una es la parte tractiva y la otra es una plancha flotante.



La unidad incluye:

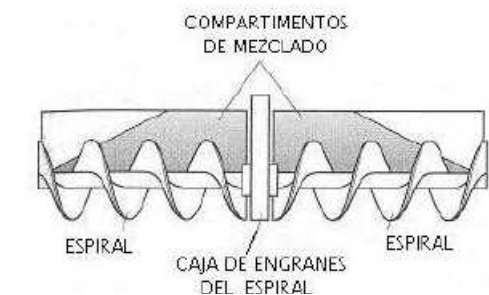
- la tolva receptora
- los tornillos distribuidores de la mezcla al motor
- transmisiones
- dos centros de control

- el sitio para el operador
- la plancha extendedora.



- LA EXTENDEDORA PUEDE ESTAR MONTADA EN ORUGAS O EN NEUMÁTICOS. EN ESTE CROQUIS SÓLO SE MUESTRAN LAS PARTES QUE INTERVIENEN EN EL TENDIDO.
- LA EXTENDEDORA EMPUJA AL CAMIÓN DE LA MEZCLA POR MEDIO DE UN RODILLO QUE APOYA EN LAS LLANTAS DEL CAMIÓN, EL QUE SÓLO TIENE TEMPLADO EL FRENO.

La unidad tiene una tolva de recepción en el frente y un sistema de transportadores para mover la mezcla a través de un túnel debajo de la placa caliente en la parte trasera de la unidad. La mezcla se deposita en la superficie que se pavimentará.



MECANISMO DE UNA EXTENDEDORA DE ASFALTO

La placa vibratoria tiene los siguientes elementos:

- la placa maestra
- vibradores o barra compactadora
- controles para variar el espesor del tendido
- controles para variar la pendiente transversal
- los calentadores de la placa.



A cada lado de la plancha tiene un tornillo de ajuste. Este mecanismo le permite, a la plancha maestra variar el espesor de la mezcla tendida. La plancha, al recibir la mezcla que reparten los tornillos, la extiende con el nivel, el ancho y la profundidad proporcionados por los controles y le aplica una compactación inicial al material asfáltico mediante vibración, eliminando las grietas indeseadas.



La extendedora empuja el camión que trae la mezcla asfáltica adelante, esta maniobra requiere de mucho cuidado, ya que el chofer del camión tiene que colocar al camión en reversa y cuando sienta el contacto de las llantas traseras con la extendedora colocarlo en neutral, de esta manera la extendedora es la que impulsará al camión, la mezcla es descargada en la tolva levantando la caja del camión.



Esta máquina caminaría sobre el riego de previo de asfalto, lo que ocasionaría que el asfalto se pegara a las llantas levantando, aleatoriamente, porciones superficiales de la capa a cubrir. Esto no está bien porque en las áreas levantadas no hay riego de liga y la carpeta no queda adherida a la base, lo que la debilita.

Para evitar este posible defecto, delante de la máquina se riega una poca cantidad de la mezcla que está en la tolva, lo que hacen unos peones son palas, extendiendo esta mezcla de manera que las llantas rueden sobre unas pocas gravas de la misma mezcla. Esta operación se llama "cacahuateo".

2.5.1 Nivelación

Puesto que no es práctico controlar manualmente la elevación del remolque, la extendedora funciona generalmente con un control automático, los controles mantienen la elevación del punto usando una referencia.



Puesto que estas referencias ayudan a controlar el nivel del pavimento asfáltico, son conocidos como "los sistemas de la referencia del espesor" y se enumeran a continuación:

1. *Stringline (trazar una línea)*. Esto consiste en trazar las elevaciones especificadas que son independientes de la elevación del terreno existente. Esto se hace siempre que es posible, usando un equipo de prueba y un plano detallado de la elevación.



Aunque este método proporciona la elevación correcta (considerando las tolerancias correspondientes), los niveles son frágiles y se rompen fácilmente. El láser se puede utilizar para superar las dificultades asociadas a estos niveles porque no requieren ningún material frágil para su utilización en el área de la construcción del pavimento. Los láseres pueden establecer los planos múltiples de la elevación incluso en áreas con dificultades para trabajar y por lo tanto a veces se utilizan para construir trazos en los aeropuertos.

2. *Referencia móvil*. Esto consiste en un sistema de referencia mediante un sistema de una viga o un tubo largo que esta unido a la extendedora llamado dispositivo de "contacto".



Control automático del espesor de la capa utilizando una viga móvil de referencia.

El sistema de la referencia móvil hace un promedio del efecto de desviaciones en la superficie existente del pavimento sobre una distancia mayor que la distancia entre ejes de la unidad del tractor. La longitud mínima del esquí para un dispositivo del contacto es normalmente cerca de 60 cm. cuando las longitudes típicas del esquí que están en la orden de 1.00 a 1.5 m.

Esquí. Esto consiste generalmente en un esquí o zapato pequeño que resbala en una superficie existente cercana a la extendidora de él. Los sensores ultrasónicos logran la misma tarea sin el tacto de la superficie existente usando pulsos para determinar la elevación.





La velocidad de la extendedora se liga a la cantidad en la cual la mezcla del asfalto se entrega de la planta. Para producir una carpeta lisa, la velocidad de recorrido se debe mantener de manera constante.

2.6 Camiones de transporte

El transporte de la mezcla implica todo requerido para mover la mezcla asfáltica de una planta de producción, acarreándola al sitio de colocación y descargar la mezcla en el la tolva de la máquina extendedora (finisher), completa el ciclo de transportación de la mezcla; esto es, el viaje del camión cargado y su retorno vacío.

Los camiones de volteo descargan su contenido levantando el extremo trasero de la caja y dejando la carga útil resbalar abajo del fondo de la base y hacia fuera de la parte posterior a través de una puerta trasera.

Son el tipo más popular de vehículo del transporte porque son abundantes, maniobrables y versátiles.

Sin importar el tipo de camión usado, los carros se deben aislar y cubrir con lonas cuando se cargan para reducir pérdidas de calor durante el transporte y evitar la contaminación de la mezcla asfáltica con el polvo del camino. Antes de que se carguen los carros la caja debe estar limpia.

2.7 Compactación

La compactación es el proceso por el cual el volumen de aire en una mezcla asfáltica es reducido usando fuerzas externas para reacomodar las partículas de

los agregados en un arreglo con menos espacios. Esta reducción del volumen de aire en una mezcla produce un aumento en la densidad de la mezcla asfáltica.



La compactación de la mezcla asfáltica se logra fácilmente cuando se lleva a cabo a la temperatura adecuada, ésta debe iniciarse inmediatamente después de la extendida de la mezcla.

El espesor de la carpeta influye en el grado de dificultad que encontremos para compactarla; entre mas delgado sea el espesor, más pronto pierde temperatura y por lo tanto la compactación con el rodillo debe efectuarse inmediatamente después del extendido. En cambio, si el espesor es de 7 cm. o más, la pérdida de temperatura es más tardada, proporcionando mayor tiempo para compactar. También en el número de máquinas que se requieren para compactar la mezcla interviene el espesor de la carpeta, debido a que entre más delgado sea éste, mayor es el avance longitudinal de la extendedora. Como la velocidad de los compactadores es limitada, necesariamente hacen falta mayor número de maquinas. El equipo que tradicionalmente se emplea para la compactación de la mezcla es:



El compactador autopropulsado de nueve u once llantas neumáticas.

Los rodillos neumáticos son dispositivos automotores que utilizan los neumáticos para compactar el material asfáltico recién tendido. Los rodillos neumáticos emplean un sistema de neumáticos lisos (sin huellas) en cada eje; típicamente cuatro o cinco en un eje y cinco o seis en el otro. Los neumáticos en el eje delantero se alinean con los boquetes entre los neumáticos en la parte posterior para dar cobertura completa y uniforme de la compactación sobre la anchura del rodillo. El esfuerzo de compactación es controlado variando la presión del neumático, que se fija típicamente entre 60 y 120 PSI, algunos fabricantes ofrecen compactadoras hasta 30 toneladas.

Además de una fuerza compresiva estática, los rodillos neumáticos también desarrollan una acción de amasamiento entre los neumáticos. La carpeta de asfalto se tiende a pegar más a los neumáticos fríos que a los neumáticos calientes, ante la imposibilidad de mantener los neumáticos cubiertos se les baña con chorros pequeños de agua.

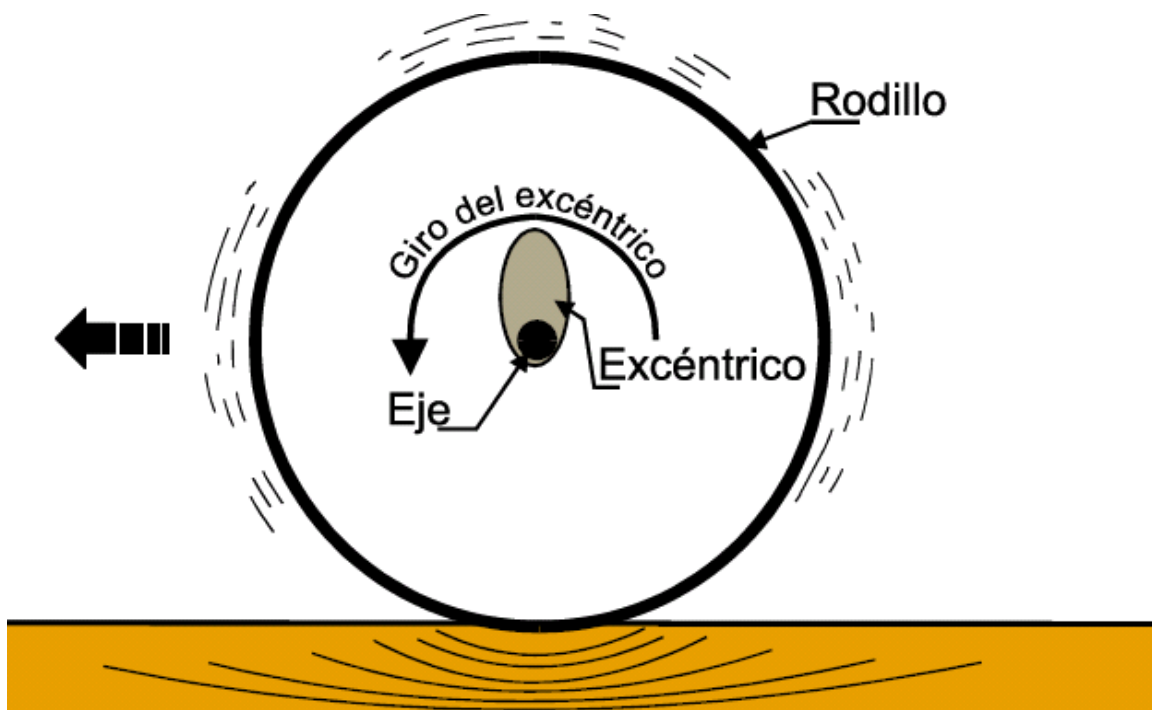


- Planchas de dos ejes en tandem.

Para cualquier trabajo, es conveniente que cuando menos se usen dos máquinas compactadoras. La operación de compactación anteriormente se realizaba en 3 fases:

1. *El planchado inicial.* Se usaba para esta fase la plancha vibratoria de ejes en tandem. El mayor peso en las llantas motrices y su gran diámetro incrustan la mezcla hacia abajo sin desplazarla. Durante esta fase se debía lograr casi totalmente la compactación.
2. *El planchado intermedio.* Esta segunda fase se efectuaba lo más cercanamente que sea posible a la primera, mientras la mezcla asfáltica mantenía algo de su plasticidad y temperatura. Aquí se empleaban los compactadores autopropulsados de neumáticos que cierran la textura de la capa.

3. *El planchado final.* Su única finalidad consistía en borrar las huellas del equipo que trabajó en las fases uno y dos. En esta se empleaban planchas de ejes tandem.



Funcionamiento de un rodillo vibratorio

La secuela de compactación que se emplea actualmente es la siguiente:

1. Una pasada, a todo lo ancho, sin vibración. Esta se efectúa inmediatamente después del extendido en carpetas delgadas de hasta 5 cm. En carpetas más gruesas hay que esperar un poco, sin que se pueda establecer un criterio, tal vez 20 metros atrás de La extendedora.



2. Inmediatamente después, se inicia la vibración de 2400 r.p.m. en baja amplitud. Aquí es muy importante determinar la velocidad lineal del compactador. Debe ser tal que no provoque grietas ni bordes, o sea, ni tan despacio que estemos aplicando demasiados golpes muy cercanos unos a otros, ni tan deprisa que espacemos demasiado la aplicación de la fuerza provocando grietas.



Por lo general se realizan dos pasadas a todo lo ancho y otra para obtener el grado de compactación deseado; esto puede ser suficiente.

3. Un compactador neumático para dar el acabado final, pero por lo general proporcionan la compactación muy uniformemente; tienen la tendencia a "cerrar" la superficie, y por lo tanto, contribuyen a la impermeabilidad de la carpeta, lo que aumenta la estabilidad.



La compactación es un factor determinante más del buen funcionamiento de un pavimento. Una compactación inadecuada da lugar a un pavimento con la rigidez disminuida, vida útil reducida, envejecimiento acelerado y propenso a daños por la presencia de humedad.

3. PRUEBAS A LA CARPETA

3.1 Prueba Marshall

Esta prueba se utiliza para el diseño y control de las mezclas asfálticas. En realidad son dos pruebas, el diseño de la mezcla y el control de la carpeta ya compactada. Estas pruebas se describen a continuación.



Martillo Marshall



Compactación Marshall

3.2 Método de diseño Marshall

3.2.1 Metodología

El concepto del método Marshall para diseño de mezclas para pavimentación fue formulado por Bruce Marshall, ingeniero de asfaltos del Departamento de Autopistas del estado de Mississippi. El cuerpo de ingenieros de Estados Unidos, a través de una extensiva investigación y estudios de correlación, mejoró y adicionó ciertos aspectos al procedimiento de prueba Marshall y desarrolló un criterio de diseño de mezclas.

El método original de Marshall, sólo es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1"), o menor. El método Marshall modificado se desarrolló para tamaños máximo arriba de 38 mm (1.5"). El método está pensado para diseño en laboratorio y

control de campo de mezclas asfálticas en caliente con graduación densa. Debido a que la prueba de estabilidad es de naturaleza empírica, la importancia de los resultados en términos de estimar el comportamiento en campo se pierde cuando se realizan modificaciones a los procedimientos estándar. Se emplea en especímenes de prueba estándar de una altura de 64 mm (2 ½") y 102 mm (4") de diámetro. Estos se preparan mediante un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas de asfalto- agregado. (ASTM D1559)

Los aspectos principales del método Marshall de diseño de mezclas, son la densidad-porcentaje de vacíos, contenidos de asfalto y porcentaje de vacíos llenos de asfalto y la prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados.

La estabilidad del espécimen de prueba es la máxima resistencia en N (lb) que un espécimen estándar desarrollará a 60 °C cuando es ensayado. El valor de flujo es el movimiento total o deformación, en unidades de 0.25 mm (1/100") que ocurre en el espécimen entre estar sin carga y el punto máximo de carga durante la prueba de estabilidad.

3.2.2 Granulometría

La metodología Marshall utiliza una gráfica semilogarítmica para definir la granulometría permitida, en la cual en la ordenada se encuentra el porcentaje de material que pasa cierta malla, y en la abscisa las aberturas de las mallas en mm, graficadas en forma logarítmica.

La selección de una curva granulométrica para el diseño de una mezcla asfáltica cerrada o densa, está en función de dos parámetros: el tamaño máximo nominal del agregado y el de las líneas de control (superior e inferior). Las líneas de control son puntos de paso obligado para la curva granulométrica.

3.3.3 Especificaciones de la metodología

La selección del contenido óptimo de asfalto depende de muchos criterios, que se discutirán en este capítulo. Un punto inicial para el diseño es escoger el porcentaje de asfalto para el promedio de los límites de vacíos, el cual es de 4%.

Todas las propiedades medidas y calculadas con este contenido de asfalto deberán ser evaluadas, comparándolas con los criterios para el diseño de mezclas (Tabla 1). Si todos los criterios se cumplen, entonces se tendrá el diseño preliminar de la mezcla asfáltica; en caso de que un criterio no cumpla, se necesitará hacer ajustes o rediseñar la mezcla.

Tabla 1**Criterio de diseño de mezclas Marshall**

Método Marshall	Tráfico ligero		Tráfico medio		Tráfico pesado	
	Carpeta y base		Carpeta y base		Carpeta y base	
Criterio de mezcla	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Compactación, número de golpes en cada uno de los especímenes						
Estabilidad, (N)	3336		5338		8006	
(lb)	750	---	1200	---	1800	---
Flujo, (0.25 mm) (0.01 in)	8	18	8	16	8	14
Porcentaje de vacíos	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de vacíos en los agregados minerales	Ver tabla 2					
Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto	70	80	65	78	65	75

Tabla 2**Mínimo porcentaje de vacíos de agregado mineral (VMA)**

Máximo tamaño de partícula nominal		Porcentaje mínimo VMA		
		Porcentaje diseño vacíos		
mm	in	3.0	4.0	5.0
1.18	No. 16	21.5	22.5	23.5
2.36	No. 8	19.0	20.0	21.0
4.75	No. 6	16.0	17.0	18.0
9.5	3/8	14.0	15.0	16.0
12.5	1/2	13.0	14.0	15.0
19	3/4	12.0	13.0	14.0
25	1.0	11.0	12.0	13.0
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0

3.3 Pruebas a las mezclas asfálticas compactadas

En el método Marshall se elaboran tres tipos de pruebas para conocer tanto sus características volumétricas como mecánicas.

3.3.1 Determinación de la gravedad específica

La prueba de gravedad específica puede ser desarrollada tan pronto como el espécimen se haya enfriado en un cuarto de temperatura. Esta prueba se

desarrolla de acuerdo con la Norma ASTM D1188, gravedad específica de mezclas asfálticas compactadas utilizando parafina o la ASTM D2726, gravedad específica de mezclas asfálticas compactadas empleando superficies saturadas de especímenes secos.

Para determinar cuál norma se debe utilizar se realizarán pruebas de absorción a la mezcla asfáltica compactada; si la absorción es mayor al 2%, se utiliza la norma ASTM D1188; en caso contrario, se recurre a la norma ASTM D2726.

3.3.2 Prueba de estabilidad y flujo

Después de que la gravedad específica se ha determinado, se desarrolla la prueba de estabilidad y flujo; consiste en sumergir el espécimen en un baño María a $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ($140^{\circ}\text{F} \pm 1.8^{\circ}\text{F}$) de 30 a 40 minutos antes de la prueba.

Con el equipo de prueba listo, se removerá el espécimen de prueba del baño María y cuidadosamente se secará la superficie. Después de colocando y centrando el espécimen en la mordaza inferior, se aplicará la mordaza superior y se centrará completamente en el aparato de carga.

Posteriormente se aplica la carga de prueba al espécimen a una deformación constante de 51mm (5") por minuto, hasta que ocurra la falla. El punto de falla se define por la lectura de carga máxima obtenida. El número total de Newtons (lb) requeridos para que se produzca la falla del espécimen, deberá ser registrada como el valor de estabilidad Marshall.

Mientras que la prueba de estabilidad está en proceso, si no se utiliza un equipo de registro automático, se deberá mantener el medidor de flujo sobre la barra guía; y cuando la carga empiece a disminuir, se tendrá que tomar la lectura y registrarla como el valor de flujo final. La diferencia entre el valor de flujo final e inicial, expresado en unidades de 0.25 mm (1/100"), será el valor del flujo Marshall.

3.3.3 Análisis de densidad y vacíos

Después de completar las pruebas de estabilidad y flujo, se realiza el análisis de densidad y vacíos para cada serie de especímenes de prueba.

Determinar la gravedad específica teórica máxima (ASTM D2041) para al menos dos contenidos de asfalto, preferentemente que estén cerca del contenido óptimo de asfalto. Un valor promedio de la gravedad específica efectiva del total del agregado se calculará de estos valores.

Utilizando la gravedad específica y la gravedad específica efectiva del total del agregado, el promedio de las gravedades específicas de las mezclas compactadas,

la gravedad específica del asfalto y la gravedad específica teórica máxima de la mezcla asfáltica, se calcula el porcentaje de asfalto absorbido en peso del agregado seco, porcentaje de vacíos (V_a), porcentaje de vacíos llenados con asfalto (VFA) y el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA).

1. *Porcentaje de densidad máxima teórica.* La expresión de la densidad es fácil de convertir a los vacíos de aire porque cualquier volumen que no sea carpeta o agregado de asfalto se toma como aire.

Por ejemplo, una densidad divulgada como 93 por ciento significa que hay vacíos del aire de 7 por ciento ($100\% - \text{el } 93\% \text{ el } = 7\%$).

2. *Porcentaje de una densidad determinada en laboratorio.* La densidad del laboratorio es generalmente una densidad obtenida durante el diseño de la mezcla.

3.4 Prueba en campo

Corazones. Una base pequeña del pavimento se extrae del asfalto condensado y se envía a un laboratorio para determinar su densidad.



3.4.1 Garantía en trabajos

Las pruebas típicas del control de calidad y de aceptación son:

- densidad de la carpeta
- contenido del asfalto
- granulometría del agregado.

4. CARPETAS ASFÁLTICAS DE RIEGO

Son de uso muy generalizado en nuestro país y se reducen a la colocación de uno o varios riegos de asfalto caliente alternado con materiales pétreos sobre la base terminada.



Estas carpetas se usan para tránsitos ligeros (menores de 250 vehículos por día) y se pueden definir como lo hace la Secretaría de Obras Públicas:

“Las que se apliquen mediante uno, dos o tres riegos de materiales asfálticos, cubiertos sucesivamente con capas de materiales pétreos de diferentes tamaños, triturados y/o cribados.”

Los principales defectos a evitar en carpetas de riego son:

- 1) rayado (aparición de rayas longitudinales)
- 2) poco asfalto
- 3) mucho asfalto
- 4) desprendimiento de agregados

4.1 Carpetas de un riego

En estas carpetas las operaciones a ejecutar son las siguientes:

(E) REMOCIÓN DE EXCEDENTES	— — — —
(D) RASTREO Y PLANCHADO	— — — —
(C) RIEGO DE MATERIAL PÉTREO 3B	oooooooooooooooooooooooooooo
(B) RIEGO DE MATERIAL ASFÁLTICO	_____
(A) BARRER LA BASE IMPREGNADA	— — — —

Operaciones para construir una carpeta de un riego.

Después que la imprimación haya curado durante 24 horas por lo menos, se aplica el material asfáltico (según la dosificación prescrita) directamente sobre la capa de base que ha recibido la imprimación.

El traslape de las aplicaciones de material asfáltico en la unión de dos aplicaciones produce un exceso de asfalto que fluye a la superficie y origina una situación de inestabilidad y un aspecto desagradable del riego terminado. Las lagunas o aplicaciones escasas en las uniones dan lugar a la retención de poca o ninguna gravilla, y el retoque es necesario inmediatamente.

Para eliminar estos defectos al final de una aplicación y comienzo de otra, las aplicaciones de material asfáltico deben empezar y terminar todas sobre una o más tiras de papel de construcción o de envolver, colocado a través del camino antes de iniciar el trabajo. El borde anterior del papel se coloca de tal forma que coincida exactamente con el borde del material asfáltico aplicado en último lugar, para mantener este en su sitio se coloca sobre él una pequeña cantidad de áridos. A continuación, la petrolizadora inicia su movimiento hacia delante, a suficiente distancia detrás del borde anterior de las tiras de papel, para alcanzar la velocidad predeterminada en el momento en que la barra de riego alcanza el papel, de manera que el paso de material asfáltico a través de la barra distribuidora se abre cuando ésta pasa sobre el papel, y el primer material se riega sobre este antes de alcanzar su borde anterior. Después se retira el papel y se destruye. Así se obtiene un borde bien definido de la caja de ligante asfáltico aplicado a la base sobre la imprimación. El papel se usa también para proteger de manchas de asfalto a las estructuras vecinas.

Como las aplicaciones de material asfáltico se terminan sobre una o más tiras de papel, situados a través del camino o de la zona en la que se está aplicando el material, es necesario que el papel se coloque antes del comienzo de la operación. La posición de este para terminar una aplicación se determina calculando la distancia que debería cubrirse por la carga de material asfáltico que lleva la petrolizadora y situando el papel a suficiente distancia por delante de este punto teórico para que al alcanzarlo queden en el tanque de 200 a 300 litros de material. El paso del asfalto se corta cuando la barra llega al papel, al mismo tiempo que se detiene el avance de la petrolizadora, de forma que todo el material que gotee de la barra caída sobre aquel. Después de quitar el papel queda otro borde bien definido de material asfáltico, que permite obtener un buen enlace con la aplicación siguiente. No debe intentarse aplicar toda la carga del distribuidor, porque cuando el material baja demasiado en el tanque, la bomba empieza a aspirar material mezclado con aire y el caudal deja de ser uniforme.

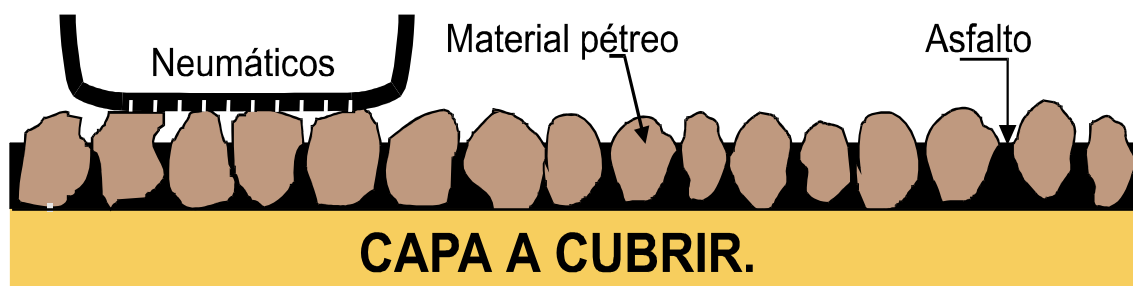
Inmediatamente después de la aplicación del material asfáltico se extienden los materiales pétreos por medio de un esparcidor mecánico, con el fin de aprovechar la fluidez del asfalto y obtener la adherencia de la máxima cantidad de pétreos. En determinadas condiciones puede ser necesario reducir la longitud de la aplicación

del asfalto para que pueda ser cubierto con los áridos en un tiempo máximo especificado.

Tan pronto como se han extendido los áridos sobre el material asfáltico recién aplicado, debe plancharse toda la superficie con una o varias pasadas de un rodillo tandem de llanta metálica; puede barrerse la superficie con una barredora arrastrada, seguidamente debe procederse al apisonado con rodillo de llanta rígida o de neumáticos, o con una combinación de ambos tipos, hasta conseguir una perfecta adherencia de los materiales pétreos con el material asfáltico.

Transcurrido un tiempo no menor de tres días se recolectará mediante barrido y se removerá el material pétreo excedente que no se adhiera al material asfáltico.

El resultado final se muestra en la siguiente figura:



Riego de sello con asfalto y material pétreo. El asfalto debe abrazar aproximadamente el 60% de la altura del material pétreo.

La idea general es que las llantas rueden sobre el material pétreo, ya que como el asfalto y el agua no son miscibles, si la llanta rueda directamente sobre el asfalto con el agua se produce una superficie resbalosa.

4.2 Carpeta de dos y tres riegos

En estas carpetas las operaciones a ejecutar son las siguientes:

Para la carpeta de 2 riegos:

[illegible]

Para la carpeta de 3 riegos:

(K)	REMOCIÓN DE EXCEDENTES	— — — —
(J)	RASTREO Y PLANCHADO	— — — —
(I)	RIEGO DE MATERIAL PÉTREO 3B	
(H)	RIEGO DE MATERIAL ASFÁLTICO	
(G)	RASTREO Y PLANCHADO	— — — —
(F)	RIEGO DE MATERIAL PÉTREO # 2	
(E)	RIEGO DE MATERIAL ASFÁLTICO	
(D)	RASTREO Y PLANCHADO	— — — —
(C)	RIEGO DE MATERIAL PÉTREO # 1	
(B)	RIEGO DE MATERIAL ASFÁLTICO	
(A)	BARRER LA BASE IMPREGNADA	— — — —

Operaciones para construir un a carpeta de tres riegos.

En el proceso de trabajo las carpetas por el sistema de riegos, la aplicación del material pétreo deberá hacerse inmediatamente después de aplicado el material asfáltico. Entre la terminación de la capa correspondiente al material pétreo y el siguiente riego de material asfáltico deberá transcurrir un lapso que, en general, no será menor de cuatro días.

Inmediatamente después de tendido el material pétreo, para tener una mejor distribución del mismo, se le pasará una rastra ligera con cepillos de fibra o de raíz, dejando así la superficie exenta de ondulaciones, bordos y depresiones.

Los materiales pétreos, tendidos y rastreados se plancharán inmediatamente con rodillo liso ligero, únicamente para acomodar las partículas del material, teniendo especial cuidado en el planchado de los materiales pétreos 3, para no fracturar las partículas del material pétreo por exceso de planchado.

Los materiales pétreos 3, acomodados con rodillo liso, se plancharán inmediatamente con compactador de llantas neumáticas, pasando una rastra con cepillo de fibra o de raíz las veces que se considere necesario, para mantener uniformemente distribuido el material y evitar que se formen bordos y ondulaciones. Los compactadores de llantas neumáticas deberán tener un peso máximo de cuatro mil quinientos (4,500) kilogramos y se pasarán alternativamente con la rastra el número de veces que sea necesario para asegurar que el máximo del material pétreo se ha adherido al material asfáltico; cuando se abra al tránsito el tramo, se continuará rastreando para evitar que se formen ondulaciones con el material pétreo excedente. Cuando se observe que ya no se adhiere más material pétreo y no antes de tres días, se recolectará todo el sobrante con cepillos de fibra o raíz.

Durante la construcción de estas carpetas no deberá permitirse el tránsito de vehículos sobre ellas. Asimismo, esta suspensión deberá continuar por un periodo no menor de veinticuatro horas, después del tendido y planchado del material 3.

Las cantidades de cemento asfáltico y materiales pétreos en lts/m² para estas carpetas se ven en la siguiente tabla:

Materiales	Tipo de Carpeta		
	Tres riegos	Dos riegos	Un riego
Cemento asfáltico Material pétreo 1	0.6-1.1 20-25		
Cemento asfáltico Material pétreo 2	1.0-1.4 8-12	0.6-1.1 8-12	

Cemento asfáltico Material pétreo 3-A			0.7-1.0 8-10
Cemento asfáltico Material pétreo 3-B	0.7-1.0 6-8	0.8-1.1 6-8	
Cemento asfáltico Material pétreo 3-E			0.8-1.0 9-11

El cemento asfáltico considerado en esta tabla se refiere al que existe en los materiales asfálticos que se empleen.

5. CARPETAS DE MEZCLA EN PLANTA EN FRIO Y EN CALIENTE

5.1 Mezclas

Las mezclas asfálticas pueden clasificarse de la siguiente manera:

- *Frías*: Elaboradas con asfaltos rebajados y con emulsiones asfálticas.
- *Calientes*: Elaboradas en planta estacionaria.

5.1.1 Mezclas en Planta en Calientes

En asfaltos de mezcla caliente, el asfalto funciona como un pegamento impermeable, termoplástico, visco-elástico.

Las características y la cantidad agregadas de cemento asfáltico se diseñan específicamente para cubrir las necesidades de la carpeta. El cemento asfáltico y los materiales del curso superficial se producen en una planta, en donde los agregados y la carpeta se calientan y se mezclan para producir el concreto asfáltico caliente.



5.1.2 Mezclas Frías

Las mezclas llamadas “frías” son producidas en el lugar o en planta, como su nombre lo indica, se incorporan y se tienden los agregados con el asfalto con motoconformadora.



Son utilizados asfaltos rebajados de fraguado rápido o emulsiones asfálticas de rompimiento rápido que se incorporan al pétreo previamente “acamellonado”; la dosificación se hace por volumen en forma aproximada, por lo que es muy difícil lograr un producto homogéneo.

5.1.3 Carpetas asfálticas de mezcla en el lugar

Estas carpetas, muy usadas anteriormente y en la actualidad sólo en algunos trabajos pequeños, ya que no son tan resistentes al tránsito como las carpetas de mezcla en planta en caliente.

Se fabrican colocando los agregados pétreos en un camellón uniforme e incorporando, mezclando con el asfalto, ventilando para que se evaporen los solventes o el agua y tendiendo sobre la base impregnada, todas estas operaciones con motoconformadora. Se utilizan asfaltos rebajados de fraguado rápido (FR) o emulsiones asfálticas de rompimiento rápido (RR).

Después de tendida la mezcla se compacta. Constituye uno de los métodos de construcción más antiguos porque las técnicas son muy sencillas y sólo se emplean elementos muy comunes de maquinaria. Se requieren operadores muy hábiles conocidos como "operadores de mezcla negra" que no siempre están disponibles.

CARPETAS DE MEZCLA

		Revoltura con:	Tendido con:
{	EN EL LUGAR	{ Motoconformadora	Motoconformadora
	EN PLANTA	{ Revolvedora de aspas	Extendedora o Finisher

6. PLANTAS DE ASFALTO

El proceso de fabricación de mezclas asfálticas, requiere una planta altamente controlada. Dichas plantas tienen muchos componentes que requieren cuidados en sus funciones específicas. Estas funciones consisten en manejar los agregados calificados, calentarlos y quitar la humedad en ellos, cuentan con un sistema con el cual son capaces de clasificar de nuevo los agregados ya calientes para proporcionar, junto con el material bituminoso (previamente calentado), mezcla asfáltica, mientras que al mismo tiempo satisface normas ambientales importantes, particularmente en el área de las emisiones al aire.

Estas mezclas se producen en estas plantas y se transporta al sitio de pavimentación en camiones.



Para proporcionar una vista rápida de una planta de producción del asfalto se presentarán esquemas y descripciones de los diferentes componentes de las plantas de producción de asfalto.

Como plantas de asfalto se distinguen principalmente dos tipos:

— *Plantas de producción discontinua o de batchas.*

Las plantas tipo bacha han sido aceptadas tradicionalmente como las más precisas por cuanto la dosificación se hace íntegramente por peso.



— *Plantas de producción continua.*

Son las más económicas, fáciles de trasladar, montar y mantener, además de que su operación es muy sencilla.



Mientras que el proceso en las plantas continuas y las discontinuas es diferente hay muchos elementos similares que varían solamente en algunos detalles entre los tipos de plantas. A continuación se analizarán cada uno de ellos.

6.1 Plantas de Bachas

Las plantas de bachas datan del principio de la industria del asfalto, proporcionan y mezclan el asfalto con los agregados dosificándolos por peso. Sus componentes primarios en el orden del flujo material son:

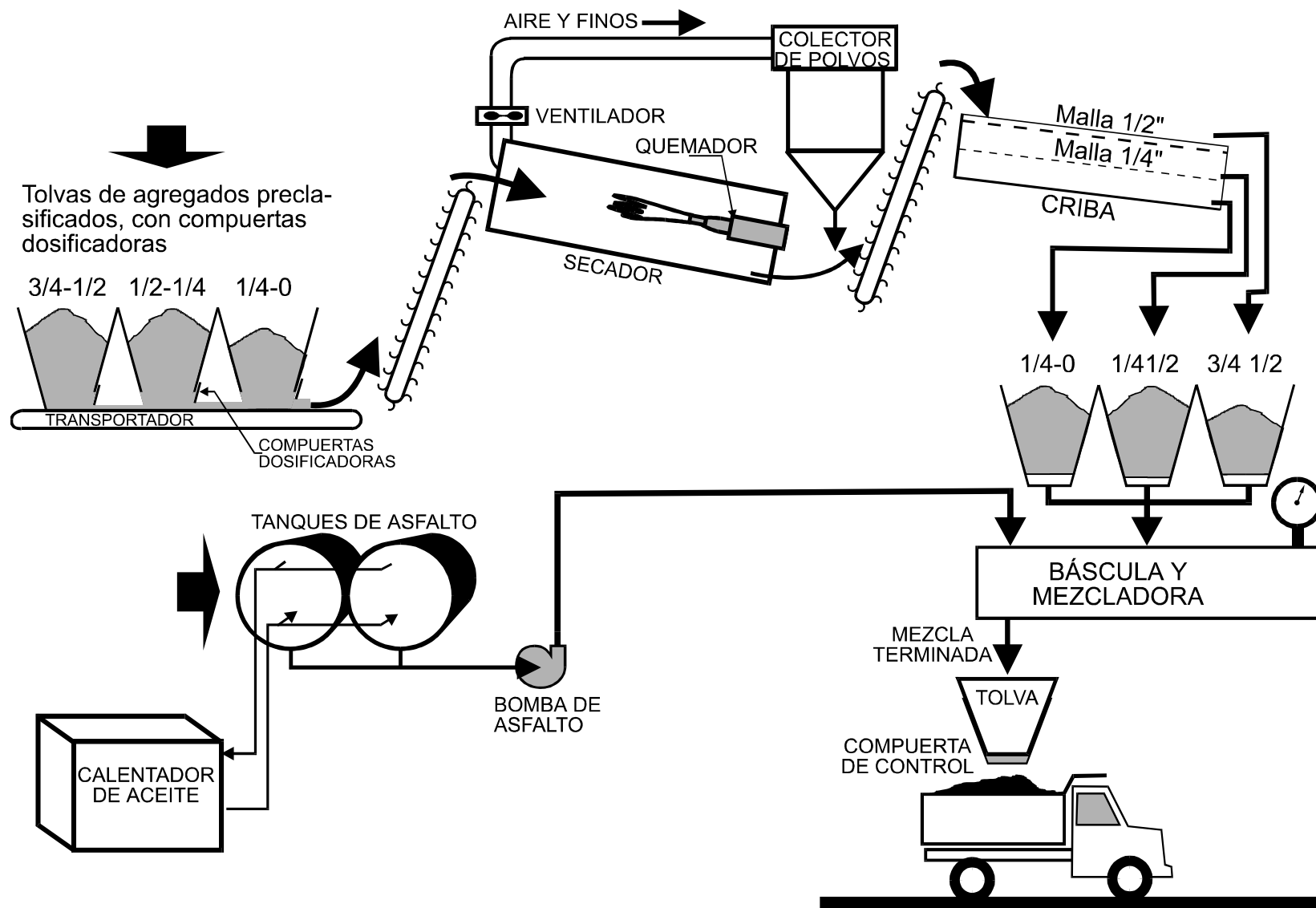
- Sistema de alimentación en frío (tolvas).
- Secador.
- Elevador caliente.
- Cribas calientes.
- Compartimientos calientes.
- Mezclador de Asfalto.
- Dirección del sistema.
- Colectores de polvo.
- Tolvas de salida.

6.1.1 Sistema de alimentación en frío

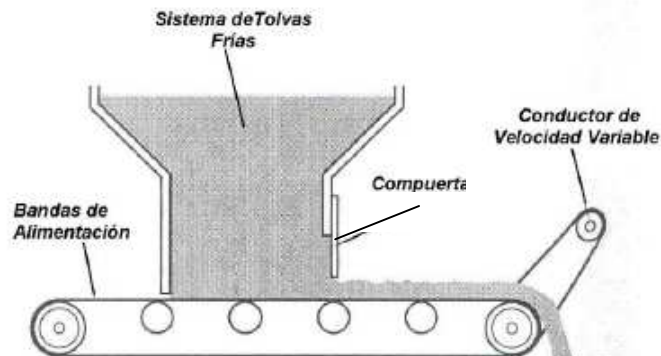
Las tolvas o compartimientos fríos de alimentación proporcionan almacenamiento de los agregados y un flujo uniforme del material correctamente clasificado para mezclarse. Este sistema consiste generalmente en tres o cuatro compartimientos abiertos por la parte superior montados juntos como una sola unidad. El tamaño de los compartimientos es proporcional con la capacidad de la planta. Los compartimientos individuales tienen costados inclinados para provocar el flujo del material. En el caso de algún agregado pegajoso por humedad puede ser necesario tener vibradores en la pared.



DIAGRAMA DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA PLANTA DE ASFALTO DE MEZCLA DISCONTÍNUA (BACHAS)



En el fondo de cada compartimiento está una compuerta para controlar el flujo de material. El operador de la planta ajusta el flujo de agregados de cada compartimiento para asegurar un suficiente flujo del material para mantener una carga adecuada de agregados a los compartimientos calientes.



SISTEMA DE ALIMENTACIÓN EN FRÍO

Los transportadores de bandas o los elevadores de congilonos son el equipo más común para transportar los agregados pétreos fríos de las tolvas al tambor de secado.

6.1.2 Secadores

Los propósitos de un tambor de secado son calentar y secar los agregados de la mezcla, esto es necesario ya que si el agregado no se ha calentado adecuadamente, el asfalto se endurecerá al mezclarse y los agregados, no se cubren totalmente con asfalto. Por lo tanto, el agregado debe ser calentado lo suficientemente para producir una buena mezcla final a la temperatura deseada. Los agregados se introducen en el extremo del secador a través del extremo opuesto al flujo del gas.



6.1.3 Vuelos

Placas del metal de varias formas puestas longitudinalmente dentro de un secador o de un mezclador del tambor. Mientras que el material se mueve a través del tambor, los vuelos primero levantan el agregado y después estos caen a través de los gases calientes.

El tambor está inclinado hacia abajo del extremo de la alimentación de los agregados al extremo del horno. Esta cuesta hace al agregado moverse a través del tambor por gravedad. El tambor rota y los ángulos de acero ("vuelos"), montados en el interior suben los agregados y los descarga a través del horno. Finalmente, el agregado con una primera graduación granulométrica y calentado se descarga en el elevador caliente que lo lleva a las cribas calientes. Cada aumento en porcentaje de humedad agregada aumentará de manera importante el consumo de combustible del secador.

6.1.4 Cribas

Los agregados secos y calientes pasan del secador a un elevador de cangilones que los deposita en una criba que vuelve a separar los materiales en diferentes tamaños, los que caen en tres o cuatro tolvas. Esta separación permite una gran precisión en la granulometría final de la mezcla. En esta criba se eliminan también las partículas mayores al tamaño máximo especificado.

De las tolvas los diferentes tamaños de agregados almacenados pasan a una báscula donde se dosifica cada tamaño y el asfalto caliente.

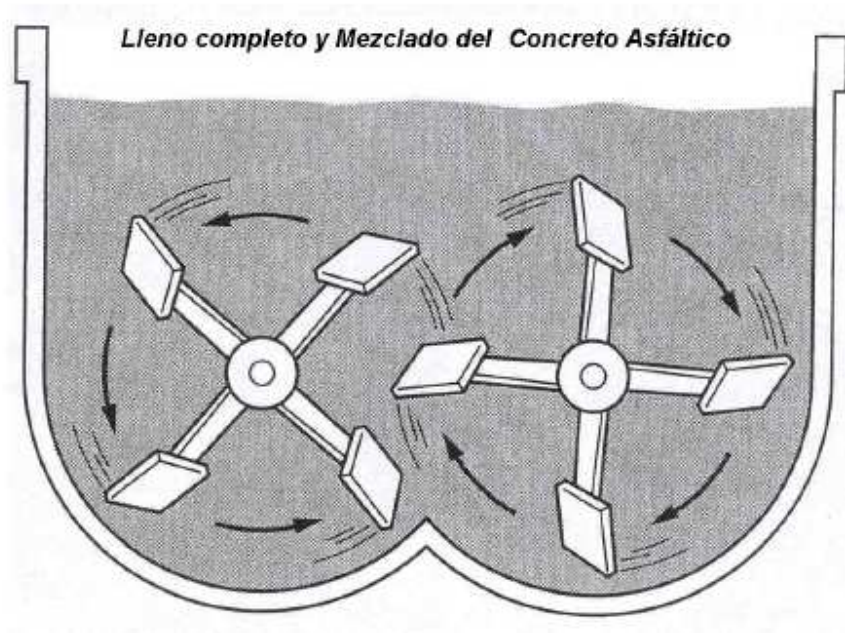
La báscula descargada en la mezcladora, que después de homogeneizar la mezcla la vierte a la tolva de producto final.

6.1.6 Sistema de Almacenamiento del asfalto

El cemento asfáltico se almacena en la planta en un tanque que lo mantiene caliente. El asfalto se bombea a la báscula sobre los agregados para la descarga en el mezclador. Debido a la influencia de la temperatura en la calidad de la mezcla, el comprador de mezcla asfáltica, generalmente especifica la temperatura de la mezcla inmediatamente después de descarga del mezclador. La temperatura para las mezclas es a partir de 85 a 180°C; debe estar en la temperatura más baja que alcanzará la capa completa del asfalto de los agregados y todavía permita trabajar satisfactoriamente. En algunos casos, durante un clima frío o en el caso de trayectos largos para su colocación, el concreto asfáltico se calienta con 15°C adicionales para tener en cuenta la pérdida de la temperatura durante el transporte.

6.1.7 El Mezclado

La mayoría de las plantas utilizan un mezclador de eje gemelo para mezclar los materiales, para alcanzar la uniformidad, el compartimiento se debe llenar totalmente de la mezcla. La mezcla real requerida se evalúa basándose en la inspección de la capa tendida que resulta.



La capacidad de la planta es una función del tamaño del mezclador y del tiempo que se mezcla. Una planta de bachas con un mezclador de 5 toneladas puede producir 300 toneladas de la mezcla por hora si una operación continua puede ser mantenida.



6.2 Plantas de mezcla asfáltica continua

La producción se puede dividir en tres secciones:

- Dosificación de áridos
- Secador y colector de polvos
- Dosificación y mezclado de materiales calientes

Los componentes primarios de una planta de la mezcla del tambor o mezcladora continua son:

- Sistema frío de la alimentación
- Sistema de procesamiento del asfalto
- Elevadores del tambor que se seca y que se mezcla
- Colectores de polvo

Todos estos elementos son semejantes a los de la planta discontinua.

Todos están montados en un bastidor simple de remolque. Un tractor con un accesorio de quinta rueda puede transportar la unidad.

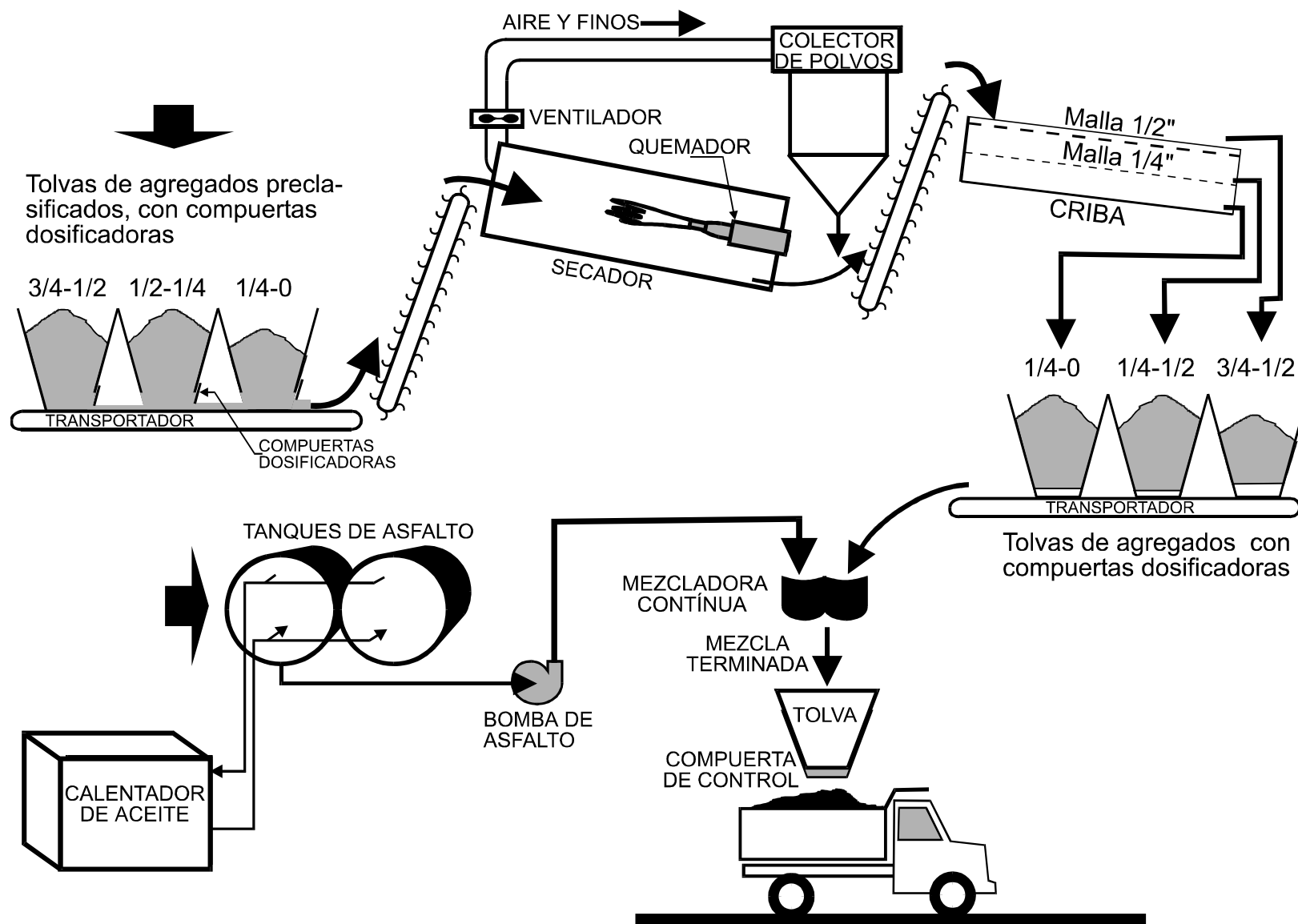
Los controles de funcionamiento de las plantas están en una consola de acero, la que está instalada en una caseta de control portátil. Los controles incluyen controladores de temperatura, un controlador de manejo de quemador, un controlador de proceso programable



Controles de tolva de carga. Permiten al operador controlar las señales al camionero y la descarga de la tolva. También hacen sonar una alarma cuando la tolva llega a un nivel alto.

Controles de bomba de asfalto. Permiten al operador controlar manualmente la velocidad de la bomba de cemento asfáltico y anular el control de mezcla automático.

DIAGRAMA DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA PLANTA DE ASFALTO DE MEZCLA CONTÍNUA



Control de paralización de emergencia de la planta. Permite al operador paralizar toda la planta.



Controles del motor. Permiten al operador encender y apagar los motores que accionan el compresor de aire, soplador de quemador de tambor secador, transportador de arrastre, bomba de agua, tornillo sinfín de polvo y bomba de combustible.

Controles de quemador. Permiten al operador elegir un control automático o manual de proceso, fijar de antemano la temperatura del proceso de mezclado, fijar el límite de la temperatura de la mezcla y el límite de la temperatura del escape, ver el estado del quemador, reposicionar el control protector de llamas, encender el piloto del quemador, encender la llama principal del quemador, ver el estado de falla de llama o silenciar la alarma del quemador.

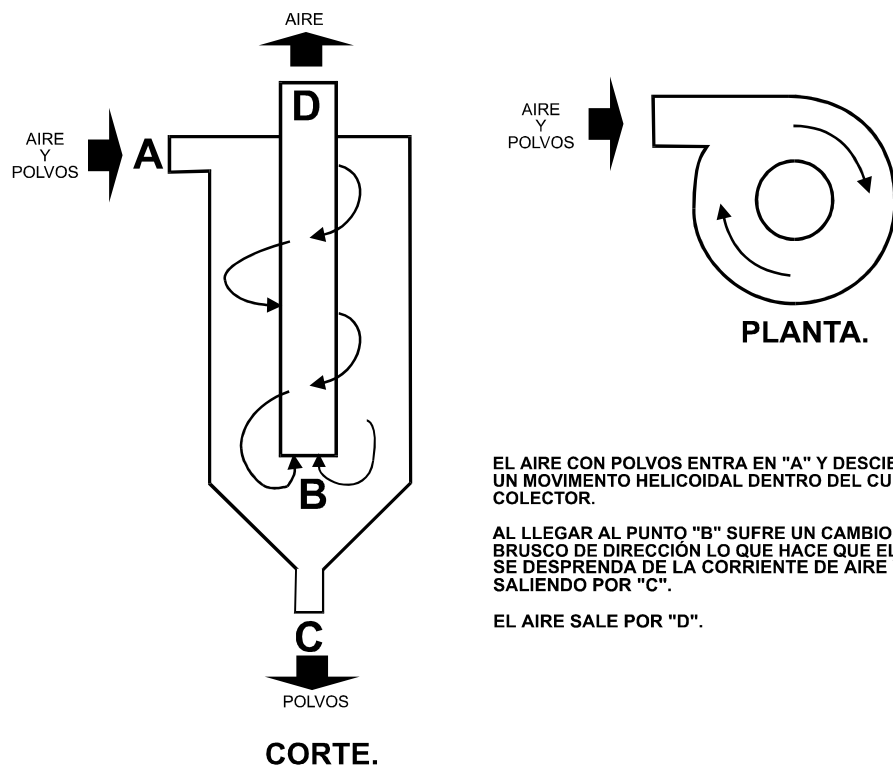


6.2.1 Colectores de Polvo

Para evitar la pérdida de finos a la atmósfera, las plantas del asfalto se equipan de los sistemas colectores de polvo.



DIAGRAMA DEL FUNCIONAMIENTO DE UN COLECTOR DE POLVOS.



Las nuevas leyes de contaminación atmosférica requieren generalmente una eficacia sobre el 90% para satisfacer los reglamentos acerca de la contaminación atmosférica.

A una planta de asfalto se debe agregar un colector de finos, que es una adición a los componentes de la planta, debe tener la eficacia total de hasta el 99% o, más del polvo quitado del aire.

6.2.2 Almacenaje y calentamiento del asfalto

Cuando el asfalto líquido se combina con el agregado para mezclarse, la temperatura del asfalto debe estar en la temperatura de 150 °C. Por lo tanto, las plantas tienen sistema de calefacción (calentador de aceite) para guardar el asfalto líquido a la temperatura requerida.



En un sistema de aceite caliente se calienta el aceite y se bombea a la instalación de tubos dentro del tanque del asfalto.

La viscosidad del cemento asfáltico debe ser lo suficientemente baja para permitir ser bombeado; puesto que diversos asfaltos tienen diversas relaciones de la temperatura-viscosidad, la temperatura del almacenaje es diferente para los diversos grados de asfaltos.

La temperatura del almacenaje está típicamente en la gama de 160°C para los asfaltos suaves y a 180°C para los asfaltos duros. Para los diferentes tipos de asfaltos, el grado de funcionamiento es indicado por el productor o el distribuidor, el indicará la temperatura del almacenamiento que dará al cemento asfáltico la viscosidad apropiada para ser bombeado.

7. RECICLADO DE PAVIMENTOS

El pavimento reciclado es un producto muy utilizado, ya que una gran cantidad de toneladas de agregados pétreos se tritura en los caminos para realizar los diferentes proyectos cada año. De esta cantidad, 80 por ciento se reciclan como "pavimento reciclado de asfalto" (el RAP). Los pavimentos existentes de asfalto representan una gran inversión, mucha de esta inversión pueden ser recuperada utilizando métodos que reciclan el material pétreo del pavimento.



Dentro de las nuevas técnicas para la rehabilitación de los pavimentos de concreto asfáltico, actualmente se está empleando el sistema de "fresado y sobrecarpeta", que en términos generales consiste en lo siguiente:

Recortar la parte superior de la carpeta asfáltica por medio de fresadoras y posteriormente colocar una sobrecarpeta nueva.

7.1 Fresado

El fresado (también denominado perfilado en frío) ofrece muchas ventajas para la ingeniería de carreteras. Veinte años atrás, las carreteras se diseñaban para un tránsito menor y para vehículos más livianos que los usados hoy en día. En consecuencia, muchas carreteras sufren deformaciones y fallas prematuras. El restablecimiento de una superficie uniforme es esencial si se han de reparar apropiadamente estas carreteras.

El fresado puede restablecer el peralte y la pendiente correctos de la carretera y eliminar puntos altos y marcas de rodamiento.

Se logra un mejor enrasamiento con el fresado que aplicando una capa niveladora de asfalto; además, se logran ahorros considerables. El fresado en las carpetas asfálticas tiene por objeto reutilizar los agregados pétreos que representa la mayor parte del costo de los materiales de la mezcla. Para lograr resultados satisfactorios con este método será necesario hacer una elección adecuada de las obras en donde deba emplearse, tomando en cuenta las condiciones estructurales de los pavimentos y la geometría requerida para cada caso en particular. A continuación se da una relación de los casos en que puede aplicarse este método, así como las recomendaciones particulares para su rehabilitación.

1. Condiciones: cuando se esta reconstruyendo un pavimento en zona urbana y la luz en guarniciones es escasa o nula
2. Condiciones: En pavimentos agrietados que no presentan deformaciones y cuya estructura no requiere de un esfuerzo considerable.



3. Condiciones: En pavimentos en los cuales se requiere corregir la geometría de la superficie de rodamiento y que no presentan fallas estructurales.
4. Condiciones: En reconstrucciones de pavimentos que cruzan puentes y en los cuales se quieren conservar los gálibos.

Deberá hacerse una adecuación longitudinal en los niveles de las rasantes del pavimento terminado, para evitar cambios bruscos de pendiente que resulten molestos a los usuarios.

Los trabajos de rehabilitación por este sistema, se llevarán a cabo de la forma siguiente:

Primeramente, se recortará el pavimento de concreto asfáltico con maquina fresadora en el espesor que marque el proyecto. Si después de terminado el fresado queda material suelto, como costra de la carpeta asfáltica, deberá eliminarse.

Dentro de las preparaciones para realizar este trabajo, se harán renivelaciones de brocales, cajas de agua, coladeras de piso, tapas de registro y bacheos donde sea necesario.

Como la textura que deja la maquina fresadora es rugosa y favorece la buena adherencia de la nueva capa de concreto asfáltico, no es necesario picar la superficie de contacto; sin embargo, antes de preceder el riego de liga deberá barrerse perfectamente bien, eliminando el polvo y todas las impurezas. El riesgo de liga será con emulsión asfáltica de rompimiento rápido a razón de 0.7 lt/m² aproximadamente.

La colocación y el tendido de la mezcla asfáltica se realizarán de la misma forma como una mezcla elaborada en caliente.

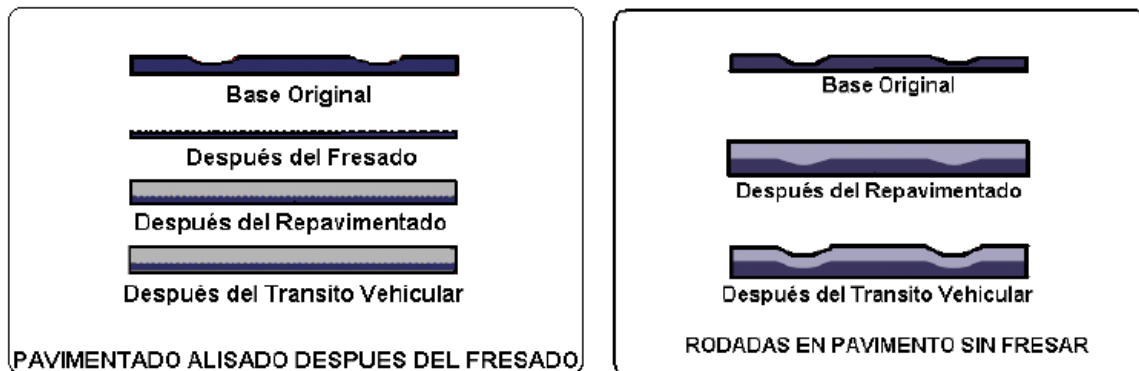
Durante los trabajos de rehabilitación de la vialidad, es conveniente no dejar la superficie fresada por más de dos días, debido a que los vehículos con esta superficie tienden a enriarse y a patinar, situaciones que pueden provocar accidentes al frenar o al cambiar de carriles.

No es recomendable realizar estos trabajos en temporada de lluvias, pues se quedaría el agua atrapada, y esta podría provocar fallas mayores que las existentes.

El asfalto reciclado se combina con los agregados nuevos en una planta de mezcla asfáltica caliente para producir nuevo pavimento. El nuevo diseño de la mezcla tendrá que indicar la granulometría del agregado en el pavimento de asfalto de reciclado (RAP) y el contenido del asfalto.



Al nivelar con una fresadora, se debe usar un patín de longitud apropiada para obtener la misma uniformidad de superficie que aquella lograda con una máquina extendedora.



Así, una superficie recientemente fresada se entrelaza y une extremadamente bien con la nueva superficie de asfalto que se aplica.

En la actualidad, se puede fresar la superficie de una carretera con un costo aproximadamente igual o menor que el de aplicar una capa ligante.

Con una fresadora-cargadora frontal, se recoge automáticamente el material derramado por el transportador. Al utilizar un sistema de barredora integral la mayor parte de los trozos grandes de material fresado se recogen y se cargan automáticamente al cilindro de corte para colocarlos de nuevo sobre el sistema transportador. El material fino que permanece en la carretera se derretirá casi instantáneamente al aplicar una nueva capa de mezcla caliente. De este modo, las partículas finas se convierten en una capa ligante.

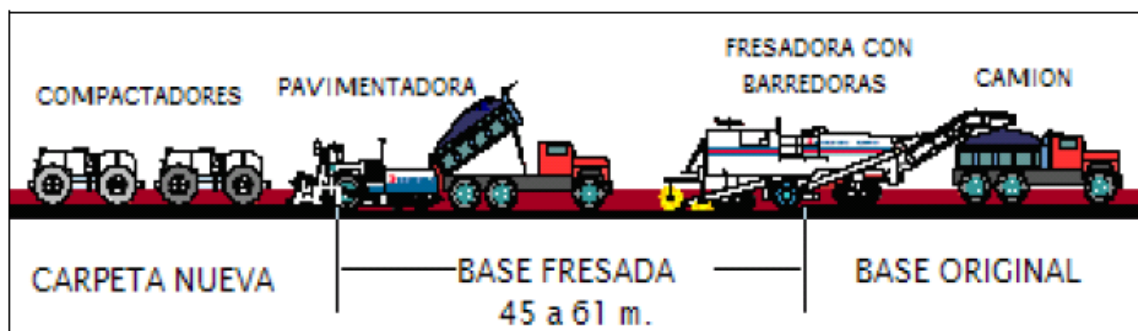
Más aun, las zonas fresadas dan una superficie entrelazada mucho más fuerte que la de una capa ligante.



Al utilizar este procedimiento de limpieza con una fresadora de carril completo, se pueden fresar secciones enteras de la carretera, repavimentándolas

inmediatamente detrás de la fresadora. Una máquina pavimentadora puede trabajar a unos 45 a 60 metros detrás de la fresadora, dejando suficiente espacio para acarrear mezcla caliente a la extendidora. Por su parte, los camiones de mezcla caliente pueden acarrear el material fresado a la planta para reciclarlo. Con este procedimiento, no se permite en ningún momento la circulación de tránsito sobre la superficie fresada.

Típicamente, la fresadora y la pavimentadora ocupan únicamente una longitud de 45 metros de la carretera, y las máquinas compactadoras de la nueva superficie ocupan un espacio de menos de 600 metros. Por lo tanto, se logra una desviación mínima del tránsito.



Debido a que esta técnica es un tanto nueva, sus beneficios no son ampliamente conocidos, pero los ahorros logrados al recuperar y reutilizar los materiales, más la reducción de demoras para los automovilistas, deberían convertir esta técnica en el método estándar de la industria.

Se ganan otras ventajas muy importantes con el fresado y repavimentado al efectuar trabajos en autopistas. No se necesita elevar los acotamientos, porque la elevación de la carretera permanece igual.

Además, al fresar la superficie de un puente, su capacidad de carga y los gálibos permanecen igual, haciendo innecesario el mejorar su estructura o reducir sus límites de peso.

El fresado es probablemente más provechoso en las ciudades que en cualquier otro sitio.

La mayor parte de ciudades ha recubierto sus calles tantas veces que su desagüe es inadecuado. Las sobrecapas de las calles frecuentemente llegan hasta el nivel de la guarnición y de la cuneta.



Al fresar la calle de vuelta a su perfil original y bajar su elevación a la superficie inicial, se restablece el desagüe correcto y se mejora la seguridad de los conductores. Las cunetas recobran su capacidad de descargar el volumen del agua para el cual se diseñaron originalmente.

Al repavimentar una calle urbana, no es raro que el costo de elevar los registros de servicios públicos exceda el costo de la pavimentación.

7.2 Ahorros logrados con el reciclaje

Además de todas las ventajas obtenidas al fresar y perfilar las calles tanto en trabajos urbanos como en carretera, se generan cantidades grandes de material reciclable. (El material reciclable comúnmente se denomina RAP, que significa pavimento asfáltico recuperado por sus siglas en inglés.)

El RAP básicamente vale lo mismo que el material que reemplaza. Puede reemplazar una parte del agregado virgen y del asfalto líquido en una mezcla nueva.

7.3 Clasificación

Atendiendo el objetivo de la rehabilitación se pueden clasificar en:

- Tipo I. Reciclado de la carpeta asfáltica, como un proceso de renovación y regularización superficial.
- Tipo II. Reciclado de la carpeta y parte de la base granular, creando una capa de base de alta calidad, y posterior de una capa asfáltica de poco espesor, como u proceso de refuerzo ligero.

- Tipo III. Reciclado total de la carpeta y la base granular, creando una capa de base de alta calidad, y posterior acabado con carpeta asfáltica, lo que constituye una gran rehabilitación o reconstrucción.

En función del procedimiento utilizado para su fabricación y puesta en obra:

- In Situ
 - En frío. Con emulsión rejuvenecedora. Con asfalto modificado.
 - En caliente. Con cemento asfáltico y/o agente rejuvenecedor.
- En planta
 - En frío. Con emulsión rejuvenecedora en plantas mezcladoras.
 - En caliente. En plantas discontinuas de tambor secador mezclador o doble tambor.

Para poder definir el procedimiento más adecuado que se debe utilizar y elaborar el proyecto respectivo, es necesario conocer la composición vehicular y volumen de tránsito que circula por el tramo de la carretera por rehabilitar y conocer el espesor y calidad e los materiales (agregados y asfalto) de las capas de pavimentos existentes.

Esta característica nos lleva a la necesidad de realizar muestreos de los materiales a reciclar.

La posibilidad de que las características de los materiales varíen a lo largo de la rehabilitación nos obliga a efectuar muestreos permanentes para ratificar o modificar el diseño realizado.

De los muestreos realizados se determinan las siguientes características:

A. Sobre el asfalto envejecido:

1. Penetración
2. Punto reblandeciente

B. Sobre los agregados recuperados:

1. Granulometría
2. Plasticidad.

Con estos datos se determina, según el tipo de reciclado:

- Necesidad de cribado o trituración (reciclado en planta)
- Tipo y cantidad de agregado virgen para componer las curvas granulométricas

7.3.1 Reciclado in situ en frío

El reciclado en frío puede agruparse en dos técnicas constructivas:

- a) Reciclado de la carpeta asfáltica.
- b) Reciclado del pavimento incluyendo la carpeta asfáltica y la base hidráulica en su espesor total o parcial.

7.3.2 Reciclado de la carpeta asfáltica

Este tratamiento se aplica en carreteras con la carpeta deteriorada pero que no sufre problemas estructurales de base. Se pretenden eliminar los problemas superficiales como roderas, daños causados por el tráfico, abultamientos, piel de cocodrilo y otras imperfecciones.

El procedimiento consiste en levantar la carpeta vieja hasta una cierta profundidad, sin afectar la base, disgregar el material, aplicarle un ligante en caso de que se requiera y un agente rejuvenecedor que permita que el asfalto recupere parte de sus propiedades originales, tenderlo nuevamente y compactarlo.

Posteriormente se aplica un riego de sello ya sea con gravilla o con mortero asfáltico, o se aplica una capa de mezcla en caliente con espesor variable, en función del tipo e intensidad del tráfico que va a tener la carretera.

7.3.3 Reciclado total

Es un método reciclado que pretende producir una base estabilizada. Este tratamiento se aplica a carreteras donde tanto la base como la carpeta presenten problemas.

En este procedimiento se recicla conjuntamente la carpeta con la base o parte de ella, corrigiendo en su caso, la granulometría resultante, mediante la adición de agregado triturado de buena calidad y se controla la plasticidad mediante la adición de cal o cemento hidráulico.

A esta mezcla se le adiciona un ligante en forma de emulsión y el agua necesaria para lograr el contenido asfáltico requerido. Después de completarse el mezclado, el material de base está listo para nivelarse y compactarse. Puede ser necesario aplicar después un riego de liga para asegurar una buena adherencia entre la nueva base y la carpeta de desgaste.

El reciclado en frío se realiza con máquinas autopropulsadas que permiten disgregar adecuadamente los materiales con la granulometría especificada, dosificar apropiadamente el agua y la emulsión requerida y mezclar estos últimos con los agregados. Dependiendo del tipo de máquina, el tendido del material reciclado lo realiza la misma máquina mediante la rastra, o se efectúa con una motoconformadora. La compactación se realiza con medios convencionales.

Ventajas del reciclado en frío:

1. Se aprovechan los agregados pétreos que ya existen en la carretera por lo que se conservan los bancos de materiales, esto le confiere a esta técnica una componente ecológica muy importante.
2. Los costos de acarreo total de estos materiales se eliminan del costo total de la obra.
3. La capa de rodamiento se abarata ya que se logran buenos resultados con sellos o carpetas de poco espesor. Para obtener los mismos resultados se requerirán sobre carpetas de mayor espesor.
4. Se elimina el reflejo de las grietas. Las obras recicladas tardan más tiempo en presentar las grietas de la base y en muchos casos estas desaparecen.
5. Los trabajos de reciclado se realizan en muy poco tiempo por lo que los trastornos ocasionados a los usuarios del camino son mínimos.
6. Permite restablecer el bombeo de la carretera y modificar perfiles.
7. Conserva energía ya que no se requiere calentar ni el asfalto, ni el agregado y no requiere ser secado antes de la operación del reciclado.
8. Economía en el proceso de mantenimiento, por los ahorros en acarreos, materiales...

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se puede observar que para garantizar la calidad, economía y funcionalidad, así como reducción de los tiempos de ejecución en los pavimentos, se han modificado los equipos que se utilizaban, partiendo del mismo principio pero mejorándolo, al igual que los procesos para su colocación.

Las petrolizadoras modernas cuentan con un dispositivo que regula la temperatura a la que se mantiene el fluido, la velocidad del vehículo y el flujo del asfalto, y la altura de los aspersores con objeto de que la capa que rocía quede uniforme, asegurando la calidad y la cantidad de asfalto necesaria para el correcto funcionamiento de la carpeta. Algo muy importante es que una vez que se regó el asfalto no se debe pasar sobre él para evitar su desprendimiento.

En el caso de los esparcidores (remolcados o autopropulsados), ellos tienen que rodar sobre el riego de material pétreo para evitar el desprendimiento del riego de asfalto previo al riego del material pétreo.

En las barredoras, el molote deberá tener un ángulo de inclinación (dirigiendo el polvo a donde queremos que salga) respecto a la dirección en la que avanza la máquina para que quede limpio para aplicar la capa de impregnación con la petrolizadora.

Hablando de la extendedora o finisher, ésta sí pasa encima del riego de liga de la base impregnada, cosa que no ocurre con los esparcidores, pero para proteger la base se vierte un poco de material en el paso de las ruedas de la máquina, lo que se conoce como cacahuateo, que es indispensable para que el pavimento quede bien colocado, además, dicha máquina se tiene que valer de una ayuda, los niveladores, para que el espesor sea homogéneo y cumpla con las especificaciones solicitadas, garantizando la calidad y la funcionalidad. Es indispensable recalcar que para abastecer de mezcla asfáltica a la extendedora es indispensable utilizar camiones de volteo, los que se colocarán de reversa a la máquina, la cuál lo irá empujando (por eso es indispensable que el operador del camión lo ponga en neutral) conforme vaya avanzando.

En la etapa final de las carpetas asfálticas se utilizan los compactadores que darán a la carpeta el "acabado final", primero con un compactador sin vibración, después con vibración y finalmente con el compactador neumático.

Otro tema muy importante de este trabajo es el reciclado de pavimentos. Las compañías de servicios públicos continuamente hacen cortes y desechan material

reciclable valioso. Este material a menudo se encuentra en trozos grandes que requieren ser triturados y procesados.

Para utilizar pavimento de asfalto de reciclado apropiadamente, es mejor manejarlo como si fuera agregado virgen. Al usarlo en cantidades grandes, se debe separar en al menos dos tamaños diferentes para controlar la granulometría. Cuando se poseen fresadoras, salir a fresar pavimentos para obtener material reciclable es más barato que romper y triturar pavimento, porque el material fresado normalmente no requiere trituración.

Es indispensable recalcar que se ha llegado a los actuales procesos constructivos gracias a la experiencia y visión de la gente que colabora en la construcción de los pavimentos asfálticos y en general de las obras civiles, cuyo objetivo fundamental es garantizar la funcionalidad, calidad y reducción de tiempos, y por supuesto, costos en las obras civiles.

BIBLIOGRAFÍA

Chavarri Maldonado Carlos **Apuntes de la materia de Pavimentos.**

Alcaraz Lozano Federico **Apuntes de la materia de Pavimentos.**

Gil Valdivia Emilio **CARPETA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS** México. UNAM.

S.C.T. Especificaciones de Construcción.

PÁGINAS WEB:

<http://www.normas.imt.mx>

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/maxil_c_r/apendiceA.pdf

<http://www.imt.mx/Espanol/Publicaciones/pubtec/pt255.pdf>