

138  
29.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

# **“PLANTAS DE ASFALTO”**

**SEMINARIO DE TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A N :

**GUSTAVO RODRIGUEZ GARZA**

**JULIO CESAR TORNEZ DIEGO**



MEXICO, D. F.

1987



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# I N D I C E

## CAPITULO I

Introducción 1

## CAPITULO II

MATERIALES PARA MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE 4

Cemento Asfáltico 4

Asfaltos Rebajados 6

Emulsiones Asfálticas 11

Métodos de Fabricación de las Emulsiones para  
Carpetas Asfálticas. 20

Agregados 24

## CAPITULO III

PRUEBAS DE LABORATORIO PARA MATERIALES PETREOS  
USADOS EN CARPETAS ASFALTICAS. 29

Contenido de Cemento Asfáltico para Carpetas 34

Pruebas Marshall 36

## CAPITULO IV

EQUIPOS E INSTALACIONES 50

Predosificación de los Agregados 51

Secado y Calentamiento de los Agregados 62

Colector de Polvo 65

Cribas para Agregados Calientes 68

Tovas de Material Caliente 70

Depósitos y Suministros de Cemento Asfáltico  
Almacenamiento 77

## CAPITULO V

AJUSTE DE UNA PLANTA 79

Ajuste de las Compuertas de Agregados Fríos 84

Análisis Granulométrico 89

Secado 95

Colector de Polvo	97
Calibración de la Bomba de Asfalto	97
Mezclador	100
<u>CAPITULO VI</u>	
EJEMPLO DE AJUSTE DE UNA PLANTA DE ASFALTO	102
<u>CAPITULO VII</u>	
CONCLUSIONES	107

## CAPITULO I

### INTRODUCCION

La creciente demanda de vías de comunicación en nuestro país, tales como calles, carreteras y aeropuertos, ha dado lugar a nuevos procedimientos de construcción de pavimentos, los cuales incluyen la fabricación de concreto asfáltico con métodos que proporcionen rapidez en su elaboración, buena calidad y al mismo tiempo costos aceptables.

En este trabajo se pretende ilustrar el proceso de fabricación de mezclas asfálticas en caliente y el funcionamiento interno de una planta de asfalto, haciendo un estudio acerca de los elementos que componen un concreto asfáltico (asfalto y agregados). Refiriéndonos a sus propiedades características y especificaciones. Asimismo, se hace una descripción de los componentes de una planta de asfalto, los ajustes y su mantenimiento.

Dentro del campo de la ingeniería civil, es importante tener la capacidad para proyectar y diseñar caminos según sean los requerimientos, además, optimizar de alguna manera los costos.

Las mezclas asfálticas para pavimentación hechas con cemento asfáltico se preparan en una instalación mezcladora. Para producir las se combinan, calientan y secan los agregados pétreos y se mezclan con cemento asfáltico. Esta planta de mezclado puede ser pequeña y simple o grande y compleja, según el tipo y cantidad de mezcla asfáltica producida.

Las plantas de asfalto pueden ser fijas o transportables, sean del tipo discontinuo o de mezcla continua. La planta fija está --

ubicada en forma permanente y generalmente no se desmantela ni se mueve. La planta transportable puede ser desarmada fácilmente, trasladada con rieles o por carretera y rearmada con un gasto de tiempo y energía mínimos.

Las fases que componen una planta asfáltica continua son:

- a) Predosificación de los agregados.
- b) Secado y calentamiento de los agregados.
- c) Cribado para agregados calientes.
- d) Almacenaje en caliente.
- e) Mezclado.
- f) Almacenamiento.

Se saca el agregado de las tolvas de almacenamiento, en cantidades controladas y se calienta y seca en un secador. Luego se pone sobre una unidad de cribado que separa al material en fracciones de distintos tamaños y las deposita en tolvas para almacenaje en caliente. Se introduce el agregado y el filler mineral en cantidades controladas, se combina con el asfalto y se mezcla cuidadosamente. Esta mezcla se transporta al sitio a pavimentar.

En plantas de mezclado continuo, se introducen el agregado y el asfalto, se combinan, mezclan y descargan manteniendo un flujo ininterrumpido. La combinación de materiales se hace generalmente por mediciones volumétricas, basadas en su peso unitario. La alimentación de los agregados y del asfalto en un extremo del mezclador se hace por medio de dispositivos interconectados que mantienen automáticamente las proporciones correctas. Los materiales, a

medida que son mezclados, son llevados por paletas agitadoras hacia un extremo de descarga.

Las fases que componen una planta de asfalto discontinua son:

- a) Predosificación de los agregados.
- b) Dosificación.
- c) Calentamiento y mezclado.
- d) Silo de almacenamiento

En las plantas de mezclado de tipo discontinuo se sacan las fracciones de agregado caliente de distintos tamaños de las tolvas de almacenamiento en las cantidades necesarias, se introduce entonces toda la combinación de agregados en una cámara de mezclado. Se mezcla cuidadosamente el asfalto, ya pesado, con el agregado. Luego se vacía el material del mezclador.

Una planta debe estar situada de forma tal que los camiones que transportan la mezcla elaborada para pavimentación no retrasen a los que aprovisionan los materiales. Generalmente están de tal forma que el manipuleo de los agregados que entran es mínimo y cerca de un buen camino para que los camiones que transportan la mezcla no congestionen el tránsito ni se demoren. El área debe estar limpia; las condiciones de sanidad y seguridad de la planta deben ser buenas.

Para seleccionar el lugar de instalación de la planta se debe tener en cuenta ciertos criterios, como escurrimiento superficial del agua, dirección predominante del viento, proximidad de mano de obra y mercado, y base sólida y apropiada.

## CAPITULO II

### MATERIALES PARA MEZCLAS ASFALTICAS EN PLANTAS EN CALIENTE.

A fin de captar el propósito de este tema, es conveniente definir qué es el asfalto. Se trata del residuo que resulta de los procesos de destilación de los crudos. Dicho proceso puede darse en forma natural o artificial, aunque el material asfáltico que se utiliza en la construcción de calles y caminos, se obtiene a partir de un proceso artificial en refineras, como se ilustra en la fig. II.1.

El asfalto se produce en una gran variedad de tipos, tales como sólidos, duros y quebradizos, hasta los fluidos que son tan líquidos como el agua.

Este tipo de materiales se clasifica de acuerdo a sus propiedades y características como sigue:

- |          |                          |
|----------|--------------------------|
|          | a) CEMENTOS ASFALTICOS   |
| ASFALTOS | b) ASFALTOS REBAJADOS    |
|          | c) EMULSIONES ASFALTICAS |

#### a) CEMENTO ASFALTICO

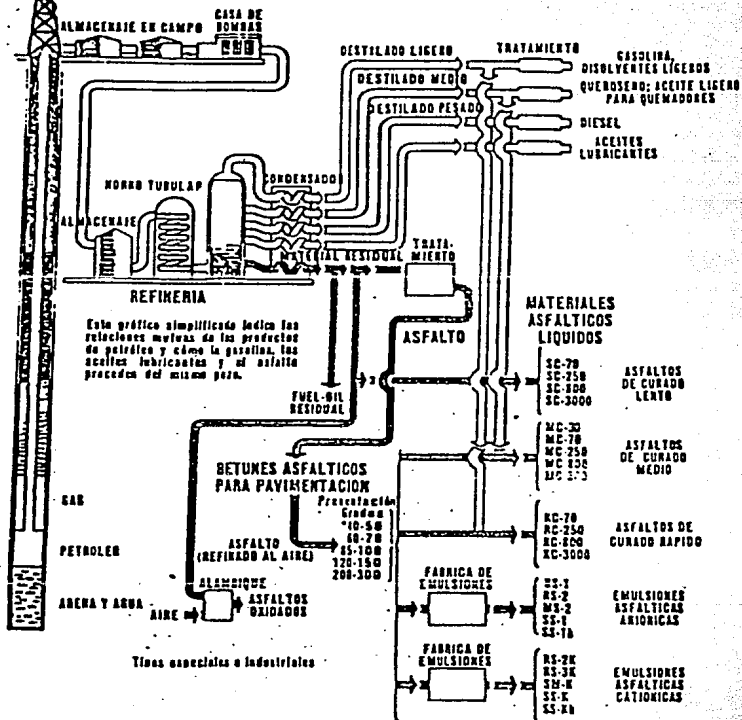
El cemento asfáltico, se encuentra en forma semisólida considerándose como una combinación de asfalto duro y aceites no volátiles. Este, al disolverse en diferentes destilados volátiles del petróleo, o emulsificándolo con agua, da origen a los asfaltos rebajados y a las emulsiones las cuales se describen en la siguiente tabla.



FIG. II.1

ZONA DE PETROLEO

ESQUEMA DE FABRICACION DE LOS PRODUCTOS ASFALTICOS



## TIPOS DE PRODUCTOS ASFALTICOS LIQUIDOS

ACEITES DE VOLATIZACION LENTA	KEROSINA	GASOLINA	AGUA EMULSOR.
CEMENTO ASFALTICO	CEMENTO ASFALTICO	CEMENTO ASFALTICO	CEMENTO ASFALTICO
ASFALTOS DE FRAGUADO LENTO	ASFALTOS DE FRAGUADO MEDIO	ASFALTOS DE FRAGUADO RAPIDO	EMULSION ASFALTICA

b) ASFALTOS REBAJADOS

Los productos obtenidos de los cementos asfálticos mezclados con disolventes, se les conoce como asfaltos rebajados. Al disolverse quedan en estado líquido, lo cual permite manejarlos fácilmente.

Los asfaltos rebajados se clasifican de acuerdo con su velocidad de fraguado, de la siguiente manera:

ASFALTOS REBAJADOS	{	FRAGUADO LENTO F.L. FRAGUADO MEDIO F.M. FRAGUADO RAPIDO F.R.
--------------------	---	--

Los asfaltos rebajados de fraguado lento, son materiales asfálticos líquidos compuestos de un cemento asfáltico y de un disolvente de baja volatilidad o un aceite ligero.

Los asfaltos rebajados de fraguado medio, son materiales asfálticos líquidos compuestos de un cemento asfáltico y de un disolvente del tipo de la kerosina.

Los asfaltos rebajados de fraguado rápido son los materiales asfálticos líquidos compuestos de un cemento asfáltico y de un disolvente como la gasolina.

Las características que definen a los cementos asfálticos se presentan en las siguientes tablas. II.2.a. II.2.b. II.2.c.

TABLA II.2.a

## 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 de Tag), °C mínimo			27	27	27
Viscosidad Saybolt-Furol:					
A 25°C, segundos..	75-150				
A 50°C, segundos..		75-120			
A 60°C, segundos..			100-200	250-500	
A 82°C, segundos..					125-250
Destilación: Por ciento 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

TABLA II.2.b

## 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 de 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			100-120	250-500	
A 82°C, segundos					125-250
Destilación: Por ciento a 360°C					
Hasta 225°C, máximo	25	20	10	5	0
Hasta 260°C,	40-70	25-65	15-55	5-40	30 Máx.
Hasta 315°C,	75-93	70-90	60-87	55-85	40-80
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	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

TABLA II.2.c

## c) Asfaltos rebajados de fraguado lento

Características	G R A D O				
	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.	15-40	10-30	5-25	2-15	10 Máx.
Agua por destilación, por ciento, máximo	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Residuo asfáltico de 100 grados de penetración, por ciento, mínimo	40	50	60	70	75
<u>Pruebas al residuo de la destilación</u>					
Flotación en el residuo de la destilación, a 25°C, segundos	15-100	20-100	25-100	50-125	60-125
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

### c) EMULSIONES ASFALTICAS

Una emulsión es un sistema de dos fases formada por dos sustancias no miscibles entre sí, de las cuales, cuando menos una, es necesariamente líquida. La combinación del cemento asfáltico, un agente emulsificador y el agua dan lugar a las emulsiones asfálticas.


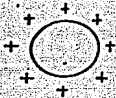
Las emulsiones pueden ser aniónicas o catiónicas, dependiendo del agente emulsificante. Si los glóbulos de asfalto tienen carga electronegativa, las emulsiones serán aniónicas; si los glóbulos asfálticos tienen carga electropositiva las emulsiones serán catiónicas. (Fig. II.3)

Para conseguir que el agua y el cemento asfáltico queden perfectamente emulsificados es necesario reducir el cemento asfáltico a pequeñas gotas, de tal manera que queden flotando en el agua. La estabilidad de esta suspensión se logra proporcionándole a las gotas de cemento una fuerza repulsiva que impida la unión de unas con otras lo que origina que los dos elementos, agua y cemento asfáltico se mantengan separados.

Las emulsiones fabricadas con emulsificantes aniónicos y catiónicos no son mutuamente compatibles cuando se mezclan entre sí, las cargas iónicas contrarias tienden a neutralizarse y se produce la coagulación del asfalto emulsificado. Generalmente, las emulsiones aniónicas son alcalinas con un PH de 9 o más; Las emulsiones catiónicas tienen valores de PH menores de 7.

Las emulsiones asfálticas catiónicas resultan adecuadas para los siguientes propósitos:

**CARACTERISTICAS DE LAS  
EMULSIONES ASFALTICAS**

TIPO	EMULSIFICANTE	FORMA	pH	AFINIDAD CON
ANIONICAS	ESTEARATO DE SODIO $\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_{10} - \text{COO}^-$		ALCALINO $> 9$	CALIZAS Y DOLOMITAS (+)
CATIONICAS	BROMURO DE CETIL-TRIMETIL-AMONIO		ACIDO $< 7$	MATERIALES SILICOSOS (-)
ROMPIMIENTO : R R. RM . RL = f ( % Emulsificante ) = 0.5 — 1.0 %				
$\emptyset$ GLOBULO $\approx$ 2 micras				
VISCOSIDAD = f ( % de asfalto y tamaño del glóbulo )				



- 1) Riegos de liga. Las emulsiones catiónicas han probado tener éxito particularmente en riegos de liga, ya que rompen de inmediato el contacto con los materiales de la carretera y por esta causa no son afectados por la lluvia.
- 2) Para sellar las bases de grava y ligar la propia base que se tenderá sobre la carpeta.
- 3) Para recubrir los agregados pétreos húmedos, particularmente mezclas de grava de granulometría abierta. Las gravas duras, lavadas, resultan muy adecuadas porque el contenido de finos es muy bajo.

Las emulsiones asfálticas se clasifican en tres grupos de acuerdo a su resistencia y a su punto de coagulación, de la siguiente manera:

EMULSIONES	{	EMULSIONES DE ROMPIMIENTO RAPIDO
		EMULSIONES DE ROMPIMIENTO MEDIO
		EMULSIONES DE ROMPIMIENTO LENTO

#### EMULSIONES DE ROMPIMIENTO RAPIDO

Estas se caracterizan por el rompimiento al regarse y son adecuadas para tratamientos superficiales. Su viscosidad a la temperatura de aplicación en este tipo de tratamientos debe estar comprendida entre 25 y 100 segundos. Generalmente este tipo de emulsiones no son adecuadas para mezclas con agregados pétreos.

Tales emulsiones se utilizan frecuentemente para los siguientes usos:

- 1) Tratamientos superficiales
- 2) Calafateos o trabajos de taponamiento
- 3) Riegos de liga
- 4) Curado de concreto

#### EMULSIONES SEMI-ESTABLES O DE ROMPIMIENTO MEDIO

Son emulsiones con estabilidad suficiente para permitir el proceso de mezclado, con agregados pétreos, antes de su ruptura. El valor de la viscosidad a la temperatura de mezclado debe estar comprenido entre 75 y 150 segundos.

Este tipo de emulsiones tienen las siguientes aplicaciones:

- 1) Para reavivar un pavimento asfáltico antiguo
- 2) Mezclas prefabricadas para bacheos o renivelación

Las emulsiones estables o de rompimiento lento, son emulsiones con suficiente estabilidad química y mecánica para cualquier trabajo en el cual se requiera la mezcla con material pétreo. Su viscosidad a la temperatura de mezclado debe estar comprendida entre 75 y 159 - segundos, excepto cuando se trata de morteros asfálticos.

Estas emulsiones tienen los siguientes usos:

- 1) Para mezclas prefabricadas aplicables al bacheo de renivelación.
- 2) Rociado del tipo neblina. Se emplea para reparar y renovar las - carpetas de textura abierta que presentan indicios de desgaste. Para tal efecto, se aplica un rociado delgado con emulsión de 30 y 40% de contenido asfáltico.

3) Las carpetas de textura abierta que presentan signos de desgaste, son selladas con mortero asfáltico fabricado con arena fina y emulsión asfáltica muy estable.

4) Estabilización de suelos. Se puede usar la emulsión sola, o bien, una combinación de emulsión asfáltica de graduado lento y cemento hidráulico; en esta forma se obtiene un suelo estabilizado que posee la rapidez del fraguado de la mezcla suelo-cemento, pero presentando aún su naturaleza plástica. La emulsión de asfalto comunica al suelo resistencia considerable a la absorción del agua.

Las características que definen a los diferentes tipos de emulsiones, tanto aniónicas como catiónicas se ilustran en las tablas II.4 y II.5.

II.4) Emulsiones asfálticas aniónicas

Características	G R A D O				
	Rompimiento Rápido		Rompimiento Medio	Rompimiento Lento	
	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
Viscosidad Saybolt-Furol a 50°C, segundos	75-400				
Residuo de la destilación, por ciento en peso, mínimo.	57	62	62	57	57
Asentamiento en 5 días, diferencia en por ciento máximo	3	3	3	3	3
Demulsibilidad:					
35 ml de 0.02N CaCl <sub>2</sub> , por ciento, mínimo	60	50			
50 ml de 0.10N CaCl <sub>2</sub> , por ciento, máximo			30		
Retenido en la malla Núm. 20, por ciento máximo	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Miscibilidad con cemento Portland, por ciento, máximo				2.0	2.0
<u>Pruebas al residuo de la destilación.</u>					
Penetración, 25°C, 100 g. 5 segundos, grados	100-200	100-200	100-200	100-200	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

\*\*\*\*\*NOTA: La viscosidad de las emulsiones no debe aumentar más de treinta por ciento (30%) al bajar su temperatura de veinte grados centígrados (20°C) a diez grados centígrados (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)

TABLA II.5

## Emulsiones asfálticas catiónicas

Características	G R A D O					
	Rompimiento rápido		Rompimiento medio		Rompimiento lento	
	RP-2K	RR-3K	RM-2K	RM-3K	RL-2K	RL-3K
Pruebas al material asfáltico						
Viscosidad Saybolt-Furol 25°C, segundos					20-100	20-100
Viscosidad Saybolt-Furol 60°C, segundos	20-100	100-400	50-500	50-500		
Residuo de la destilación, por ciento en peso, mínimo	60	65	60	65	57	57
Asentamiento en 5 días, diferencia en por ciento máximo	5	5	5	5	5	5
Retenido en la malla No. 20, por ciento, máximo	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Cubrimiento del agregado (en condiciones de trabajo) Prueba de resistencia al agua.						
Agregado seco, por ciento de cubrimiento, mínimo			80	80		
Agregado húmedo, por ciento de cubrimiento, mínimo			60	60		
Miscibilidad con cemento Portland, por ciento, máximo					2	2
Carga de la partícula	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva		
.H, máximo					6.7	6.7
Disolvente en volúmen, por ciento máximo	5	5	20	12		

Características	G R A D O					
	Rompimiento rápido		Rompimiento medio		Rompimiento lento	
	RR-2K	RR-3K	RM-2K	RM-3K	RL-2K	RL-3K
<u>Pruebas al residuo de la destilación</u>						
Penetración, 25°C, 100g, 5 segundos, grados	100-250	100-250	100-250	100-250	100-200	40-90
Solubilidad en tetra- cloruro de carbono, - por ciento, mínimo	97	97	97	97	97	97
Ductilidad, 25°C, cm. mínimo	40	40	40	40	40	40

NOTA: La viscosidad de las emulsiones no debe aumentar más de treinta por ciento (30%) al bajar su temperatura de veinte grados centígrados (20°C) a diez grados centígrados (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 un 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°C a 30°C

FL-1 de 30°C a 45°C

FL-2 de 75°C a 85°C

FL-3 de 85°C a 95°C

FL-4 de 95°C a 100°C

## METODOS DE FABRICACION DE LAS EMULSIONES PARA CARPETAS ASFALTICAS

Para la fabricación de las emulsiones existen dos métodos:

METODO DEL MOLINO COLOIDAL

METODO DE MEZCLADOR DE ALTA VELOCIDAD

La diferencia esencial entre estos dos métodos, consiste en que con el primero, la emulsión se produce de una manera continua, en tanto que el Método de Mezclador de Alta Velocidad, se producen batchas aisladas. Las potencias requeridas también difieren, siendo mayor a igualdad de producciones, es decir, la requerida por el Molino Coloidal.

### MOLINOS COLOIDALES

Los tipos de molinos coloidales que se usan generalmente, consisten en un rotor de alta velocidad que gira dentro de un tambor, siendo la separación entre ambos de aproximadamente 0.4 a 0.5 mm. El rotor es trabajado de tal modo que produzca una velocidad en las orillas del mismo de aproximadamente 3.200 m por minuto. El efecto principal de emulsificación depende de las fuerzas cortantes hidráulicas ejercidas por las superficies giratorias sobre las partículas de asfalto en presencia del emulsificante líquido acuoso.

Una solución caliente del emulsificante en agua y el asfalto calentado, se alimentan por separado con un gasto constante dentro de la máquina en proporciones también constantes, de manera que se produce en forma continua una emulsión de contenido uniforme --



de asfalto. El producto debe tener un tamaño de partículas de aproximadamente 1 a 2 micras, con una diferencia de tamaño medio que varía de acuerdo con el aparato que se use y con las condiciones de emulsificación. El diámetro de esas partículas es apreciablemente mayor que los que normalmente se aceptan como emulsiones coloidales (aproximadamente 0.2 micras). de tal manera que el término molino coloidal, puede considerarse hasta cierto punto como erróneo.

El control cuidadoso de condiciones consistentes es esencial para obtener un producto uniforme y debe darse especial atención a los siguientes puntos cuando se diseña una planta de emulsiones para carreteras. El molino coloidal debe trabajarse en forma que la velocidad sea constante y que el asfalto y la solución de emulsificantes se mantenga a una temperatura determinada; de manera que la viscosidad de los líquidos que pasan a través de la máquina, sea también constante. Se ha demostrado que la dureza del agua que se emplee tiene influencia en el grado de dispersión y pueden necesitarse plantas de ablandamiento de agua en zonas en que se tengan aguas muy duras. Las emulsiones para caminos pueden producirse en forma continua en molinos coloidales con un rendimiento de más de 8 000 litros por hora.

#### MEZCLADORES DE ALTA VELOCIDAD

El mezclador de alta velocidad, no es en la actualidad tan ampliamente utilizado para la preparación de emulsiones para carreteras, debido a que es un proceso de bachas y por tal motivo se requiere un trabajo de mayor control. La facilidad con que el asfalto puede ser

emulsificado por este método depende en una forma muy importante de la fuente de petróleo crudo de la cual provenga el asfalto. En casos favorables, es suficiente hacer pasar por el mezclador el asfalto caliente; la emulsificación tiene lugar debido al jabón que se forma por reacción entre el álcali y los ácidos orgánicos que, en forma natural se encuentran presentes en el asfalto. Algunos asfaltos carecen de ácidos y en tal caso, se les mezcla antes de la emulsificación, un material como estearina o resina de palmera.

El procedimiento usual consiste en llevar la cantidad apropiada de agua, a una temperatura ligeramente inferior a la de ebullición, dentro de un mezclador cilíndrico de 800 a 1 200 litros de capacidad, el diámetro el cual debe ser cuando menos de igual al tirante del líquido que se propone mezclar, debe estar equipado con un agitador de alta velocidad del tipo de turbina, el cual debe montarse en forma excéntrica para evitar que se produzcan remolinos. El álcali se agrega al agua del mezclador y el asfalto entra lentamente a una temperatura de 100°C, moviendo se el agitador en forma continua después de hecha la emulsión - puede agregarse algún estabilizante si se considera necesario. El proceso puede hacerse semi-automático por mediación cuidadosa de las cantidades de agua y asfalto que se agreguen. Las dispersiones obtenidas por este método, no son tan uniformes como las obtenidas con molinos coloidales. Algunas partículas pueden ser menores de 1 micra de diámetro, en tanto que otras pueden ser de 10 micras.

Después de que ha tenido lugar la emulsificación por cualquier

método, el material se bombea a tanques de almacenamiento en donde se le deja enfriar. Para evitar las dificultades de formación de natas, es conveniente que el producto final se enfríe rápidamente y -- que los tanques de almacenamiento se encuentren equipados con mecanismos de agitación y serpentines de enfriamiento. Con el molino coloidial es posible evitar la entrada de aire, lo cual tiende también a reducir la formación de natas en la emulsión terminada.

## AGREGADOS

Los materiales más comunes utilizados como agregados, son: la roca triturada o la escoria, la grava, la arena y algunas veces se emplea también material de relleno.

Los agregados contribuyen a la estabilidad mecánica, soportan do los esfuerzos provocados por los vehículos, al mismo tiempo que transmiten las cargas a la sub-base atenuando la presión sobre ella.

Los agregados minerales, para carpetas asfálticas, los podemos clasificar de la siguiente manera:

- |           |   |   |
|-----------|---|---|
| AGREGADOS | { | <ul style="list-style-type: none"> <li>1) MATERIALES NATURALES</li> <li>2) MATERIALES NATURALES TRATADOS O ESCORIAS DE FUNDICION</li> <li>3) MEZCLAS DE MATERIALES</li> </ul> |
|-----------|---|---|

1) MATERIALES NATURALES. Son aquellos que se encuentran en la natura leza y que no se hace necesario ningún tratamiento, tales como: are- na de río, limos para mejoramiento, gravillas con arena, arenas gra- níticas, areniscas, etc.

2) MATERIALES NATURALES TRATADOS O ESCORIAS DE FUNDICION. Son aque- llas que requieren de un proceso previo de trituración y cribado.

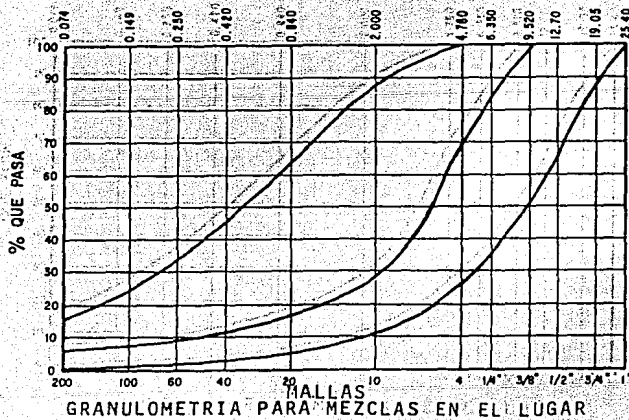
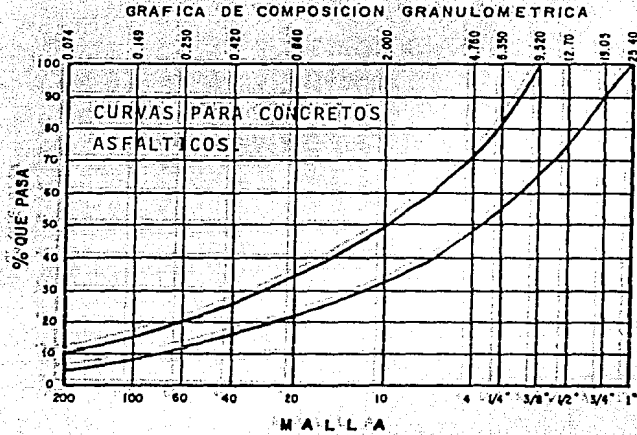
3) MEZCLAS DE MATERIALES. Son una combinación de los grupos menciona- dos anteriormente.

Los agregados, también se pueden clasificar por su tamaño o -- por sus características granulométricas, las cuales se determinan por medio de cribas o mallas conforme a la siguiente relación:

- a) Materiales gruesos. Son los retenidos en la malla del No. 8 y que generalmente en la construcción de carpetas asfálticas son menores de 1".
- b) Materiales finos. Son aquellos que logran pasar a través de la malla del No. 8.
- c) Relleno. Son los materiales que alcanzan a pasar a través de la malla No. 200.

En general, los agregados para la construcción de carpetas asfálticas debe cumplir los siguientes requisitos:

- a) Evitar el uso de materiales pétreos que presenten más del 15% en peso, de fragmentos en forma de laja o tengan marcada tendencia a romper en forma de lajas cuando se les tritura.
- b) Evitar que los agregados pétreos contengan materia orgánica de manera que se perjudicial.
- c) No deben contener, los agregados pétreos, arriba de un 20% de fragmentos suaves.
- d) El empleo de los agregados pétreos debe ser de preferencia en seco.
- e) El tamaño máximo de agregados pétreos no deberá exceder las dos terceras partes del espesor de la carpeta.
- f) Los agregados pétreos deben cumplir las características granulométricas tales que su curva graficada quede dentro de las zonas marcadas por las siguientes curvas: según sea el caso.



- g) La absorción del material pétreo no debe ser mayor de 3%.
- h) La densidad aparente del material pétreo no debe ser menor de 2.3.
- i) El material debe tener buena adherencia con el asfalto.
- j) El material pétreo debe resistir la prueba del interperismo acelerado.

En la siguiente hoja se ilustra un formato en donde se efectúa la prueba de granulometría para la planta del Departamento del Distrito Federal.

Muestra Núm. -----

Procedencia -----

**HUMEDAD**

Muestra Húm. ----- Gr.

Muestra Seca ----- Gr.

Contenido de Agua ----- Gr.

Contenido de Agua ----- %

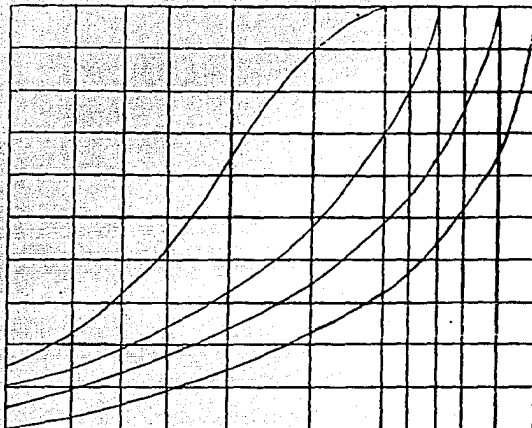
Malla	RETENIDO			Pasa
	Gr.	%	Acum.	
1"				
3/4				
1/2				
3/8				
1/4				
4				
10				
20				
40				
60				
100				
200				
Cha				

Desperdicio ----- %

Fecha ----- Operador -----

Camiones -----

**GRANULOMETRIA**



200 100 60 40 20 10 4 1/4 3/8 1/2 3/4 1"

Muestra Núm. -----

Procedencia -----

**HUMEDAD**

Muestra Húm. ----- Gr.

Muestra Seca ----- Gr.

Contenido de Agua ----- Gr.

Contenido de Agua ----- %

Malla	RETENIDO			Pasa
	Gr.	%	Acum.	
1"				
3/4				
1/2				
3/8				
1/4				
4				
10				
20				
40				
60				
100				
200				
Cha				

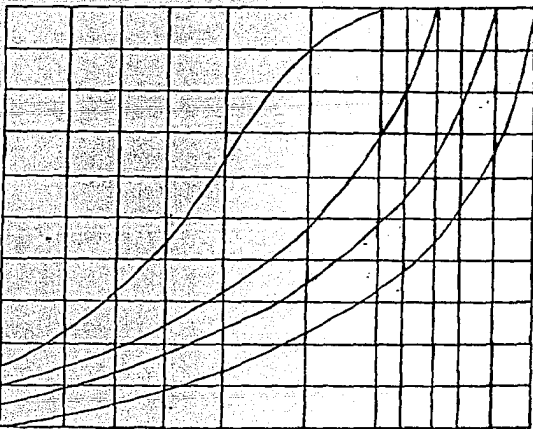
IS-1 LAB

Desperdicio ----- %

Fecha ----- Operador -----

Camiones -----

**GRANULOMETRIA**



200 100 60 40 20 10 4 1/4 3/8 1/2 3/4 1"



### PRUEBAS DE LABORATORIO PARA MATERIALES PETREOS USADOS EN CARPETAS ASFALTICAS

Estas pruebas pueden concretarse a lo siguiente:

a) Peso volumétrico seco y suelto. La obtención del peso volumétrico seco y suelto de los materiales pétreos para carpetas asfálticas, tiene por objeto hacer conversiones de peso de material, a volúmenes. La prueba se ejecuta de la siguiente manera:

Se toma por cuarteos una cantidad determinada de la muestra representativa que se pretende ensayar y se seca y disgrega para luego llenar un recipiente de volumen conocido dejando caer el material desde una altura de unos 20 cms. Sin apretar dicho material en el recipiente y sin mover éste para evitar que el material se acomode por los movimientos del recipiente. Hecho lo anterior el material se enrasa dentro del molde y se pesa. A este peso se le resta el peso del recipiente y se divide entre el volumen del mismo obteniéndose así, el peso volumétrico seco y suelto del material pétreo.

b) Granulometría. El objeto de esta prueba es hacer un análisis y clasificación del contenido de gravas, arenas y finos de cada muestra y así poder conocer que clase de textura tendrá la carpeta asfáltica. La prueba de análisis granulométricos se lleva a cabo conforme al siguiente procedimiento:

Se pesa una determinada cantidad de material obtenida por cuarteos de la muestra representativa y se pasa por las mallas de 1" (25.40mm), 3/4" (19.05mm), 1/2" (12.70mm), 3/8" (9.25mm), 1/4" (6.35mm),

#4 (4.76mm), #10 (2.00mm), #20 (0.840mm), #40 (0.420mm), #60 (0.250mm), #100 (0.149mm), y #200 (0.074mm), anotándose los retenidos en cada malla. Se pesa el retenido parcial con respecto a la muestra ensayada. Después se calculan los porcentajes acumulativos que pasan por cada malla. Con estos últimos se dibuja la curva granulométrica del material, empleando un eje de coordenadas y anotando en el eje de las coordenadas, a escala aritmética, los porcentajes que pasan y en el eje de las abscisas, a escala logarítmica, las aberturas de las malla. Observando en qué zona de granulometría cae el material ensayado, según lo mostrado por las especificaciones; de esta manera se puede decir si el material está bien o mal graduado y qué textura tendrá la carpeta que se elabore con dicho material.

c) Densidad y Absorción. Para ejecutar las pruebas de la densidad y absorción de los materiales pétreos que se emplearán en la elaboración de carpetas asfálticas, se toma material del retenido en la malla 3/8" y se pone a saturar durante 24 horas, después de lo cual se extrae el material del agua y se seca superficialmente con un lienzo absorbente e inmediatamente se pesa, (Ph).

En esas condiciones se sumerge el material en un picnómetro con agua y se observa qué cantidad de ella desaloja, anotándose dicho volumen de agua como V. Se extrae el material y se pone a secar en un horno durante 12 horas a temperatura de 100 a 110°C. Después de ello se saca el material del horno, se deja enfriar y se pesa obteniéndose el peso seco, PS. Con estos datos se obtiene la densidad y la absorción del material así:

$$\text{Densidad aparente} = \frac{P_s}{V}$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

Los resultados obtenidos se comparan con las especificaciones correspondientes.

d) Desgaste. Esta prueba tiene por finalidad conocer la cantidad del material pétreo desde el punto de vista de su desgaste ya sea por el grado de alteración del agregado, o por la presencia de planos débiles y aristas de fácil desgaste. Cuando se trata de analizar el desgaste de piedras en trozos se emplea la máquina "Los Angeles" denominándose al resultado "Desgaste Los Angeles". La prueba se ejecuta de la manera siguiente: La muestra a ensayar se lava para eliminar el polvo que tenga adherido y luego se seca a peso constante en un horno y después se criba a través de las mallas 3", 2-1/2", 1-1/2", 1", 3/4", 1/2", #3, #4, #8, y #12 para conocer su graduación. Luego se emplea una cantidad determinada de cada tamaño para ejecutar la prueba, así como el peso en kg de la carga abrasiva y el número de revoluciones que deberá darse a la máquina. La muestra seleccionada se pesa ( $p_1$ ), se coloca con las esferas en la máquina y ella se hace girar hasta completar las revoluciones especificadas. Se saca la muestra de la máquina y se lava a través de la malla #12 secando el retenido de esta en un horno y se pesa ( $p_2$ ). La pérdida por desgaste será:

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

e) Adherencia con el Asfalto. Esta prueba tiene por objeto el determinar si el material pétreo que se pretende emplear en la elaboración de carpetas asfálticas, tiene más afinidad por el agua que por el asfalto. Esta prueba es de fundamental importancia, debido a que si un material tiene afinidad con el agua, ésta provocará un desprendimiento de la película que forma el cemento asfáltico.

La falta de adherencia del asfalto con el material pétreo puede presentarse por la presencia de una película fina de polvo adherido al material pétreo o debida a las características hidrofílicas del material que no es más que un fenómeno de tensión superficial entre las fases agregado-asfalto-agua.

Para determinar si un material tiene una buena o mala adherencia con un determinado asfalto, debe ejecutarse la prueba de desprendimiento por fricción. El procedimiento consiste en verificar por duplicado esta prueba tomando como testigo un material que haya comprobado tener buena afinidad con el cemento asfáltico.

De la mezcla preparada en las mismas condiciones como se va a emplear en la obra, se toman unos 300 gr y se colocan en un frasco de vidrio y se les agrega agua hasta cubrir dicha mezcla, dejándola en reposo durante 24 horas. Si después de este tiempo el desprendimiento del cemento asfáltico del agregado es de consideración, el material puede clasificar como altamente hidrofílico.

Si no ha ocurrido un desprendimiento apreciable de la película de asfalto, el frasco con su contenido deberá agitarse por tres períodos de cinco minutos cada uno, debiendo examinarse la mezcla dentro del frasco después de cada proceso de agitación. Si no se nota un desprendimiento de asfalto al terminar el tercer período de agitación, o que haya habido un desprendimiento ligero comparada al testigo, puede considerarse como adherencia normal con el asfalto. En caso contrario, se determinará que el material tiene adherencia regular o baja, según sea el desprendimiento ocurrido del asfalto siendo necesario aumentar dicha adherencia, ya sea empleando un adicionante, o tratando de ver si ésta se mejora cambiando el tipo de asfalto, triturando el material a un tamaño menor o lavando el agregado pétreo.

f) Contracción lineal. La contracción lineal de los finos del material pétreo nos indica la presencia de mucho o poca actividad de la arcilla que contenga. Si la arcilla se presenta en forma de película delgada adherida al material pétreo, provoca una baja adherencia del asfalto con el agregado pétreo. Si la arcilla se encuentra en grumos o terrones, serán puntos débiles y de falla de la carpeta, en presencia del agua. La contracción lineal es la disminución en una dimensión de la masa del suelo expresada como un porcentaje de la dimensión original; esto es, cuando su contenido de humedad se reduce desde una cantidad de igual a la del límite líquido del material hasta el límite de contracción del mismo.

## CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO PARA CARPETAS

En la determinación del contenido de cemento asfáltico (C.A.) en el diseño de mezclas asfálticas, se determinarán las siguientes características:

- 1) El contenido mínimo de cemento asfáltico.
- 2) El contenido óptimo de cemento asfáltico.

Veamos ahora la determinación del contenido mínimo de cemento asfáltico por el procedimiento llamado del área superficial.

Este método se puede aplicar a materiales graduados que contiene determinada cantidad de finos. Los agregados pétreos por cada kilogramo de material. Para llevar a cabo esta cuantificación, se utilizan las siguientes constantes de área en metros cuadrados por kilo de material pétreo.

Material pasa malla 1-1/2"	y se retiene en 3/4"	0.27 m <sup>2</sup> /kg Mat.
Material pasa malla 3/4"	y se retiene en #4	0.41 m <sup>2</sup> /kg Mat.
Material pasa malla #4	y se retiene en #40	2.05 m <sup>2</sup> /kg Mat.
Material pasa malla #40	y se retiene en #200	15.38 m <sup>2</sup> /kg Mat.
Material pasa malla #200		53.30 m <sup>2</sup> /kg Mat.

Cada una de estas constantes se multiplica por los porcentajes de partículas entre las mallas correspondientes, dando por resultado que se obtengan determinadas superficies por kilogramo de material. Posteriormente se suman todas las superficies calculadas y el resultado se multiplica por el Índice Asfáltico, que varía de 0.0055 a 0.01385, de acuerdo con la rugosidad y la porosidad de los agregados.

El porcentaje de C.A. obtenido debe convertirse a porcentaje de producto asfáltico, ya sea un rebajado o una emulsión, tomando en cuenta el contenido de residuo asfáltico del mismo. A continuación se presentan los índices asfálticos más comunes:

M A T E R I A L P E T R E O	INDICE ASFALTICO
Gravas y arenas o materiales redondeados de baja absorción	0.0055
Gravas angulosas o redondeadas, trituradas de baja absorción	0.0060
Gravas angulosas o reondeadas de alta absorción y rocas trituradas de mediana absorción	0.0070
Rocas trituradas de alta absorción	0.0080

Se considera una absorción como baja a la que tiene un valor menor de 2%, absorción mediana a la comprendida entre 2% y 4%, -- absorción alta a la mayor de 4%.

## PRUEBA MARSHALL

La prueba Marshall, tiene por objeto, determinar los valores de estabilidad y de flujo en especímenes cilíndricos, compactados axialmente y probados a una temperatura de 60°C. El equipo necesario para la elaboración y prueba de los especímenes requiere de los siguientes elementos:

Un molde de compactación provisto de un collarín y de una placa de base; un pistón de compactación con superficie circular y de 9.84 cm. de diámetro; equipado con una pesa deslizante de 10 lb = 4.536 kg. cuya altura de caída es de 45.7 cm; una máquina de compresión Marshall accionada con motor eléctrico que permite aplicar cargas por medio de una cabeza de prueba con forma de anillo seccionado a una velocidad de 5.08 cm/min. Esta equipada con un anillo calibrado para determinar el valor de las cargas y un extensómetro para medir las deformaciones del anillo; un medidor de flujo; un tanque de saturación con dispositivo eléctrico para mantener constante la temperatura del agua; hornilla eléctrica para calentar los agregados, un termómetro blindado para registrar temperaturas entre 10 y 200°C. Una balanza con capacidad de 20 kg y sensibilidad de un gramo, una cuchara de albañil, espátulas y charolas.

### Elaboración de los especímenes

Para la preparación de los especímenes es importante tomar en cuenta los siguientes aspectos de procedimiento.



1.- Después de ser fijada la granulometría se determina el porcentaje en peso de aquellos elementos que por su tamaño han sido separados - previamente, respecto al material pétreo.

Material retenido en la malla de 1/2"

Material que pasa la malla de 1/2" y se retiene en la de 1/4"

Material que pasa la malla de 1/4" y se retiene en la # 10

Material que pasa la malla # 10 y se retiene en la # 40

Material que pasa la malla # 40

Para cada contenido de cemento asfáltico se fabrican 3 especímenes cada uno de los cuáles requiere 1200 gr de agregado pétreo. Se toma de cada una de las medidas mencionadas, la cantidad de muestra - que resulta de multiplicar el porcentaje en peso de cada fracción por el peso total de la muestra. Las fracciones ya pesadas se mezclarán previamente a la adición de cemento asfáltico. La cantidad de cemento asfáltico que deberá suministrarse a cada muestra se calculará sobre la base de contenido mínimo de cemento; las cantidades de cemento asfáltico deberán corresponder a los siguientes porcentajes de cemento asfáltico.

Contenido Calculado	- 1 %
Contenido Calculado	neto
Contenido Calculado	+ 0.5%
Contenido Calculado	+ 1.0%
Contenido Calculado	+ 1.5%
Contenido Calculado	+ 2.0%

Una vez que se definen los contenidos, se mezclarán los agregados y el cemento asfáltico, calentados previamente a las temperaturas de ciento setenta y cinco grados centígrados y ciento veinte grados centígrados, respectivamente, hasta obtener una distribución uniforme del cemento asfáltico. La temperatura de la mezcla no debe ser menor de 100°C al momento de elaborar el espécimen. En ningún caso la mezcla deberá ser recalentada.

2.- Para llevar a cabo la compactación se procederá de la siguiente manera: El pisón y el molde se calienta en un baño de agua hirviendo. Una vez caliente, se coloca un filtro en el fondo del molde y se llena éste con la mezcla caliente. Se apoya el pisón sobre la mezcla y se aplican 50 golpes con la pesa deslizante. La cara del pisón se mantiene paralela a la base del molde durante el proceso de compactación. Se quita el collarín y se invierte la posición del molde; se coloca el collarín y se aplican otros 50 golpes en el espécimen. Este proceso se aplica al estudio de mezclas proyectadas para recibir presiones de 7 kg/cm<sup>2</sup>. El número de golpes en el espécimen se incrementa a 75 cuando las mezclas esten proyectadas para presiones de contacto entre 7 y 14 kg/cm<sup>2</sup>. Se remueve el collarín y la placa de base por un tiempo de 2 minutos como mínimo. Se extrae el espécimen del molde, se identifica y se deja enfriar a la temperatura ambiente de 12 a 24 horas. Los especímenes compactados deben tener una altura de 6.35 cm y con una tolerancia de 3.2 mm. En caso de no cumplir con las tolerancias, debe repetirse el proceso para asegurarse de su eficiencia.

### Prueba a Compresión de los Especímenes.

La prueba de los especímenes determina el peso volumétrico y define la estabilidad y el flujo de los mismos. La determinación del peso volumétrico se hace dividiendo el peso entre el volumen. Los valores de estabilidad y flujo se determinan ensayando los especímenes en el aparato Marshall, siguiendo el siguiente procedimiento:

- a) Se sumerge el espécimen en el tanque con agua a la temperatura de  $60^{\circ}\text{C}$  con medio grado de tolerancia y se mantiene ahí entre 20 y 30 minutos.
- b) Se limpia la superficie del anillo seccionado y se lubrican los postes guía de tal manera que la sección superior de anillo seccionado se le deslice libremente.
- c) Se ajusta a cero el extensómetro del anillo de carga. Al término del período de inmersión en agua caliente se saca el espécimen del agua y se seca la superficie.
- d) Se coloca el medidor de flujo en el poste guía y se ajusta a cero su carátula. Se aplica la carga al espécimen a una velocidad constante de 5 cm sobre minuto hasta que se presente la falla del espécimen a la temperatura de  $60^{\circ}\text{C}$ , se debe registrar como el valor de la estabilidad Marshall.
- e) Mientras se esté realizando la prueba se debe sostener firmemente el medidor de flujo sobre el poste guía y se remueve tan pronto se ha ya aplicado la carga máxima, anotándose la deformación sufrida por el espécimen. Esta lectura en milímetros expresa el valor del flujo. Se promedian los valores de estabilidad y flujo de los tres especímenes con el mismo contenido de cemento asfáltico, debiendo desecharse para el cálculo el valor que discrepe notablemente.

La prueba descrita con anterioridad debe completarse dentro de un período de 30 segundos contados a partir del momento en que los especímenes sean sacados del tanque de agua caliente.

La determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico se hace de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- 1.- Se calcula un promedio del peso volumétrico de los especímenes de -- prueba elaborados con un mismo porcentaje de cemento asfáltico.
- 2.- Se determina la densidad teórica máxima y el porcentaje de vacíos para cada contenido de cemento asfáltico.
- 3.- Se calcula la relación entre el volumen ocupado por el cemento asfáltico y el volumen total de huecos que existirá si el material pétreo del espécimen no contuviera cemento asfáltico. Para esto último se utiliza la siguiente expresión:

$$V_o = \frac{D_r \cdot P_a \cdot \gamma}{100D_r \cdot D_a - (100 - P_a) \cdot D_a \cdot \gamma} = \frac{\text{Volumen de Cemento asfáltico}}{\text{Volumen total de huecos}}$$

En donde:

$D_r$  = Densidad relativa aparente del material pétreo

$\gamma$  = Peso volumétrico del espécimen en  $\text{gr/cm}^3$

$P_a$  = Porcentaje de cemento asfáltico con relación al peso de la mezcla

$D_a$  = Densidad relativa del cemento asfáltico (1.3 aprox.)

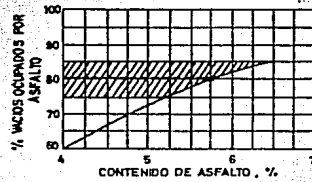
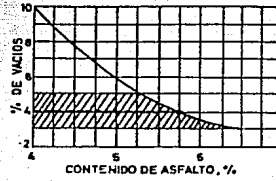
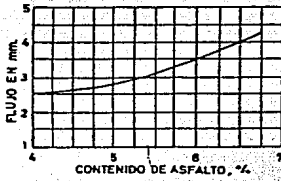
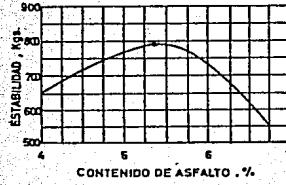
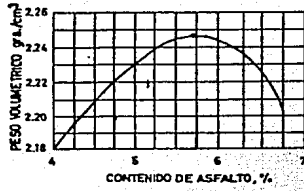
4.- Se procura corregir los valores de estabilidad de los especímenes que no tengan la altura especificada de 6,35 cm multiplicando los valores obtenidos por los siguientes valores de corrección que siguen:

ALTURA DEL ESPECIMEN	FACTOR DE CORRECCION	ALTURA DEL ESPECIMEN	FACTOR DE CORRECCION
55	1.27	63,5	1.00
56	1.23	64,0	0.98
57	1.20	65,0	0.96
58	1.16	66,0	0.94
59	1.13	67,0	0.92
60	1.10	68,0	0.90
61	1.07	69,0	0.88
62	1.04	70,0	0.86
63	1.01	71,0	0.84

5.- Lo anterior permitirá la representación de las gráficas siguientes:

- Peso volumétrico contra contenido de C.A.
- Estabilidad contra contenido de C.A.
- Flujo contra contenido de C.A.
- Porcentajes de vacíos contra contenido de C.A.
- Huecos obtenidos por el asfalto (Vo) contra contenido de C.A.

Estas gráficas se ilustran a continuación:



6.- De los datos obtenidos de las gráficas indicadas se calcula el contenido óptimo de C.A. promediando los siguientes valores

El contenido de C.A. correspondiente al mayor peso volumétrico

El contenido de C.A. correspondiente a la máxima estabilidad

El contenido de C.A. correspondiente al valor medio del porcentaje de vacíos

El contenido de C.A. correspondiente al valor promedio del porcentaje de huecos ocupados por el C.A.

Estos valores se señalan en la tabla que se indica a continuación

PRUEBA	TIPO DE MEZCLA	PRESION DE CONTACTO DE LAS LLANTAS	
		7 Kg/cm <sup>2</sup>	14 Kg/cm <sup>2</sup>
Estabilidad		225 Kg, min.	450 Kg, min.
Flujo		4 mm máx.	5 mm máx.
Por ciento de Vacíos	Con agregados de tamaño máximo de 3/4"	3-5	3-5
	Con agregados de tamaño máximo de 1/4"	5-7	6-8
Por ciento de huecos ocupados por el C.A.	Con agregados de tamaño máximo de 3/4"	75-85	75-82
	Con agregados de tamaño máximo de 1/4"	65-75	65-72

Los sistemas compensadores tienen ciertos beneficios porque minimizan las paradas y puestas en marcha de la planta. Con una planta operando con más continuidad se reduce la heterogeneidad de la mezcla y la temperatura de arranque y de parada. También se minimiza la emisión extra de aire contaminado al poner en funcionamiento la planta. Al trabajar continuamente durante las horas normales de trabajo, y no sólo cuando hay camiones disponibles para ser cargados, se incrementa la productividad.

Las mezclas para pavimentación deberán ser transportadas desde la planta a la obra en vehículos con fondos metálicos, que se habrán limpiado previamente, de tal manera que no contaminen la mezcla asfáltica.

Resumiendo este capítulo, las mezclas para carpetas asfálticas debenser lo suficientemente estables con el objeto de que no se vuelvan rugosas o vayan a presentar ondulaciones por la acción del tránsito a los efectos de frenado del mismo. La estabilidad de la carpeta asfáltica se debe a la combinación de dos cualidades que están presentes en todas las mezclas asfálticas: La fricción y la cohesión. Sin embargo, se encuentran más relacionadas a la fricción que a la cohesión, aunque esta última juega parte importante en ciertos casos. Cierta cantidad de cohesión es necesaria a fin de que el pavimento trabaje satisfactoriamente. Toda carpeta asfáltica requiere de cierta cantidad de tránsito o de acción de amasado para que impida que el cemento asfáltico se muera y por lo tanto prolongar la duración de la carpeta asfáltica. La acción continua de amasado causado por el tránsito tiende a remezclar los materiales y a conservar varios en su



estado original. Es muy importante en el diseño de carpetas asfálticas, recomendar el cemento asfáltico adecuado según el clima de la región y los materiales a emplear. El grado de penetración del cemento asfáltico es fundamental también, en dicho diseño.

Las hojas siguientes ilustran los formatos utilizados para la realización de la "Prueba Marshall" en la Planta del Departamento del Distrito Federal.

# PLANTA DE ASFALTO

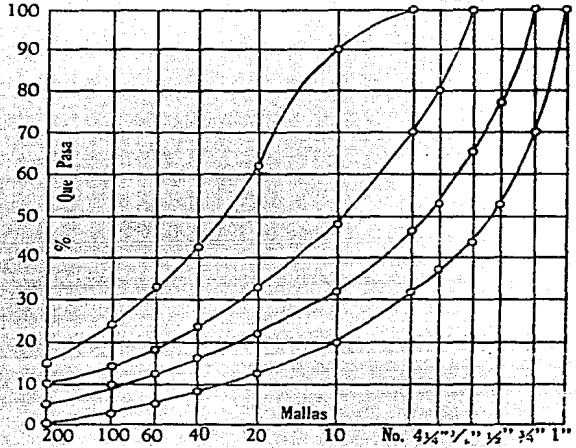
## DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL

MUESTRA .....

FECHA .....

Peso muestra ..... gr.  
 Peso muestra lavada ..... gr.  
 Asfalto ..... gr.  
 Asfalto ..... %

Malla	RETENIDO			% Pasa
	gr.	%	% acum	
1"				
3/4"				
1/2"				
3/8"				
1/4"				
No. 4				
10				
20				
40				
60				
100				
200				
Charola				



Obra .....

Temperatura .....

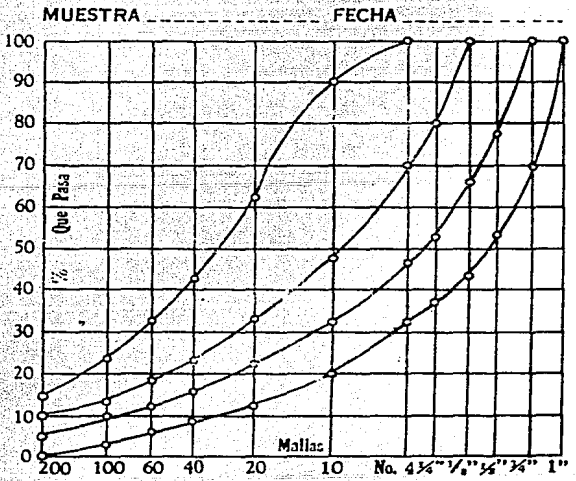
Notas: .....

Peso Volumétrico .....

Operador .....

Peso muestra ..... gr.  
 Peso muestra lavada ..... gr.  
 Asfalto ..... gr.  
 Asfalto ..... %

Malla	RETENIDO			% Pasa
	gr.	%	% acum	
1"				
3/4"				
1/2"				
3/8"				
1/4"				
No. 4				
10				
20				
40				
60				
100				
200				
Charola				



Obra .....

Temperatura .....

Notas: .....

Peso Volumétrico .....

Operador .....

Metodo Marshall

Semana del

el

de

Especimen.	Por ciento de Asfalto	Espesor del espécimen.	Peso del espécimen en aire.	Volumen del espécimen	Consistencia específica		Por ciento de Asfalto en Volumen	Por ciento de vacío		Estabilidad		Fluencia
					Real	Teórica		en la Mezcla	llenos con Asfalto	Medida	Corregida	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Núm.	%	cm.	gr.	cm. 3	$\frac{D}{E}$	Método Raice.	$\frac{B \times F}{\text{densidad del Asfalto}}$	$(100 - 100 \times \frac{F}{G})$	$\frac{H}{H + 1}$	Kgr.	Kgr.	mm.

ESPECIFICACIONES

Estabilidad Arriba de 816.5 Kg.  
 Escurrimiento menor de 4.06 mm.  
 % de Vacíos en Mezcla total 3-5  
 % de Vacíos llenos de Asfalto 70-80  
 % Optimo de Asfalto.  
 15.7 Lab.

COMENTARIOS:





## CAPITULO IV

### EQUIPOS E INSTALACIONES

Las instalaciones mezcladoras modernas para la obtención de mezclas asfálticas en caliente se instalan y regulan, adecuadamente, para la producción de mezcla uniforme en forma automática mediante el empleo de controles eléctricos e hidráulicos así como dispositivos automáticos. Un solo hombre puede iniciar el proceso y vigilar la instalación mientras ésta realiza los diversos ciclos de dosificación automática, mezclado en seco, peso, adición del asfalto, mezclado y descarga del producto en los camiones.

El automatismo asegura el proceso adecuado y evita que se inicie una operación antes de que se haya terminado la anterior. Este tipo de funcionamiento reduce las posibilidades de error humano.

Una planta de concreto asfáltico es una fábrica que tiene por objeto la producción de mezclas asfálticas respondiendo a las exigencias de las especificaciones. Existen dos tipos principales de plantas para mezclas en caliente: la planta de mezcla continua, (Fig. IV-1) en la cual, el material procedente de las tolvas de almacenaje en caliente se dosifica por medio de compuertas regulables que descargan sobre los alimentadores de material caliente. Todos los materiales son transportados al mezclador en forma continua. El asfalto

también fluye continuamente, regulándose con una bomba conectada con el mecanismo de dosificación, de tal forma que se obtiene una relación constante entre la cantidad total de agregados y de asfalto, independientemente de la velocidad de producción. Este proceso se realiza por volumen y no por peso.

El otro tipo de planta es el llamado de mezcla discontinua (Fig. IV-2), en el cual el material procedente de cada tolva se pesa de un nuevo recipiente y se deja a continuación en el mezclador, después de lo cual se añade asfalto. Estas plantas producen el concreto asfáltico en forma limitada, dependiendo del recipiente donde se hace el mezclado. El ciclo de operación de estas plantas comprende: a) el pesado de los materiales (dosificación), b) el mezclado con el cemento asfáltico y c) la descarga sobre los vehículos transportadores.

Los pasos principales para producir una mezcla asfáltica son los siguientes:

#### 1.- LA PREDOSIFICACION DE LOS AGREGADOS

La predosificación es la operación que asegura una alimentación continua y regular de la planta de asfalto. Los dispositivos de predosificación están constituidos normalmente por tolvas especiales, las cuales permiten una predosificación de tantos tipos de agregados como compartimientos haya. Vierten en paralelo o en serie, sobre una banda que transporta el cordón de materiales, no mezclados, pero en la proporción conveniente. (fig. IV-3 y Pl6.IV.4).

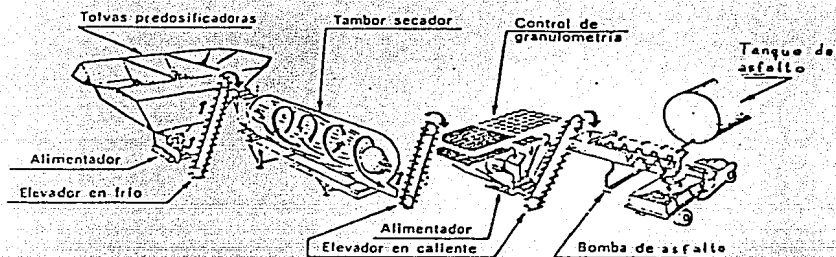


FIG. IV-1 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UNA PLANTA DE ASFALTO CONTINUA.

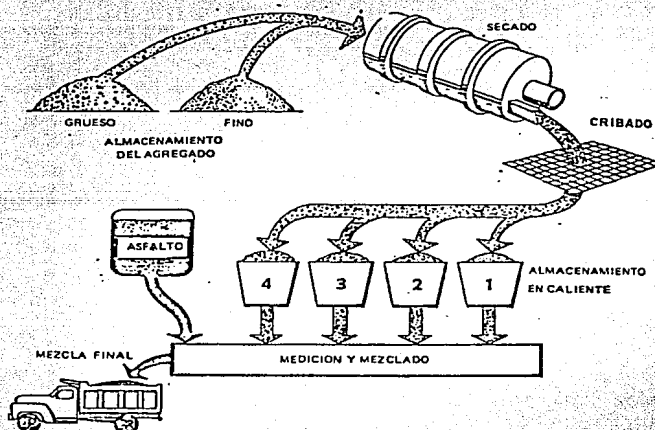


FIG. IV-2 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UNA PLANTA DE ASFALTO DISCONTINUA.



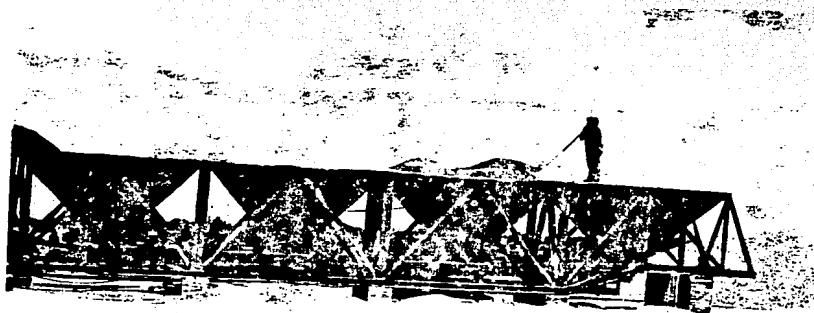


FIG. IV-3 TOLVAS DE ALMACENAMIENTO DE AGREGADOS

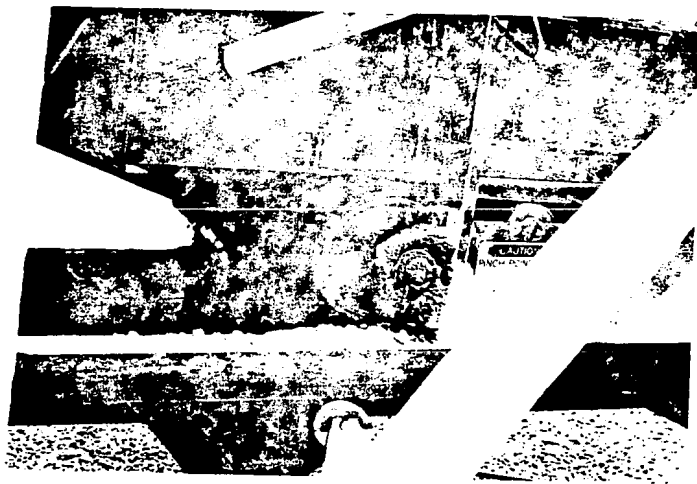


FIG. IV-4 VISTA DE DETALLE DE UNA TOLVA PREDOSIFICADORA

Las tolvas deben contener el material suficiente para asegurar un suministro continuo y uniforme. Cuando el agregado se selecciona en dos o más tamaños mezclados en proporciones convenientes, la predosificación asegura una alimentación de la planta en proporciones volumétricas constantes de los diferentes agregados. Esta operación continua tiene lugar tanto si la planta es continua como discontinua.

Las tolvas de materiales finos pueden equiparse de vibradores sobre sus paredes, teniendo como misión facilitar la evacuación de los agregados finos que tienen tendencia, cuando están húmedos a formar una bóveda en la tolva; pero actúan además dando a la arena una verdadera fluidez; la intensidad de estos vibradores es regulable, teniendo una acción muy importante en el rendimiento.

Las tolvas predosificadoras son de diversos modelos. Existen una que son fijas y otras móviles; el número de compartimientos es variable.

Si la cantidad de agregados de un tamaño determinado que existen en las tolvas de almacenaje es insuficiente para una mezcla, la operación de mezclado se detiene automáticamente hasta que la tolva de la balanza recibe las cantidades exactamente necesarias de agregados de cada tamaño, momento en el que continúa automáticamente el ciclo de mezclado. Con estos controles automáticos es posible dosificar exactamente todos los tamaños de agregados.

Existen dos operaciones importantes, una antes y --

otra después del predosificado: a) el almacenaje y b) la alimentación del material predosificado

a) Almacenaje: la concentración de los agregados en los almacenes debe separarse para evitar la mezcla de los materiales. Esto puede conseguirse disponiendo de las tolvas netamente separadas o empleando los elementos necesarios para ello. El almacenaje debe ordenarse siempre en función de la disposición de la central de aglomerado, permitiendo una toma lo más económicamente posible.

Durante la preparación y manejo del almacenaje debe tenerse cuidado de evitar la degradación y segregación de los agregados. Estos peligros pueden evitarse tomando las precauciones necesarias al almacenar los agregados. - Todas las tolvas deben contener material suficiente para asegurar un suministro continuo y uniforme. Excepto en - - tolvas muy grandes, no debe permitirse que ninguna de - - ellas llegue a contener menos de la mitad de su capacidad total, ni deben rebasar su capacidad de almacenaje.

Cuando los agregados se dejan caer desde cierta altura deben emplearse deflectores que eviten la segregación que se produce al caer los agregados gruesos en el lado -- más alejado, mientras que los finos se reúnen en el punto de caída. Al permitirse el empleo de bulldozers sobre los montones de agregados, existe gran peligro de segregación y degradación. La vibración del tractor puede dar lugar a que las partículas finas desciendan hacia el fondo, acumu-

lándose en una capa inferior. Cuando se emplea un cargador frontal debe advertirse que no se tome el material del almacenaje al nivel del suelo. La cuchara debe mantenerse durante el llenado al menos 15 cm. sobre el terreno. Si se emplea como almacenamiento vagones, barcazas o camiones, debe tenerse cuidado en la forma de cargar y descargar para evitar la segregación.

Se debe disponer de áreas de almacenaje planas, cerradas y bien drenadas; es indispensable que estas áreas sean abastecidas utilizando camiones dotados de un firme sólido, porque de otra manera, los neumáticos de los camiones llevan arcilla que se queda en el almacenaje, contaminando los agregados.

Las tolvas de entrada de agregados deben tener compuertas que puedan regularse y fijarse exactamente, situadas bajo las tolvas, de tal forma que aseguren un flujo uniforme de los agregados sobre los alimentadores. (Fig. IV-4)

- b) Alimentación de agregados fríos.- La alimentación de agregados fríos es uno de los puntos críticos en la producción de una planta de asfalto, para lo cual se cuenta con el alimentador de agregados fríos, cargandose mediante uno de los tres siguientes métodos o una combinación de ellos:
- 1.- Tolvas descubiertas con dos, tres o cuatro compartimientos, alimentados usualmente mediante una grúa de almeja o un cargador frontal.
  - 2.- Túnel situado bajo montones de materiales almacenados

separados por muros.

- 3.- Grandes tolvas, las cuales se alimentan usualmente mediante camiones descargadores de vagones o bolquetas que descargan directamente sobre las tolvas.

#### TIPOS Y FUNCIONAMIENTO DE LOS ALIMENTADORES

Existen varios tipos de alimentadores, entre los que figuran los de banda transportadora continua, los alternativos, el vibratorio y por gravedad. Generalmente se considera que los mejores tipos de alimentadores para agregados finos son el de banda transportadora y el vibratorio. (Figs. IV-5, IV-6 y IV-7)

Es importante de que suministren al secador las cantidades exactas necesarias de cada tamaño de agregados al ritmo conveniente.

En cumplimiento de las condiciones siguientes asegura, del mejor modo posible, un flujo uniforme y agregados de los tamaños adecuados:

- 1.- Las tolvas deben tener agregados del tamaño conveniente.
- 2.- Debe evitarse la segregación (separación de gruesos y finos).
- 3.- Debe evitarse la mezcla de materiales almacenados.
- 4.- Las compuertas del alimentador deben ser exactamente calibradas, reguladas y fijadas.
- 5.- Las compuertas deben mantenerse libre de obstrucciones; accidentalmente, una piedra, un trozo de madera o raíz pueden obstruir la compuerta. El uso de una malla de

FIG. IV. 5  
ALIMENTADOR EN FRIO

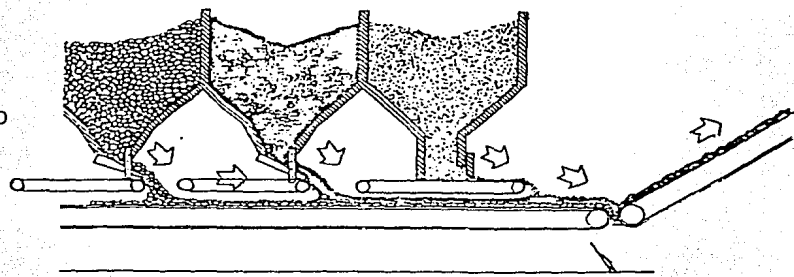


FIG. IV. 6  
ALIMENTADOR DE  
BANDA CONTINUA

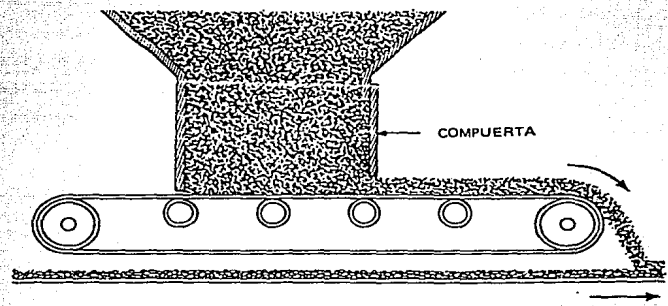
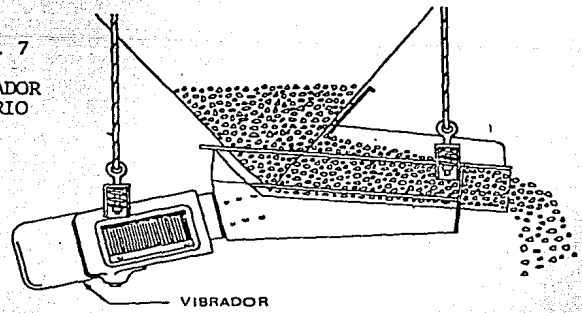


FIG. IV. 7  
ALIMENTADOR  
VIBRATORIO



gran abertura situada sobre las tolvas de alimentación en frío reducirá este peligro.

- 6.- No debe permitirse que la influencia del efecto bóveda -- sea apreciable en agregados finos. Puede evitarse este efecto empleando sobre los alimentadores tolvas con una pared vertical cuando menos mediante el empleo de vibradores en el exterior de las tolvas de agregados finos. Los vibradores deben montarse cerca de la boca de alimentación y de tal forma que se detengan automáticamente al pararse el alimentador.

Una alimentación en frío adecuada y uniforme es esencial porque:

a) Una súbita introducción de arena húmeda puede dar lugar a un considerable cambio de temperatura en los agregados que salen del secador.

b) Un incremento repentino de la alimentación en frío puede sobrecargar las mallas dando lugar al arrastre de agregados finos a las tolvas de agregados gruesos.

c) Una alimentación irregular puede dar lugar a que algunas tolvas rebosen mientras que otras quedan vacías. Además:

El sistema de recolección de polvo puede resultar sobrecargado y el rendimiento del secador puede disminuir.

Los apartados de predosificación necesitan una atenta vigilancia porque pueden desajustarse, y no es fácil darse

cuenta de ello. Las causas más frecuentes de los defectos de funcionamiento son:

- La humedad de las arenas: uno de los agregados lleva a menudo una gran proporción de finos. En este caso, la compactación de la arena en una de las tolvas puede variar y, como la dosificación es volumétrica, puede haber como consecuencia, variaciones importantes de los rendimientos relativos y absolutos. Es preciso en este caso, controlar el contenido de agua en el material y corregir, si hace falta el ajuste del dosificador.
- Los materiales pasan a través de un orificio calibrado, determinado por una trampilla regulable, dos chapas laterales y una base móvil (cajón, cinta, etc.). La dosificación depende de la sección del orificio. Si este varía por una u otra causa, el rendimiento varía igualmente. Dos son los motivos que pueden disminuir dicha sección:
  - Una cierta colmatación de las chapas verticales, por depósitos de materiales que secan y endurecen, y la presencia de cuerpos extraños en el agregado que, por su tamaño, pueden obstruir el orificio (trozos de madera, guijarros etc.). Hay que limpiar frecuentemente las chapas y comprobar que el orificio esté libre. Finalmente las trampillas pueden moverse como consecuencia de las trepidaciones



y de los choques.

- La alimentación de los predosificadores se hace -- con un cargador frontal sobre neumáticos. Es evidente que todo el sistema de predosificación presu pone que cada compartimiento no recibe más que un sólo material. Si la anchura de la cuchara de la pala es excesiva o si las máquinas de carga se con ducen mal, hay transferencias de material a un com partimiento que no es el suyo, y la predosificación se altera. Hay que vigilar que las placas de sepa ración de los compartimientos sean bastante altas y que la alimentación sea correcta.
- Los controles efectuados en los predosificadores - deben ser frecuentes, y el ajuste debe hacerse de- nuevo siempre que se tenga duda sobre el rendimien to.

## 2.- SECADO Y CALENTAMIENTO DE LOS AGREGADOS

Para conseguir una buena mezcla, es indispensable que los agregados estén a una temperatura suficiente para que el asfalto no se enfríe bruscamente a su contacto, sino que quede fluido y se reparta por toda su superficie.

Por otra parte, para evitar la formación de espuma y proyecciones es necesario que los agregados estén deshidratados.

El calentamiento de los agregados tiene lugar en un tambor secador (Fig. IV-8), el cual consiste en un largo tambor giratorio cilíndrico de acero, montado con un ligero ángulo sobre la horizontal, con el objeto de que el material vaya avanzando a través del secador. El agregado frío se introduce por el extremo superior y a medida que va descendiendo es removido y calentado por gases calientes que se desprenden de un quemador que seca y calienta el agregado hasta la temperatura deseada.

El tambor gira alrededor de su eje, con el fin de permitir a la vez el avance de los materiales y la uniformidad de la temperatura; está provisto de paletas o canales longitudinales que levantan los agregados y los deja caer en forma de cortina a través de la llama y los gases calientes del quemador. Dispositivos especiales aseguran una caída regular de los agregados en la entrada para evitar el atascamiento.

La mayor parte de los secadores están proyectados para condiciones medias de humedad de los agregados. Estos, muy húmedos, reducen la capacidad del secador y exigen medidas correctoras,

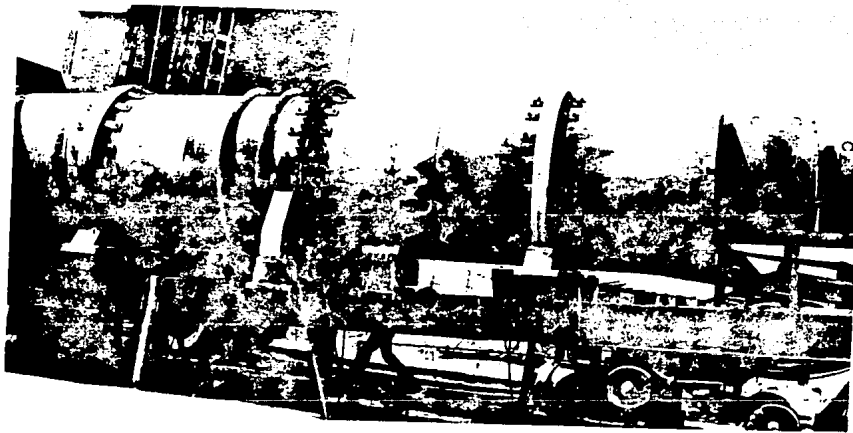


FIG. IV-8 VISTA DEL SECADOR CILINDRICO

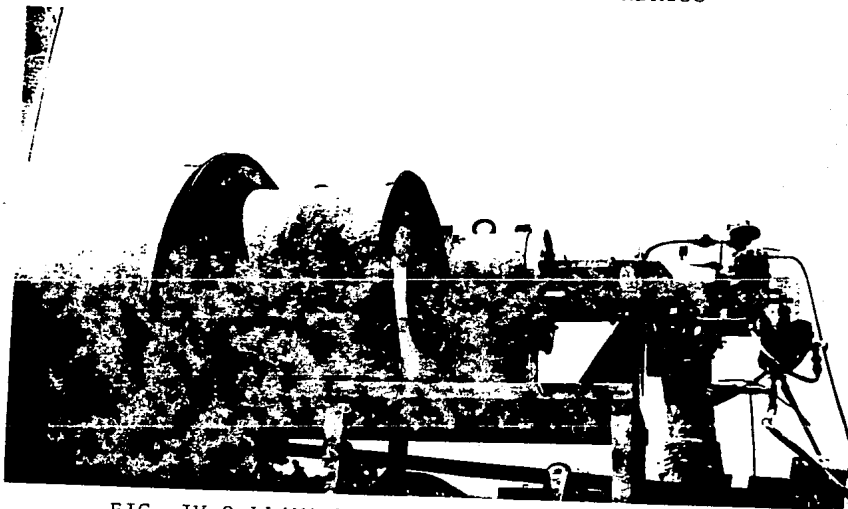


FIG. IV-9 LLAMA DESTINADA A AUMENTAR LA TEMPERATURA

como aumentar la cantidad del calor, quemando más combustible -- mientras se mantiene constante el flujo de agregados o reducir -- el flujo de éstos.

Los agregados muy absorbentes pueden exigir períodos de -- secado más largos, que pueden lograrse reduciendo la inclinación del tambor del secador o disminuyendo su velocidad.

Por el extremo opuesto al de la entrada, es decir, por el más bajo, se aplica una llama que es la destinada a producir la elevación de la temperatura. Esta llama normalmente es producida por un diesel, aunque en las plantas fijas puede ser un quemador de gas, el cual tiene algunas ventajas además de las económicas. (Fig. IV-9)

El secador debe estar equipado con un pirómetro eléctrico para que registre la temperatura de los agregados, fácilmente visibles para el operador del quemador. Este aparato es uno de los accesorios más importantes de la instalación y debe ser un instrumento exacto y de funcionamiento seguro. El elemento sensible del indicador de temperatura debe tener un revestimiento protector suficientemente sólido para protegerlo del desgaste producido por los agregados.

Los instrumentos para medición de la temperatura deben comprobarse frecuentemente. Una forma sencilla de hacerlo es colocar el elemento sensible, juntamente con un termómetro exacto, en un baño de aceite o asfalto, que se calienta, haciendo lecturas -- comparativas en ambos aparatos. Estas lecturas deben hacerse a -- temperaturas inferiores, iguales o superiores a las previsibles --

durante el funcionamiento de la instalación.

El exceso de calentamiento de los agregados puede perjudicar el asfalto durante el mezclado. Si el calentamiento es insuficiente resulta difícil envolver los agregados y extender la mezcla.

Por lo general, el secador es la llave de la planta, su capacidad controla la producción del equipo. La pendiente del cilindro, su velocidad de giro, su diámetro y la disposición y número de paletas influyen en el tiempo necesario para el paso de los agregados a través del secador.

En el interior del secador se produce una acción tan importante como el calentamiento de los agregados que es el arrastre del polvo que entra mezclando con estos y que ensucia la cara de los gruesos. Este arrastre viene facilitado por la acción del secado y por el tiro producido por un ventilador. Estos elementos finos son importantes para la calidad de los aglomerados y peligrosos cuando se le arroja a la atmósfera, existen, por lo tanto, a la salida de los gases del secador, un colector de polvo. (Fig. IV-10)

### 3.- COLECTOR DE POLVO

El ventilador o ventiladores del colector de polvo producen el tiro que hace pasar la llama y gases calientes a través del secador. La corriente de aire del tiro arrastra también las partículas de polvo del secador y otras partes de la instalación.

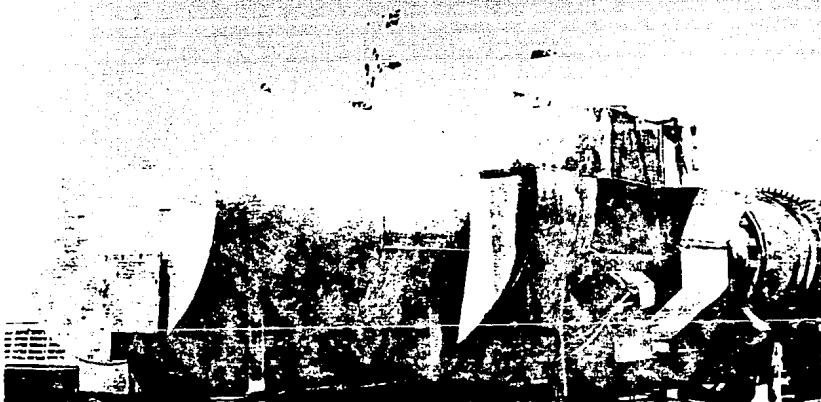


FIG. IV.10. COLECTOR DE POLVO

Este polvo penetra en el colector por su parte periférica superior en forma de torbellino. Las partículas más pesadas son separadas por la fuerza centrífuga, se reúnen sobre las paredes del colector y caen al fondo. El polvo más fino pueden mantenerse en suspensión y ser arrastrado por el aire a través de la chimenea.

Los finos del agregado son costosos; si el material recogido cumple las especificaciones, parte de él o su totalidad puede hacerse volver a la instalación para incluirlo en la mezcla. Los procedimientos son variados, pero para la eliminación primaria de polvo, el procedimiento más extendido consiste en utilizar ciclones, depósitos metálicos en los que los gases siguen una trayectoria helicoidal ascendente que proyecta el polvo contra las paredes. Los finos caen en la base de ciclón desde donde se recogen de nuevo por medio de un transportador de tornillo sin fin. Estos ciclones o recuperadores en seco se colocan en forma de tubos de órgano a la salida del secador. Si el polvo recogido es insatisfactorio, o las especificaciones de la mezcla lo prohíben, se extrae del fondo del colector y se tira.

El problema de la eliminación del polvo tiene actualmente gran importancia dentro de las emprendidas para luchar contra la contaminación atmosférica.

Las mallas deben vigilarse mucho con el fin de descubrir los desgastes, que harían la operación completamente inútil. Si el área de cribado eficaz se reduce por la obstrucción de las aberturas, o si se vierte sobre ellos más material del conveniente, el resultado usual es el arrastre de unos tamaños por otros.

El excesivo desgaste de alambre de las mallas da lugar a aberturas ensanchadas y a que las tolvas correspondientes contengan material de tamaño excesivo. En algunos casos puede mejorarse el rendimiento del cribado empleando mallas formadas por alambre de pequeño diámetro o aberturas en forma diferente.

La distribución uniforme de los agregados sobre la anchura de la malla, y el empleo de vibradores (especialmente en la malla para arena) para disminuir la obstrucción de los orificios, también aumentan el rendimiento.

#### 4.- CRIBAS PARA AGREGADOS CALIENTES

Los agregados procedentes del secador se entregan a las cribas del material en caliente montados sobre las tolvas de la instalación. La función de estas cribas es separar adecuadamente los agregados en los tamaños especificados y reconstruir una mezcla, perfectamente dosificada, para realizar en forma adecuada a su función. La superficie de las cribas debe ser suficientemente grande para admitir la alimentación máxima previsible. Se trata, por lo tanto, de rehacer sobre los agregados secos lo que el predosificador había hecho sobre los agregados húmedos. Cada tamaño de agregado deberá descargarse dentro de una tolva separada, construída en forma de que no pueda mezclarse un tamaño con otro.

El control de granulometría clásica se compone de un criba vibrante de 3 ó 4 mallas y de tolvas de almacenamiento para cada fracción de agregado.



la primera malla, llamada de rechazo, sirve para separar el agregado cuyo tamaño exceda al máximo tolerado. La última malla separa la arena del resto. Finalmente, pueden existir una o dos mallas intermedias.

Las cisternas de almacenaje de la planta tienen un sistema de retroalimentación con el objeto de mantener el Cemento Asfáltico a la temperatura requerida. Es de fundamental importancia hacer notar que la viscosidad del Cemento Asfáltico al momento de hacer la mezcla es determinante para obtener óptima liga con los agregados.

## 5. - TOLVAS DE MATERIAL CALIENTE

Estas tolvas contienen los agregados calientes y clasificados en las diversas fracciones granulométricas exigidas. Sus separaciones deben ser herméticas, sin orificios y de altura suficiente para impedir la mezcla de los agregados de distintos tipos.

En las plantas continuas, a la salida del control de granulometría, o el elevador en caliente conduce los agregados a una tolva intermedia. Esta va provista en su base de un extractor de banda y de una trampilla de altura regulable. El extractor envía los materiales directamente al mezclador. Esta tolva funciona con el mismo principio que la tolva predosificadora y se regula volumétricamente.

En el caso de plantas discontinuas los agregados que provienen del tambor secador o del control de granulometría, se almacenan en una o varias tolvas intermedias. Estas tolvas están provistas en su base de un dispositivo de abertura en general de compuerta móvil, que permite verter el agregado en un depósito de pesaje. Al peso de los agregados se le controla desde la cabina de controles.

Problemas que se pueden presentar en las tolvas:

- a) Escasez o exceso de material en alguna tolva, compuertas desgastadas que permiten la salida de agregados hacia la tolva de pesaje después de haber cargado la cantidad deseada. Esto puede corregirse modificando la alimentación en frío.
- b) Humedad en las paredes de las tolvas, presentándose cuando a vapor de agua existente en los agregados y en el aire se condensa

en las paredes de las tolvas, lo que se produce normalmente sólo al principio del trabajo del día o cuando los agregados gruesos no se han secado perfectamente. La presencia de humedad puede dar lugar a acumulaciones de polvo que, liberado repentinamente, puede producir un exceso de finos en la mezcla.

#### 6.- DEPOSITOS Y SUMINISTROS DEL CEMENTO ASFALTICO

El cemento asfáltico se almacena en depósitos fijos o móviles, según sea el tipo de planta. Los depósitos móviles alcanzan capacidad de 80 000 litros. El cemento asfáltico se suministra en caliente por medio de camiones cisterna (pipas) procedentes de las refinarias. (Fig. IV-11)

Las cisternas de almacenaje de la planta tienen un sistema de termocalentamiento con el objeto de mantener el cemento asfáltico a la temperatura requerida. Es de fundamental importancia hacer notar que la viscosidad del cemento asfáltico al momento de hacer la mezcla es determinante para obtener óptima liga con los agregados. Se recomienda hacer la mezcla a una temperatura entre 120 y 140°C.

El calentamiento se lleva, generalmente, a cabo por medio de circulación de aceite térmico. La fosa lleva una caldera que calienta el aceite por medio de quemadores de diesel.

Dispositivos termostáticos permiten regular la temperatura. Las calderas de aceite tienen potencias que varían entre 200 000 calorías/hora a 400 000 calorías/hora. El aceite es de origen mineral

especial, estable hasta los 300°C. siendo, en general, de 200°C la temperatura máxima para el cemento asfáltico.

Los quemadores pueden utilizar gasolina o diesel: los consumos de obra, varían, según los casos, de 2 a 5 litros de gasolina por tonelada.

El cemento asfáltico se descarga por medio de una bomba volumétrica rotativa de 20 a 30 M<sup>3</sup>/H según la capacidad de las plantas de asfalto. Los circuitos de cemento asfáltico entre las cisternas y el tambor mezclador son conductos flexibles o rígidos calorificados o encamisados.

En principio, el cemento asfáltico circula permanentemente entre el tambor mezclador y la cisterna con retorno automático en caso de parada de la planta con el fin de mantenerlo permanentemente a la temperatura deseada.

En el caso de parada prolongada, la temperatura en la fosa se mantiene gracias a un haz de tubos auxiliares colocados en el fondo de la cisterna.

## 7.- MEZCLADO

La mezcla consiste en revolver lo más posible el asfalto con los agregados. Consiste también en homogeneizar el agregado que, resultante de un control de granulometría, lleva componentes segregados.

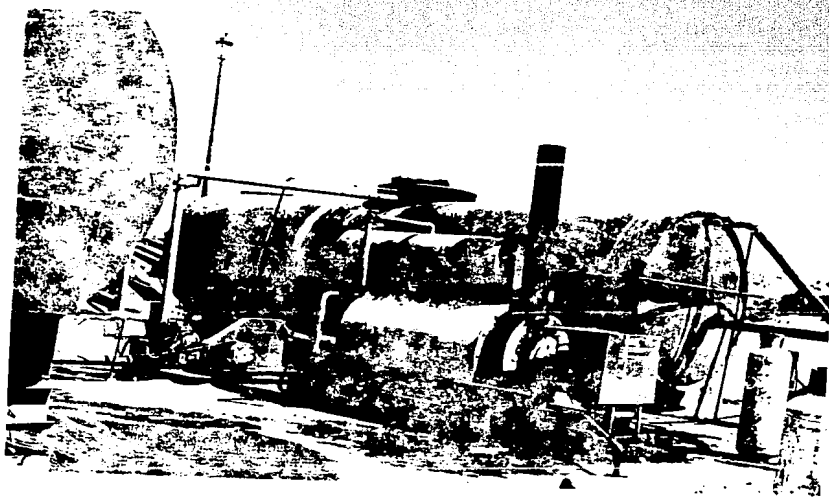


FIG. IV.11 DEPOSITO Y BOMBA DE ASFALTO

La operación se hace removiendo mecánicamente los materiales el tiempo necesario en un mezclador fijado en el piso de la plataforma de mezclado directamente debajo de la tolva de pesaje del agregado. Consiste en una caja rectangular de acero, con fondo aproximadamente semicilíndrico.

Se compone de ejes gemelos con paletas que mezclan los ingredientes de cada amasada en forma homogénea. Sus partes principales son las cabezas y barras de las paletas, el encamisado, los ejes, la compuerta de descarga y la envuelta de calefacción, para que el funcionamiento sea satisfactorio todos los elementos del mezclador deben encontrarse en estado mecánicamente satisfactorio y adecuadamente ajustados.

La holgura entre las cabezas de las paletas y el encamisado interior depende del máximo tamaño de los agregados y normalmente será inferior a su mitad. Cuando el desgaste es excesivo la holgura se hace tan grande que pueden aparecer puntos en los que el material no se mezcla perfectamente.

La solución es sustituir el encamisado y las cabezas cuando es necesario.

Si el mezclador está excesivamente lleno puede producirse una mezcla no homogénea. Se obtiene el mejor rendimiento cuando los extremos de las paletas apenas son visibles, durante el mezclado, sobre el material en el extremo superior de su recorrido. Por

otra parte, si el mezclador está insuficientemente lleno tampoco se logrará un mezclado adecuado, porque no existirá material suficiente para que las paletas lo hagan circular de la forma deseada.

No se producirá un mezclado uniforme si los agregados y el asfalto no están uniformemente distribuidos en la mezcla. La distribución de los finos depende del orden de descarga de las tolvas. El mal funcionamiento del sistema de distribución del asfalto dará lugar a una distribución irregular del mismo. Tanto uno como otro defecto se harán evidentes por inspección visual o mediante ensayos realizados sobre el producto terminado. En estos casos puede ser necesario un aumento del tiempo de mezclado en seco para conseguir una distribución uniforme de todos los tamaños en el mezclador.

Otro tipo de mezclador consiste en un tambor o cilindro horizontal giratorio. El agregado una vez pesado se carga a través de una abertura mientras que el cilindro se encuentra inmóvil y después de ello se cierra colocando en su lugar una tapa hermética. Cuando el mezclador está en movimiento el agregado es removido por una serie de cuchillas u hojas acopladas a la cara interior del cilindro. Pesado el asfalto, es inyectado bajo presión a través de una barrera distribuidora.

En el caso de las plantas discontinuas la mezcla cae en el mezclador, donde sufre un batido en seco, de manera que homogeniza el agregado y, en particular, disperse y recaliente el filler adicional, luego se inyecta el cemento asfáltico.

En el caso de plantas continuas, se puede repartir el cemento asfáltico en el extremo del mezclador, dejando que se produzca un mezclado en seco en la entrada del mezclador, o por el contrario, pulverizar el cemento asfáltico sobre los materiales durante su caída al mezclador, ya que entonces están muy dispersos y ofrecen una gran superficie sobre la que el cemento asfáltico puede adherirse.

El tiempo de mezclado debe ser el más corto, compatible con una distribución uniforme de los tamaños de los agregados y un revestimiento uniforme de sus partículas con cemento asfáltico. La velocidad de los ejes del mezclador y la disposición y ángulo de las paletas son factores que influyen en el rendimiento del mezclador.

La presión de mezclado varía con la altura o peso del material contenido en el mezclador, que puede regularse mediante la compuerta de salida. La altura del material en el mezclador continuo no debe superar la de los extremos de las paletas.

Para mejorar el mezclador puede ser deseable hacer las siguientes correcciones:

- 1.- Elevar la compuerta en el extremo de salida del mezclador para mantener el material en el período de tiempo más largo, con un espesor que intensifique aún más la acción de mezclado.



2.- Regular o invertir la inclinación de las paletas para retardar el movimiento del material en el tambor, aumentando el grado de mezclado conseguido.

El agregado una vez pesado se carga a través de una abertura mientras que el cilindro se encuentra inmóvil y después de ello se cierra colocando en su lugar una tapa hermética. Cuando la mezcladora está en movimiento el agregado es removido por una serie de cuchillas u hojas acopladas a la cara interior del cilindro. Pesado el cemento asfáltico es inyectado bajo presión a través de una barra distribuidora.

#### ALMACENAMIENTO

Muchas plantas de asfalto modernas cuentan con tolvas compensadoras o de almacenamiento, conectadas a la misma por sistemas de transporte. Las tolvas compensadoras permiten mantener la mezcla por períodos de tiempo relativamente cortos. Generalmente no están aisladas por cuanto se presume de un tiempo de permanencia de sólo dos o tres horas. Los silos de almacenamiento son similares a las anteriores excepto que están aislados para poder almacenar la mezcla por períodos más largos. (Fig. IV-12)

Estos silos, generalmente, son cilíndricos con una sección cónica en la base. Hay muchos sistemas de transporte en uso, como son: cintas transportadoras, elevadores de cangilones, montacargas por vía inclinada, transportador de tornillos sin fin y transportador de tablillas.

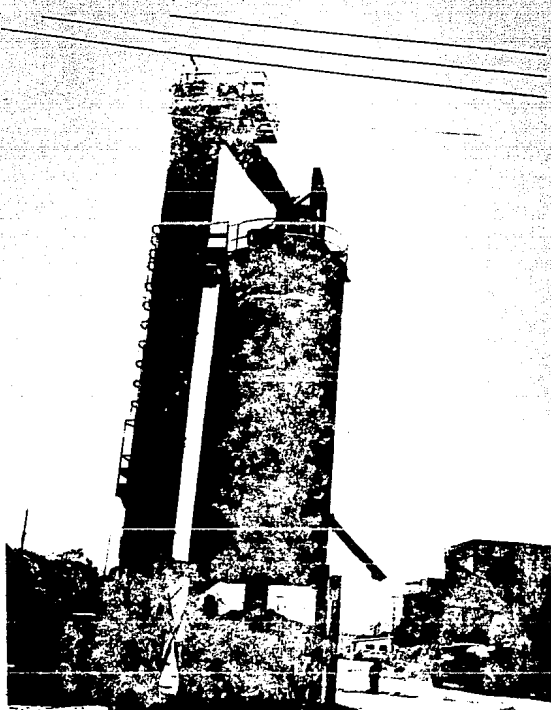


FIG. IV.12 SILO DE ALMACENAMIENTO

## CAPITULO V

## AJUSTE DE UNA PLANTA

En las plantas para mezclas asfálticas en caliente se deben de considerar los siguientes aspectos:

- 1.- Hacer una completa inspección preliminar de todas las unidades de la instalación.
- 2.- Inspeccionar el almacenaje de agregados para verificar que:
  - a) Los agregados se almacenen en un lugar donde pueden mantenerse limpios;
  - b) Si existen muros y otros elementos de separación adecuados para evitar la mezcla de los distintos tamaños; y
  - c) Si se manejen los agregados de forma que se evite la segregación.
- 3.- Inspeccionar la calibración y fijación de las compuertas del alimentador en frío.
- 4.- Inspeccionar las instalaciones de secado viendo que
  - a) El flujo de materiales a través del secador es uniforme y no superior a su capacidad con el tiro y suministro adecuados.
  - b) Si se secan los agregados hasta el contenido de humedad exigido por las especificaciones.
  - c) Los apartados indicadores de las temperaturas de los agregados están debidamente instalados y comprobados en cuanto a exactitud y sensibilidad.

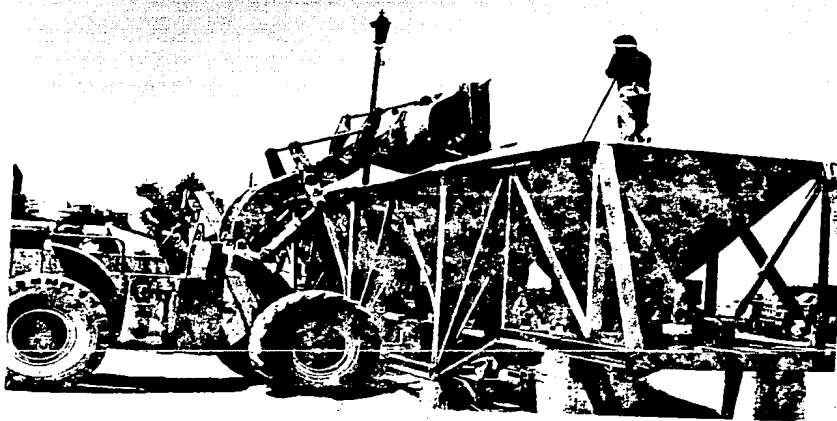
- d) El agregado se calienta uniformemente hasta la temperatura necesaria.
- 5.- Inspeccionar las cribas de material caliente asegurandose de
- a) Su limpieza
  - b) Que no esten desgastadas o rotas
  - c) Sus dimensiones.
- 6.- Inspeccionar las tolvas de material caliente, viendo que
- a) No existen agujeros en las paredes de las tolvas
  - b) Si no hay nada que obstruya o impida el flujo de los agregados
  - c) Existencia de elementos para eliminar, en su caso, el exceso de agregados.
- 7.- Comprobar las balanzas para pesado de los agregados y del asfalto
- a) Con pesos normalizados
  - b) Comprobando que dan lectura o cuando no hay carga
  - c) Comprobando su libertad de movimiento y sensibilidad
  - d) Que los indicadores funcionen adecuadamente.
- 8.- Inspeccionar el mezclado comprobando que
- a) Los revestimientos y las paletas no se han desgastado por encima de la tolerancia recomendada por el fabricante
  - b) Se introducen adecuadamente los agregados
  - c) Se distribuye el asfalto sobre la superficie posible del mezclador uniformemente.

- d) El tiempo de mezclado es uniforme y de acuerdo con las especificaciones
- e) El mezclador se llena hasta la altura necesaria para obtener un rendimiento óptimo
- f) La temperatura del asfalto permita una completa mezcla
- g) El mezclado es completo y uniforme.

- 9.- Observar de cerca tantas mezclas como sea posible, tomando sus temperaturas.
- 10.- Tomar muestras y hacer sobre la mezcla los ensayos necesarios.
- 11.- Usualmente, el inspector de la instalación hace ensayos de densidad sobre probetas tomadas del firme por el inspector de pavimentación, viendo si la pavimentación cumple lo especificado.

El cuadro siguiente ilustra algunas causas y deficiencias en la producción de mezclas asfálticas





LLENADO DE LAS TOLVAS DOSIFICADORAS

Los pasos principales para empezar a producir una mezcla son los siguientes:

1.- Ajuste de las compuertas de agregados fríos.

(Hay dos tipos generales de alimentadores de agregados en frío)

- a) Alimentadores alternativos.
- b) Alimentadores de correa.

La cantidad suministrada por un alimentador alternativo, en kilogramos por minuto, puede calcularse por la ecuación:

$$Ct = W H R L U E . . . (a)$$

Donde:

W - anchura de la compuerta, en metros;

H = altura de la compuerta, en metros;

R = carreras por minuto;

L = carrera del alimentador, en metros;

Ct = capacidad teórica, en kilogramos por minuto.

U = Peso de los agregados, en kilogramos por metro cúbico;

E = Rendimiento.

Los kilogramos por minuto suministrados por una alimentador de correa se determina por la ecuación:

$$Ct = W H S U E . . . (b)$$

Donde:

S = Velocidad de la correa, en metros por minuto.



En la práctica se suelen determinar las compuertas de los alimentadores por tanteos, no siendo necesario el uso de las ecuaciones (a) y (b). Cuando todos los alimentadores son idénticos puede obtenerse una aproximación bastante aceptable fijando las compuertas, de tal forma que las áreas correspondientes a los diversos agregados sean proporcionales a los porcentajes que deben suministrarse. Cuando se pone en marcha una nueva planta sobre la que no existen datos, no se sabe cual debe ser la abertura total de todas las tolvas. En tal caso es aconsejable emplear la ecuación (a) y (b) sin aplicar los factores de rendimiento al hacer los ajustes iniciales, pero las aberturas correspondientes a arenas deben incrementarse aproximadamente en un 10% sobre los valores calculados, ésto como una regla práctica. Se usará un peso unitario medio determinando físicamente pesos unitarios. Si se disponen los alimentadores en frío suponiendo un rendimiento de 100%, la producción de la planta es siempre inferior a la calculada en una cifra comprendida entre el 5 y 45% dependiendo del rendimiento de los alimentadores. No obstante, durante los períodos iniciales es mejor tener en la planta una alimentación escasa, porque su exceso obstruye las cribas haciendo prácticamente imposible la producción normal.

Cuando sea posible, deben calibrarse los alimentadores en frío. Es éste un trabajo que debe realizarse fácilmente cuando el material se lleva al secador por medio de transportadores de banda. Para ello solo es preciso ajustar

la compuerta de una tolva en la posición en que se espera su ministre la cantidad correcta de material. Se cierran las -  
tolvas, y se pone en marcha la planta. Cuando ha funcionado  
durante un minuto, aproximadamente, se separa y pesa el mate-  
rial contenido en el transportador de cinta en una distancia  
media, por ejemplo 3 m, y se convierte la cifra en kilogra-  
mos por metro. Esta multiplicada por la velocidad de la cin-  
ta en metros por minuto, da kilogramos por minuto entregados  
por la tolva, con esta abertura particular de la compuerta.  
Después se convierte en toneladas por hora y por centímetro  
de abertura de compuerta y se calcula por proporcionalidad -  
el número exacto de centímetros que debe abrirse la compuer-  
ta para suministrar la cantidad deseada de toneladas por ho-  
ra. Una acumulación de datos de este tipo facilita, además,,  
al explotador de la planta el ajuste exacto de sus alimenta-  
dores en frío al primer tanteo.

La mayor parte de los fabricantes dan calibracio--  
nes aproximadas para las aberturas de las compuertas de su -  
maquinaria, que pueden emplearse como dato en la regulación  
inicial de la abertura de la compuerta. El único medio exac-  
to de fijar las compuertas es preparar para cada una, gráfi-  
cas de calibración, empleando los agregados que van a utiliz-  
zar en la mezcla.

La abertura de la compuerta (en cm o cm<sup>2</sup>) se repre-  
senta graficamente en abscisas, tomando en ordenadas los - -

kilos de material por minuto.

Al calcular el rendimiento de una compuerta para una abertura dada, se debe deducir el peso de la humedad superficial de los agregados pesados. Esta corrección es muy importante en la calibración de las compuertas para agregados finos.

Las compuertas de alimentación de agregados gruesos no deben regularse con aberturas menores de 1.5 a 2 veces el tamaño de los agregados mayores. Por ejemplo, si a través de una compuerta deben pasar agregados de un tamaño máximo de 25 mm., la abertura de la compuerta no debe ser en ningún caso inferior a 37 o 50 mm. A veces puede ser necesario limitar la anchura de la abertura para tener la altura necesaria.

La abertura elegida debe considerarse provisional, porque los agregados fríos pueden variar en granulometría y contenido de humedad con las condiciones atmosféricas y otras circunstancias que pueden afectar su peso

Generalmente no es posible obtener una puesta a punto exacta de las tolvas de agregados fríos en la prueba inicial. Por ello, después de haber empezado la producción normal, a menudo una de las tolvas de material caliente empieza a rebosar, mientras es necesario esperar para que una o más de las otras se llenen. Para corregir esto se hace gradual-

mente pequeños cambios en las tolvas en frío hasta que se obtiene un buen funcionamiento de la planta.

La naturaleza de la alteración puede deducirse siempre de la naturaleza del exceso o de la deficiencia, o de ambos; por ejemplo, si la tolva de agregados que pasa por la malla número 10 rebosa, mientras es necesario esperar que se --llene la tolva de los agregados mayores de  $3/8$  de pulgada, --disminuiremos ligeramente la abertura de la tolva C de agregados fríos, aumentando aproximadamente en la misma proporción la abertura de la tolva A. (Ver figura). Otro ejemplo sería, suponiendo que la tolva de agregados más gruesos rebosa, pero que las otras dos funcionan satisfactoriamente. En este caso se está suministrando en conjunto un exceso de material, de -forma que será preciso reducir ligeramente la dosificación de la tolva A. Cuando debe aumentarse o disminuirse la alimentación en conjunto por exigencias de funcionamiento, se modifica la abertura inicial de cada tolva en la misma proporción -hasta que se obtiene el volumen total.

Una vez efectuado el ajuste inicial de los alimentadores en frío, se pone en marcha la planta y se hace funcionar durante un minuto aproximadamente, después que los agregados han empezado a caer en las tolvas de agregados en caliënte. Se vacian estas tolvas y se deja la planta en marcha unos minutos más para volverlas a llenar hasta su mitad, por lo --menos. Entonces ya pueden tomarse muestras de las tolvas de agregados en caliente para el análisis granulométrico.

## 2.- ANALISIS GRANULOMETRICO

El principio del control de la granulometría, consiste en cribar el agregado caliente y seco, con el fin de separarlo en fracciones y reconstruir una mezcla adecuadamente dosificada. El control de la granulometría se compone de una criba vibrante de 3 ó 4 mallas y de tolvas de almacenamiento para cada fracción de agregado.

El conjunto se agrupa en general, sobre el bastidor móvil o fijo y separado o no de la planta de mezclado propiamente dicha. Cada planta tiene sus características propias.

La primera malla, llamada de rechazo, sirve para separar el agregado cuyo tamaño exceda el máximo tolerado. La última malla separa la arena del resto. Finalmente, pueden existir una o dos mallas intermedias.

Las tolvas están provistas de canaletas de evacuación con el fin de permitir el rechazo de los excedentes. Estos, en principio inexistentes se vierten al pie de la planta y son índice de un mal ajuste. Las mallas deben vigilarse con el fin de descubrir los desgastes, que harían la operación completamente inútil.

Finalmente, es bueno proceder a controles granulométricos sobre los materiales de cada tolva, con el fin de compro-

bar que no hay arrastre de los finos por los gruesos, por sobrecarga de las cribas. En este caso hay que disminuir el rendimiento de la planta con el fin de aumentar la duración de cribado.

En cada tolva existe siempre algún material menor que la malla de menor obertura representado por ella; esto se debe a que cierta cantidad de los materiales finos es siempre arrastrada a la tolva siguiente por los agregados mayores. Este efecto aumenta cuando disminuye el tamaño de la malla. Por esta razón no se emplean en una planta de elaboración de mezcla en caliente, mallas menores del No. 10

Como regla general, los análisis combinados de las tolvas en caliente, darán en éstos porcentajes correspondientes a mezclas de agregados más gruesos que los que se obtendrían de la granulometría de extracción. Esto se debe, a que es imposible separar los agregados de los tamaños correspondientes a las mallas 100 y 200, que están adheridas a la piedra; ésto en un análisis por vía seca, y que sí se separan cuando el análisis se efectúa por lavado, bien con agua, cuando el material aún no se mezcla con el producto asfáltico o con algún disolvente cuando el análisis se efectúa ya a la mezcla producida.

En el control de la granulometría las objeciones más frecuentes y más serias son las siguientes:

- a) Las dimensiones de las cribas vibrantes son tales que es imposible cribar por debajo de 5 mm., o todo lo más, 3 mm.

Los rendimientos de las cribas dependen, en efecto del tiempo de permanencia del material en la malla.

Ahora bien, cuanto más fina es la malla, menor es el porcentaje de los huecos, pues cuando se adoptan diámetros de hilo demasiado pequeños, los hilos se gastan muy de prisa y se desplazan. Por otra parte, el tiempo de paso del agregado sobre la malla es tanto más importante cuanto más pequeña es ésta. Si se intenta disminuir el calibre de cribado, hay que aumentar la duración de cribado y, por consiguiente, disminuir el rendimiento de la planta.

Ahora bien, las características de las mezclas, principalmente su estabilidad y su compacidad, son función de la granulometría de la fracción 0/5 mm.

El control de la granulometría no tiene ningún efecto sobre esta parte del agregado, que es la más importante.

- b) Es frecuente que se utilicen dos arenas: por ejemplo, una redonda y otra machacada, que lleven finos.

El cribado no separará estos dos materiales y si

hay error de predosificación en la proporción de estos agregados finos, el control de granulometría no lo corregirá.

- c) La tolvas de almacenamiento a la salida de las cribas son de capacidades limitadas. Tan pronto como se produce un desequilibrio, una se desborda y la otra se vacía. Se corre el riesgo de graves perjuicios si no se vigila atentamente el nivel de estas tolvas. Dicho de otra manera, es preciso que la predosificación sea excelente para que el control de granulometría funcione armoniosamente, de otra manera resulta poco útil. De hecho su papel es paliar las pequeñas irregularidades de granulometría que puedan manifestarse por segregación en el tambor secador.

Es muy frecuente que al comenzar el funcionamiento normal de una planta, la granulometría de la mezcla tome un aspecto algo distinto de lo obtenido en las mezclas de prueba. Con el objeto de mantener el producto dentro de los lineamientos del diseño, es conveniente efectuar pequeños cambios en las oberturas de las tolvas. Estos cambios deben de llevarse a cabo con extremo cuidado y por pequeños incrementos; antes de cualquier modificación se requiere la seguridad de que se hace en la dirección adecuada. No es correcto efectuar ningún cambio basándose en un sólo ensaye; conviene efectuar un míni-



mo de 3, a fin de estar seguro de que la variación no esta basada en una muestra no representativa.

Por lo anterior es muy importante que la toma de muestras sea en extremo cuidadosa, en especial en mezclas con agregados con tamaños máximos de  $3/4''$  o más, ya que unas piedras suplementarias del tamaño mayor pueden hacer que el resultado del ensaye caiga fuera de los límites de la fórmula de dosificación en plantas por exceso de gruesos, o inversamente la falta de una de estas piedras puede hacer que el ensaye indique que los agregados se salen de la fórmula de dosificación en planta por defecto de agregados gruesos.

Es muy común no obtener resultados satisfactorios en la prueba inicial; por ello, después de haber empezado la producción normal, es frecuente que una de las tolvas de agregados fríos empiece a rebozar, mientras que es necesario esperar para que una o más de las otras, se llenen. Para corregir lo anterior, debe hacerse gradualmente pequeños cambios en las tolvas en frío hasta obtener un funcionamiento adecuado de la planta.

La naturaleza de variación de resultados, puede deducirse de la naturaleza del exceso o deficiencia en la capacidad de las tolvas, por ejemplo: si las tolvas de agregados que pasan por la malla No. 10, reboza, mientras que es necesario esperar a que se llene la tolva de agregados de  $3/8''$ , disminuirémos ligeramente la abertura de la tolva C de agregados fríos, aumentando proporcionalmente la abertura de la tolva.

Es indiscutible la importancia del estricto control de la alimentación en frío de cada tipo de agregados; la alimentación de estos al secador, debe regularse de tal manera que el caudal de cada tipo de ellas sea uniforme y lo más próxima posible a la cantidad exacta necesaria para mantener las tolvas de agregados calientes bien llenas, pero sin rebozar.

La irregularidad del caudal de cualquiera de los materiales fríos es perjudicial de dos maneras distintas para el buen funcionamiento de la planta.

Si se sobrecargan las mallas de uno de los tamaños, disminuye el rendimiento del cribado y se produce generalmente un exceso de arrastre de unos agregados por otros.

El exceso o defecto de uno de los materiales fríos puede dar lugar a que una de las tolvas de agregados en caliente, reboze o se vacíe; una tolva rebotante significa pérdida de calor, y vacía, disminuye la capacidad de la planta. En ambos casos, los gastos de funcionamiento de la planta aumentan.

La diferencia que existe entre una planta continua y una discontinua en este concepto, es que en la planta continua el procedimiento de ajuste sólo se altera en función de que se considera como una bacha, una vuelta del conta vuelta incorporado a la planta. Se representa la curva que relaciona los kilogramos por

vuelta, con la abertura de la compuerta por medio de datos obtenidos de una calibración de la planta realizada según las instrucciones del fabricante.

### 3.- SECADO

El secado es una operación que tiene una influencia muy grande en el rendimiento de la planta. Los factores principales son:

- El contenido de agua de los agregados.
- La granulometría de los materiales.
- La temperatura requerida.

Los parámetros sobre los que se puede actuar son:

- La duración de permanencia de los agregados en el secador.
- El consumo de aire y el ajuste de los quemadores.

Interviene también la temperatura del aire, la de los agregados fríos y, en especial la concepción del tambor secador.

- Un secador bien regulado, con una temperatura del aire y de los agregados fríos de 15°C y una temperatura de los agregados calientes de 150°C;
- Una disminución de 15°C en la temperatura de los agregados secos, aumenta el rendimiento del secador en 2% y disminuye otro tanto el consumo de diesel;
- Si el rendimiento del secador es de 100 con agregados que tienen un 6% de humedad, cuando la humedad pasa al 12% este rendimiento cae a 50 y alcanza 200 cuando la humedad baja al 2%;

- En las mismas hipótesis, el consumo de combustible pasará de 8 kg por tonelada a 16 kg si tiene muy poca humedad y será de 4 kg. si tiene mucha humedad.

En algunos secadores, los quemadores se ajustan por medio del control de temperaturas de los agregados. La temperatura a que deben salir los agregados, depende de la temperatura del asfalto y deberá mantenerse en un valor de 10°C a 15°C inferior a la del mismo. Por consiguiente se tendrá que controlar las dos temperaturas.

Todos los agregados (excepto el relleno mineral, "filler") para mezclas destinadas a concreto asfáltico y capas intermedias, deberán ser calentados a una temperatura que oscile entre 105 y 175°C. La temperatura más conveniente dentro de estos límites - dependerá del carácter de la mezcla que haya de producirse.

El control del secador se realiza esencialmente sobre la temperatura de los agregados, vigilada en general mediante un pirómetro de cuadrante situado en la tolva antes del mezclador. - Los instrumentos para medición de la temperatura deberán comprobarse frecuentemente. Una forma sencilla de hacerlo es colocar el elemento sensible, juntamente con un termómetro exacto, en un baño de aceite o asfalto, que se calienta haciendo lecturas comparativas en ambos aparatos. Estas lecturas deben hacerse a temperaturas inferiores, iguales o superiores a las previsibles durante el funcionamiento de la instalación.

#### 4.- COLECTOR DE POLVO

En el colector de polvo se emprenden investigaciones importantes, principalmente para juzgar el papel de ciertos factores sobre la cantidad de finos arrojados (granulometría y naturaleza mineralógica del agregado, humedad en el almacenaje, velocidad de los gases, regulación del quemador, etc.)

Estos estudios que tienden a juzgar la eficiencia de los diversos tipos de recuperados de polvo, han mostrado cuán difíciles eran de determinar en forma precisa las cantidades de polvo emitidas.

Se ha puesto a punto un equipo de depuración propia en las chimeneas, el cual no debe perturbar localmente el flujo de gases para permitir precisamente una medida correcta. El dispositivo de base es una sonda de acero introducida en diversos puntos del circuito de gas, que, equipada con un aspirador y un filtro de tejido, permite conocer los caudales instantáneos de polvo. Por otra parte, medidores de diafragma dan velocidad de los gases en diversos puntos de la sección.

#### 5.- CALIBRACION DE LA BOMBA DE ASFALTO

Para realizar la calibración de la bomba de asfalto, se debe seguir un procedimiento particular de elaborado por el fabricante de la planta. Cuando esta información no este disponible, se aconseja seguir las siguientes recomendaciones como guía.

Antes de que se inicie la calibración, póngase en operación la planta y bombeese el asfalto a través de la planta hasta que se obtenga la presión normal de actividad en la línea de asfalto.

La línea de calibración deberá equiparse con un medidor de presión y una válvula. Bombeense aproximadamente (50 galones) de asfalto a la presión registrada dentro del recipiente de muestra graduado. Tómese una lectura del contador de revoluciones y determínese el peso exacto del asfalto. Este valor deberá corresponder con la tabla de calibración del fabricante. Para la descarga por el engranaje de combinación efectúese la primera prueba con el mecanismo de transmisión que de acuerdo al fabricante, se aproxime lo más posible a la entrega de la cantidad calculada de asfalto necesario. Realícense varias pruebas en cada engranaje de combinación. A fin de asegurar la determinación exacta del porcentaje de descarga de la bomba.

Esta calibración deberá repetirse a intervalos para asegurar el control exacto del contenido de asfalto de la bomba.

Si se emplea la bomba de asfalto de control remoto calibre se para diferentes posiciones de la bomba, mayores y menores de la cantidad calculada de asfalto que va a ser utilizada y se prepara una curva. Se ajusta el manómetro de la bomba para entregar la cantidad requerida de asfalto como se indica en la curva. Después efectúense calibraciones adicionales para asegurar que la cantidad calculada de asfalto sea descargada en la mezcla.

Para una producción de 200 toneladas por hora la cantidad de cemento asfáltico a 5.5% sería:

$$200 \times 0.055 = 11 \text{ ton. de cemento asfáltico por hora}$$

$$\text{u } 11 \text{ ton por hora} = \frac{11 \times 2000}{60} = 366.67 \frac{\text{lb}}{\text{min}}$$

Debido a que el cemento asfáltico será agregado a la mezcla por volúmen, deben efectuarse correcciones por diferencia de volúmen de acuerdo con la temperatura.

Supóngase que el peso específico del cemento asfáltico es 0.9950, éste con un peso específico de 1000 pesa 8.3283 lb por galón a 60°F. Cuando el cemento asfáltico tiene un peso específico de 0.9959 y está a 280°F, la corrección de la temperatura es de 0.9253.

Para convertir libras a galones en condiciones de operación:

$$8.3283 \times 0.995 \times 0.9253 = 7.67 \text{ lb por galón}$$

$$\frac{366.67}{7.67} = 47.81 \text{ galones por minuto}$$

$$7.67$$

La gráfica del fabricante muestra que la combinación de dientes de la bomba y el mecanismo del engranaje que más se aproxima a la entrega de 47.81 galones, rendirá 48.28 galones de cemento asfáltico por minuto.

$$48.28 \times 7.67 = 370.31 \text{ lb de cemento asfáltico por minuto}$$

Los datos del fabricante arrojan 26.84 revoluciones por minuto del aumentador para entregar 48.28 galones, o 370.31 lb de cemento asfáltico por minuto, por lo tanto:

$$\frac{370.31}{26.84} = 13.80 \text{ lb de cemento asfáltico por revolución.}$$

Después de verificar estas graduaciones de la bomba de cemento asfáltico, se encontró que sólo se entregaban 48.26 galones (379.15 lb por minuto). Debido a esta diferencia en la alimenta

ción se tendrá lo siguiente:

$$\frac{370.31}{26.84} = 13.79 \text{ lb de cemento asfáltico entregados por revolución}$$

## 6.- MEZCLADOR

Todas las partes del mezclador deben estar en buenas condiciones mecánicas y ajustadas correctamente. Las caras de las paletas puede ajustarse con distintas combinaciones. El manual de operación del fabricante da detalles para colocarlas correctamente.

La luz entre las cabezas de las paletas y el encamisado interior depende del tamaño máximo del agregado y, normalmente, será inferior a la mitad del diámetro máximo del agregado. Si las paletas están muy gastadas o rotas y no se les reajustó o reemplazó pueden aparecer zonas muertas.

Si el mezclador está excesivamente lleno puede producirse una mezcla no homogénea. Se obtiene la máxima eficiencia de operación cuando los extremos de las paletas apenas son visibles durante el mezclador, sobre el material en el extremo superior de su recorrido. El material sobre este nivel tiende a flotar sobre las paletas y no se mezcla. Por otra parte si el mezclador está insuficientemente lleno tampoco se logrará un mezclado adecuado, porque no existirá material suficiente para que las paletas lo hagan circular de la forma deseada. Se pueden reducir ambas condiciones si se siguen las recomendaciones del fabricante del mezclador. Normalmente, ésto se basa en el porcentaje de la



capacidad de la "zona activa" del mezclador que es el volúmen en metros cúbicos por debajo de una línea tangente al recorrido en la parte superior, que se extiende entre las paredes interiores del mezclador. Se restan los volúmenes de los ejes, camisas, paletas y puntas.

Una inspección visual de la mezcla y los ensayos indican si el mezclador está funcionando bien o el mezclado es completo.

## AJUSTE DE UNA PLANTA DE ASFALTO

Ejemplo:

DATOS:

Producción requerida 100 Ton. por hora

Porcentaje de cemento asfáltico con respecto al peso de la mezcla.

cemento asfáltico = 5.2 %

Peso específico del cemento asfáltico = 0.93 Kg/Lt

( a la temperatura de empleo ).

De la calibración de las tolvas se tienen los siguientes porcentajes:

Tolva No. 3	19%
Tolva No. 2	49%
Tolva No. 1	32%

Primer Paso:

Se determina la cantidad de asfalto necesaria por minuto.

$$\text{Producción de mezcla: } 100 \text{ Ton./hora} = 100 \frac{\text{Ton.}}{\text{hora}} \times (1\,000 \text{ Kg}) \frac{\text{hora}}{60 \text{ min.}}$$

P. mezcla = 1 666 Kg/min.,

% cemento asfáltico = 5.2 % = 0.052 ( expresado en forma decimal ).

Cantidad de cemento asfáltico = 1 666 x 0.052

Cantidad de cemento asfáltico = 86.6 Kg/ min.

Haciendo la transformación a Lts./ min.

$$86.6 \text{ Kg/min} = 86.6 \frac{\text{Kg}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ Lt}}{0.93 \text{ Kg}}$$

Cantidad de cemento asfáltico = 93 lt./min

Segundo Paso:

Selección de la combinación de engranajes.

Dado que el costo de la bomba de asfalto se regula mediante engranajes intercambiables, se debe encontrar en la información que proporciona el fabricante, (catálogo o manual de operación de la planta) --- cuál es la combinación de engranajes de la que se puede obtener la cantidad de asfalto que más se aproxime a la requerida.

De los datos del fabricante, se pueden obtener las siguientes cantidades de asfalto por minuto.

90 Lt/min por combinación de engranajes A

94 Lt/min por combinación de engranajes B

98 Lt/min por combinación de engranajes C

Para este caso escogeremos la combinación de engranajes "B" que nos da 94 Lt/min.

Lo anterior producirá una ligera alteración en la dosificación calculada, ya que solo necesitamos 93 Lt/min por lo que es indispensable hacer una corrección a los cálculos originales.

Tercer Paso:

### Corrección

a) Convertimos 94 Lt/min a Kg/min

$$\frac{94 \text{ Lts}}{\text{min}} = \frac{94 \text{ Lts}}{\text{min}} \times \frac{0.93 \text{ Kg}}{\text{Lt}}$$

$$\frac{94 \text{ Lt}}{\text{min}} = 87.5 \frac{\text{Kg}}{\text{min}}$$

b) Calculamos la cantidad de material pétreo por minuto que será necesario para conservar el mismo porcentaje de cemento asfáltico en la mezcla. Para 1 666 Kg/min ( 100 Ton/Hora ) de mezcla y, 5.2% de cemento asfáltico. Que cantidad de mezcla necesitamos producir para tener 5.2% de cemento asfáltico y 87.5 - Kg/Min de cemento asfáltico

$$\frac{X \text{ Kg/Min de mezcla}}{100\% \text{ mezcla}} = \frac{87.5 \text{ Kg/Min. de cemento asfáltico}}{5.2\% \text{ de cemento asfáltico}}$$

$$\text{X Kg/Min de mezcla} = \frac{87.5 \text{ Kg/min} \times 100\%}{5.2\%}$$

$$\text{Mezcla} = 1682 \text{ Kg/Min} \times 94.8\%$$

$$\text{Material Pétreo} = 1682 \times 0.948 \text{ Kg/Min}$$

$$\text{Material Pétreo} = 1594.5 \text{ Kg/Min}$$

$$\text{cimento asfáltico} = 5.2\% \text{ del peso total de la mezcla } 87.5 \text{ Kg/Min}$$

$$\text{mezcla } 1682 \text{ Kg/Min.}$$

$$\text{Mezcla } 1682 \text{ Kg/Min.} \times \frac{60 \text{ min.}}{1 \text{ hora}} \times \frac{1 \text{ Ton}}{1000 \text{ Kg}}$$

$$\text{Mezcla} = 101 \text{ Ton/hora. Comprobación de la producción}$$

La producción práctica resultó un poco mayor que la requerida originalmente de 100 Ton./Hora.

$$104 \text{ Kg/vuelta} = 229 \text{ libras/vuelta}$$

Los porcentajes de material de cada tolva son los siguientes:

Tolva No.	Porcentaje	Libras / vuelta
1	32%	$0.32 \times 229 = 73.3$
2	49%	$0.49 \times 229 = 112.2$
3	19%	$0.19 \times 229 = 43.5$
		229.0 Lb/vuelta

La abertura de cada tolva se obtendrá de la grafica de calibración :

Tolva No.	Lbs/vuelta	abertura en pulgadas
1	73.30	4.00
2	112.20	7.00
3	43.50	3.00

Y a partir de este punto pueden hacerse cambios diferenciales, los cálculos se efectúan sobre los Kg. de agregados vuelta y se modifican las aberturas de las tolvas por medio de la curva de la gráfica de calibración de suministro.

## CAPITULO VII

## CONCLUSIONES

Existen dos tipos de plantas de asfalto, continuas y discontinuas. Las primeras son plantas de asfalto modernas para la obtención de concreto asfáltico en caliente, las cuales han llegado a tal punto de perfección mecánica, que cuando se instalan y ajustan adecuadamente, la producción de mezcla asfáltica de acuerdo con especificaciones es casi automática. Mediante el empleo de controles electrónicos, e hidráulicos, un solo hombre es capaz de iniciar el proceso y vigilar la instalación mientras se están realizando diversos ciclos de dosificación automática, cribado, mezclado y descarga de la mezcla asfáltica en los camiones.

Las plantas discontinuas difieren de las continuas pues el proceso de fabricación del concreto asfáltico es por peso y no por volumen. Es decir se lleva a cabo un proceso de pesado el cual nos determina la proporción de cemento asfáltico que requiere nuestra mezcla. La producción de este tipo de plantas es muy limitada, sin embargo, el costo es muy inferior al de una planta continua.

La planta continua es muy útil en obras en las que pueda ser necesario cambiar frecuentemente de fórmula de diseño, en un mismo día o de un día para otro. Su ajuste es casi inmediato. Sin embargo, si se quiere evitar la modificación de los ajustes del predosificador de manera muy precisa hay que desconfiar del volumen de las tolvas intermedias, porque puede ser insuficiente, en caso de - -

cambios muy frecuentes.

Las plantas continuas se prestan para instalaciones portátiles y pueden montarse en poco tiempo, además ocupan poco espacio.

No podríamos hablar de ventajas y desventajas entre una y otra planta, pero si podríamos decir que en la planta discontinua la mezcla puede ser más íntima puesto que las paletas pueden ser diseñadas con la sola preocupación de mezclar bien, no de producir además, la salida de la mezcla. En algunas ocasiones se ha visto que en dos plantas - continua y discontinua - trabajando con los mismos agregados y con la misma proporción de cemento asfáltico se observa que la mezcla producida por la planta discontinua está mejor mezclada e incluso da la sensación de tener exceso de asfalto.

Es importante dentro de la producción de mezclas asfálticas no descuidar los siguientes factores:

- 1.- La granulometría del material.
- 2.- La correcta dosificación de agregados pétreos.
- 3.- La temperatura del secador.
- 4.- La dosificación del cemento asfáltico.
- 5.- El correcto mezclado.

La elección de una planta de asfalto va en función del presupuesto, sin embargo también deben tomarse en cuenta las características y requerimientos de la obra así como las condiciones de explotación de materiales pétreos y las facilidades de capacitación del personal.