



DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS

**MANUAL DE CONTROL DE
FABRICACION Y PUESTA EN
OBRA DE MEZCLAS
BITUMINOSAS**

1978

	<u>Página</u>
1. INTRODUCCION	9
1.1 Objeto	9
1.2 Operaciones que comprende el control de la ejecución de una mezcla bituminosa	9
1.3 Misión y organización del equipo de control	10
1.3.1 Misión del Equipo de Control	10
1.3.2 Organización del Equipo de Control	12
2. CARACTERISTICAS GENERALES DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS Y DE LOS MATERIALES EMPLEADOS PARA SU FABRICACION	15
2.1 Mezclas bituminosas	15
2.1.1 Clasificación y definiciones	15
2.1.2 Tipo y composición de las mezclas	16
2.2 Materiales	20
2.2.1 Ligantes bituminosos	20
2.2.1.1 Definiciones	20
2.2.1.2 Tipos de ligantes a emplear	21
2.2.1.3 Adiciones	21
2.2.2 Áridos y filler	21
2.2.2.1 Árido grueso	22
2.2.2.2 Árido fino	25
2.2.2.3 Filler	26
2.2.2.4 Mezcla de áridos	27
3. ESTUDIO PREVIO DE LOS MATERIALES Y SU DOSIFICACION EN LABORATORIO	31
3.1 Consideraciones generales	31
3.2 Estudio previo de los materiales	32
3.2.1 Estudio de los áridos y del filler	33
3.2.2 Ligante bituminoso y adiciones	34
3.3 Dosificación de la mezcla bituminosa en el laboratorio	34
3.3.1 Dosificación de los áridos	35
3.3.1.1 Tanteo inicial de la dosificación de los áridos	36
3.3.1.2 Ajuste de la dosificación de áridos	40

Se agradece el envío de observaciones y sugerencias sobre esta publicación a:

DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS
SECCION DE MATERIALES Y FIRMES

3.3.2	Dosificación del ligante	45
3.4	Estudio de la susceptibilidad de la mezcla a la acción del agua	52
3.5	Estudio de la susceptibilidad de la mezcla a la deformación plástica	54
4.	CONTROL DE LOS ACOPIOS DE LOS MATERIALES E INSPECCION DE LA MAQUINARIA A EMPLEAR EN LA FABRICACION Y PUESTA EN OBRA DE LA MEZCLA BITUMINOSA	55
4.1	Control de los acopios de los materiales	55
4.1.1	Control de los áridos	57
4.1.2	Control del ligante bituminoso y del filler de aportación	57
4.2	Inspección de la maquinaria a emplear en la fabricación y puesta en obra de la mezcla bituminosa	57
4.2.1	Inspección de la maquinaria de fabricación de mezclas bituminosas	66
4.2.1.1	Sistema de alimentación y dosificación de los áridos en frío	66
4.2.1.2	Secador de los áridos	74
4.2.1.3	Colector de polvo	76
4.2.1.4	Sistema de clasificación de los áridos en caliente	80
4.2.1.5	Silos de almacenamiento de los áridos cribados calientes	84
4.2.1.6	Sistema de alimentación del filler	85
4.2.1.7	Sistema de almacenamiento, calefacción y alimentación del ligante	87
4.2.1.8	Sistema de dosificación de los áridos, del filler y del ligante bituminoso	89
4.2.1.9	Mezclador	94
4.2.1.10	Descarga del mezclador	99
4.2.1.11	Automatismo de las instalaciones	102
4.2.1.12	Instalaciones especiales para la fabricación de mezclas bituminosas	103
4.2.1.13	Instalaciones para la fabricación de mezclas en frío	108
4.2.2	Inspección de los elementos de transporte	108
4.2.3	Inspección de la maquinaria de extensión	109
4.2.4	Inspección de la maquinaria de compactación	116

5.	SUPERVISION DE LA PUESTA A PUNTO DE LA INSTALACION Y OBTENCION DE LA FORMULA DE TRABAJO	121
5.1	Consideraciones generales	121
5.2	Dosificación en frío	123
5.2.1	Comparación entre las granulometrías medias de los áridos acopiados y las empleadas en el estudio de laboratorio	124
5.2.2	Calibrado de la alimentación	125
5.2.3	Ajuste de la alimentación	126
5.2.3.1	Estimación de la producción	126
5.2.3.2	Dosificación de los áridos en frío y comprobación de la granulometría de los áridos combinados	126
5.3	Dosificación en caliente	137
5.3.1	Comprobación de la granulometría de los áridos combinados, de la del polvo recuperado por el colector y de la de los áridos clasificados en caliente	137
5.3.2	Ajuste de la proporción de los áridos calientes y filler	139
5.3.3	Ajuste de la proporción de ligante	141
5.3.3.1	Instalaciones de tipo discontinuo	141
5.3.3.2	Instalaciones de tipo continuo	142
5.4	Ajuste de las temperaturas	145
5.5	Ajuste del tiempo de mezclado	150
5.6	Fabricación de la mezcla bituminosa y determinación de sus características	154
5.7	Mezclas en frío	154
5.8	Tramos de prueba	154
6.	CRITERIOS PARA TOMA DE MUESTRAS, ENSAYOS A REALIZAR Y TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS	159
6.1	Criterios a seguir para la toma de muestras	160
6.2	Toma de muestras de camiones	162
6.3	Toma de muestras en la instalación	164
6.4	Toma de muestras de la capa extendida sin compactar	165
6.5	Toma de muestras de la capa compactada	167
6.6	Toma de muestras de los suministros en cisternas	170
6.7	Plan general de muestreo. Frecuencia, tamaño y recomendaciones para la toma de muestras	170
6.8	Valoración y tratamiento de los resultados de los ensayos	171

	<u>Página</u>
7. CONTROL DE LA FABRICACION DE LA MEZCLA BITUMINOSA Y DEL SUMINISTRO DE LOS MATERIALES	175
7.1 Control del suministro de materiales durante la fabricación	175
7.1.1 Control de los áridos y del filler	175
7.1.2 Control del ligante	176
7.1.2.1 Transporte y almacenamiento en bidones	176
7.1.2.2 Transporte y almacenamiento a granel	177
7.1.2.3 Recepción	178
7.2 Control de la fabricación de la mezcla bituminosa	179
7.2.1 Tolvas o silos de alimentación en frío	179
7.2.2 Secador y colector del polvo	179
7.2.3 Clasificación en caliente	180
7.2.4 Dosificación de áridos y filler	180
7.2.5 Dosificación del ligante	180
7.2.6 Fabricación de la mezcla	180
7.2.7 Termómetros y control de temperatura	181
7.2.8 Inspección visual de la mezcla	182
7.3 Control de la dosificación de áridos	184
7.3.1 Toma de muestras	184
7.3.2 Granulometría del polvo recuperado por el colector y de los áridos cribados en caliente	185
7.3.3 Granulometría de la dosificación	185
7.4 Control de las características de la mezcla bituminosa	186
7.4.1 Toma de muestras	186
7.4.2 Granulometría y proporción del ligante	186
7.4.3 Densidad y análisis de huecos	187
7.4.4 Características mecánicas de la mezcla	188
8. CONTROL DEL TRANSPORTE, EXTENSION Y COMPACTACION ...	189
8.1 Inspección del equipo	189
8.2 Comprobación de la superficie a pavimentar	190
8.3 Transporte y recepción de la mezcla	190
8.4 Extensión de la mezcla	194
8.5 Compactación de la mezcla	198
8.6 Juntas transversales y longitudinales	202

	<u>Página</u>
8.7 Tolerancias de la superficie acabada	208
8.8 Limitaciones de la ejecución	209
9. RECOPIACION DE LOS DATOS OBTENIDOS DURANTE EL CONTROL	211
9.1 Parte de control del suministro de materiales	211
9.2 Partes de control de materiales en la instalación de fabricación	211
9.3 Partes de control de la fabricación de la mezcla bituminosa	212
9.4 Parte de salida y transporte de la mezcla bituminosa	212
9.5 Partes de recepción y puesta en obra de la mezcla bituminosa	212
9.6 Parte resumen del control	213
9.7 Partes resumen de las variaciones diarias de las características de la mezcla bituminosa y de los materiales	213
DIAGRAMAS	217
APENDICES	
APENDICE 1. Factores de dimensionamiento para firmes flexibles de nueva construcción según la norma 6.1.-IC.	239
APENDICE 2. Especificaciones que deben cumplir los ligantes bituminosos	245
APENDICE 3. Tablas de corrección del volumen en función de la temperatura	253
APENDICE 4. Procedimiento estadístico para la determinación del cumplimiento de las especificaciones utilizando medias móviles y gráficos de control	259
1. Objeto	259
2. Procedimientos	259
2.1 Definiciones	259
2.2 Determinación inicial	260
2.3 Procedimiento a seguir cuando un resultado de ensayo individual o la media móvil, se sale de las especificaciones	260
2.4 Discontinuidad en el cálculo de la media móvil	261
2.5 Frecuencia de la toma de muestras	261
3. Empleo de los gráficos de control. Zonas de alerta	261
APENDICE 5. Reconocimientos	267

1. INTRODUCCION

1.1 OBJETO

Este Manual tiene por objeto la descripción del procedimiento que se ha de seguir para efectuar el control de la fabricación y puesta en obra de las mezclas bituminosas fabricadas en instalaciones apropiadas. Asimismo se describen los tipos de mezclas, los materiales y la maquinaria empleada en la realización de estas unidades de obra.

En el texto se han adoptado los siguientes criterios:

- las citas textuales del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de Carreteras y Puentes (PG-3 /1975), en lo sucesivo PG-3, se han destacado con letra cursiva.

- los ejemplos numéricos se han impreso en letra pequeña.

- como apéndices del Manual se incluyen especificaciones y tablas de empleo corriente en la ejecución y control de las mezclas bituminosas, así como el procedimiento estadístico, utilizando medias móviles y gráficos de control, para la determinación del cumplimiento de las especificaciones. Finalmente se incluyen los reconocimientos a los Organismos y Servicios cuyas publicaciones o sugerencias han contribuido a la redacción de este Manual.

1.2 OPERACIONES QUE COMPRENDE EL CONTROL DE LA EJECUCION DE UNA MEZCLA BITUMINOSA

En un correcto planteamiento del control de la ejecución de una capa de mezcla bituminosa, se pueden distinguir dos fases:

a) Operaciones previas.

- Estudio previo de los materiales disponibles y elección de los más adecuados.
- Estudio de la dosificación de la mezcla en laboratorio.

Estas operaciones serán realizadas por el Laboratorio Regional, que comunicará los resultados al Equipo de Control, el cual podrá colaborar en las mismas.

b) Operaciones específicas del Equipo de Control.

- Control de los acopios de materiales.
- Inspección de la maquinaria a emplear en la fabricación y puesta en obra de la mezcla.
- Supervisión de la puesta a punto de la instalación de fabricación y de la fórmula de trabajo de la mezcla.
- Control de la fabricación de la mezcla y del suministro de materiales.
- Control del transporte, de la extensión y de la compactación.
- Recopilación y tratamiento de los datos obtenidos durante el control.

1.3 MISION Y ORGANIZACION DEL EQUIPO DE CONTROL

1.3.1 Misión del Equipo de Control

La fabricación y puesta en obra de una mezcla bituminosa constituye un proceso industrial cuyo objetivo es colocar sobre la carretera una capa de mezcla que cumpla con las condiciones geométricas y mecánicas exigidas en el proyecto.

El objetivo del control es asegurar que todas y cada una de las operaciones de este proceso se realizan de acuerdo con las prescripciones establecidas a fin de obtener la calidad prevista o, en su caso, realizar los ajustes o rectificaciones necesarios.

Mediante los datos obtenidos durante el control, el Director de las obras deberá tomar la decisión de aceptar o rechazar los materiales, elaborados o no, o la obra realizada.

La información obtenida mediante el control es tanto más fidedigna cuanto más intenso sea éste. Esta intensidad está condicionada en razón del personal, de los métodos y del coste de los medios empleados en el control.

Dentro del conjunto del control hay operaciones que pueden realizarse antes, durante o después de la ejecución y, dada la dificultad de corrección de los posibles defectos, es conveniente siempre que sea posible intensificar el control "antes y durante" en todas las fases, dejando el control "después" tan solo como medio de comprobación del buen resultado de las operaciones y medidas tomadas en los dos primeros.

Durante el control se tienen que simultanear dos tipos de actividades:

- a) La realización de ensayos sobre los materiales, o sobre la mezcla en muestras representativas.
- b) La inspección y vigilancia de las distintas fases del proceso o del modo de empleo de la maquinaria.

Ambas actividades son complementarias y dado las altas capacidades de producción actuales, y las mejoras de los equipos empleados, la labor de inspección y vigilancia adquiere cada vez una mayor importancia.

La decisión de aceptar la capa de mezcla terminada se basa en la comparación de la información obtenida durante el control con las prescripciones que se han fijado previamente.

Por ello es imprescindible antes del comienzo de la obra, planificar toda la labor del control, ensayos y vigilancia, teniendo en cuenta las características de la obra y los medios puestos a disposición, con objeto de dedicar la atención preferente a "puntos clave" del proceso.

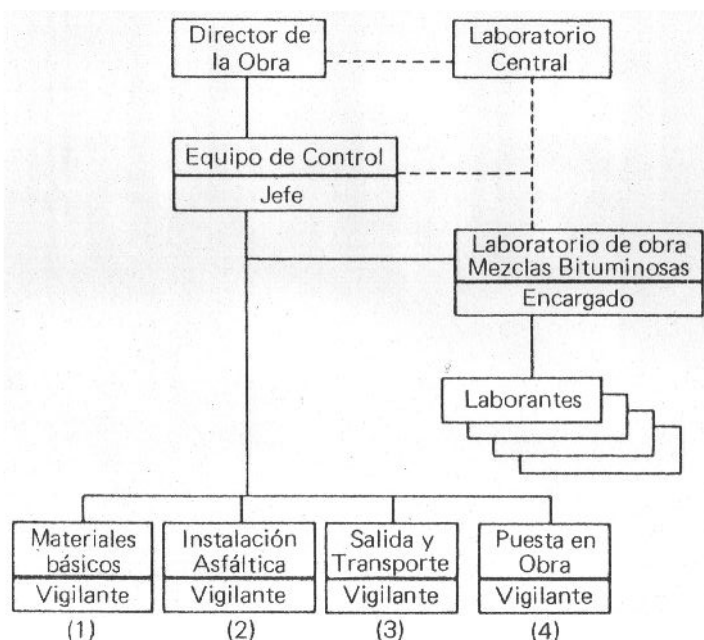
De otra parte, en la actualidad se tiende a considerar todo el proceso constructivo como una sucesión de lotes, es decir, de cantidades de material de la misma procedencia, cuya producción se supone debe ser uniforme y en el que no intervienen más que factores aleatorios, pudiéndose determinar estos lotes aplicando distintos criterios tales como, determinado número de toneladas, de horas de trabajo, o de metros cuadrados de capa extendida.

Los ensayos se realizan sobre **muestras** tomadas de estos lotes de forma aleatoria. Los datos obtenidos para los valores de las distintas variables no pueden considerarse por separado sino en conjunto, para lo cual es necesario ordenar y analizar los datos de control con el fin de facilitar la decisión final de aceptación o rechazo.

Por último, para obtener una construcción de alta calidad es necesario una completa cooperación entre la Administración y la Contrata. El Equipo de Control es la herramienta de que disponen tanto Administración como Contratista para asegurar la calidad de la obra, y su actuación debe en todo momento estar encaminada al logro de este fin, poniendo rápidamente en su conocimiento las deficiencias encontradas a fin de rectificarlas tan pronto como se detecten por los datos del control, contribuyendo con esta cooperación al buen logro de la calidad de la obra.

1.3.2 Organización del Equipo de Control

La organización en obra para cumplir las distintas misiones deberá responder, en general, a un organigrama del siguiente tipo.



Dentro de este esquema la misión de cada uno de los componentes es la siguiente:

Operación	Misión	Encargado de Realización
Supervisión general	Acopios Recepción Materiales Control fabricación Orden de ejecución de ensayos Partes	Jefe del Equipo de Control
Control de acopios y suministro de materiales	Toma de muestras Ensayos y partes Decisiones	Vigilante (1) Encargado de Laboratorio Jefe del Equipo de Control pudiendo delegar en Vigilante (1)
Control de la instalación y de la fabricación de la mezcla bituminosa	Temperaturas y funcionamiento Toma de muestras Ensayos y Partes Decisiones o corrección	Vigilante (2) Encargado de Laboratorio Jefe del Equipo de Control pudiendo delegar en Vigilante(2)
Control de la mezcla fabricada y de su transporte	Temperatura Toma de muestras Peso de camiones Parte de salida Decisiones	Vigilante (3) Jefe del Equipo de Control pudiendo delegar en Vigilante (4)
Puesta en obra	Recepción de la mezcla Temperaturas Vigilancia de la extensión, compactación y acabado Toma de muestras Partes Decisiones	Vigilante (4) Jefe del Equipo de Control pudiendo delegar en Vigilante (4)



2. CARACTERISTICAS GENERALES DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS Y DE LOS MATERIALES EMPLEADOS PARA SU FABRICACION

2.1 MEZCLAS BITUMINOSAS

Constituye la mezcla bituminosa la íntima combinación de áridos, filler y un ligante bituminoso, de manera que la superficie de todas y cada una de las partículas minerales queden recubiertas de una forma homogénea por una película de ligante. En el conjunto, después de compactado, los áridos más gruesos forman un esqueleto mineral, rígido y resistente, cuyos huecos se rellenan por las partículas más finas. La película de ligante, o mejor el sistema filler-betún, recubriendo las partículas y relleno los huecos, forma un medio continuo, viscoso, que mantiene las partículas minerales unidas, dando cohesión a la mezcla.

2.1.1 Clasificación y definiciones

Según la forma de fabricación, las mezclas bituminosas se clasifican en mezclas bituminosas en caliente y mezclas bituminosas en frío.

Se define como mezcla bituminosa en caliente la combinación de áridos y un ligante bituminoso, para realizar la cual es preciso calentar previamente los áridos y el ligante. La mezcla se extenderá y compactará a temperatura superior a la del ambiente.

Se define como mezcla bituminosa en frío la combinación de áridos y un ligante bituminoso, para realizar la cual no se precisa calentar previamente los áridos. La mezcla se extenderá y compactará a la temperatura ambiente.

Las mezclas bituminosas en caliente emplean en su fabricación ligantes bituminosos viscosos. Para poder realizar la operación de envuelta es necesario calentar áridos y ligante a la temperatura adecuada según la naturaleza del ligante.

Asímismo la puesta en obra ha de realizarse en un intervalo de temperaturas determinado, para conseguir una adecuada extensión y compactación.

Las mezclas bituminosas en frío emplean en su fabricación ligantes bituminosos con menor viscosidad, betunes fluidificados, alquitranes fluidos o emulsiones asfálticas. Para poder realizar la operación de envuelta no es necesario calentar los áridos, pudiendo o no calentarse ligeramente el ligante. La puesta en obra se realiza a temperatura ambiente.

2.1.2 Tipo y composición de las mezclas

Las mezclas, que se vienen utilizando en nuestro país, están caracterizadas en general por poseer un esqueleto mineral de granulometría continua. Su textura interna y superficial dependerá de la proporción relativa de las distintas fracciones minerales: árido grueso, árido fino y filler. En el PG-3 y de acuerdo con la proporción de árido grueso se definen cuatro tipos o clases: mezclas densas D, con proporciones entre el 50% y el 65% ; mezclas semidensas S, con proporciones entre el 55% y el 70% ; mezclas gruesas G, con proporciones entre el 65% y el 80% y mezclas abiertas A, con proporciones entre el 80% y el 95% . Las proporciones del árido fino y del filler varían con el tipo de mezcla.

El tipo y composición de la mezcla bituminosa serán los definidos en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

La mezcla bituminosa será, en general, de uno de los tipos definidos en las tablas 541.1 y 542.1 (tablas 2.1 y 2.2).

Dentro de cada tipo de mezcla, existen tres clases diferentes según el tamaño máximo del árido (abertura del tamiz en que queda retenido al menos un 5%).

El tamaño máximo del árido y por tanto el tipo de mezcla a emplear, dependerá del espesor de la capa compactada, el cual, salvo indicación en contrario del Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, cumplirá lo indicado en las tablas 541.2 y 542.2 (tablas 2.3 y 2.4).

El tipo de mezcla a emplear dependerá del tráfico, de la posición de la capa en el firme y del tipo de firme (apéndice 1).

Para tráfico pesado, salvo indicación en contrario del Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, se utilizarán mezclas en caliente densas D, o semidensas S, en capas de rodadura; semidensas S, o gruesas G, en capas intermedias; y gruesas G, en capas de base.

Los huecos del esqueleto mineral varían fundamentalmente con la proporción y el tamaño máximo del árido grueso. Añadido el ligante y después de compactada la mezcla queda en la misma una proporción de huecos con aire. Según esta proporción las mezclas se consideran cerradas o abiertas, existiendo una gradación entre ambas según el tipo y la composición de la mezcla.

TABLA 2.1

CEDAZOS Y TAMICES UNE	TIPOS DE MEZCLAS EN CALIENTE												
	CERNIDO PONDERAL ACUMULADO (%)												
	Mezclas densas				Mezclas semidensas				Mezclas gruesas				
	D12	D20	D25	S12	S20	S25	G12	G20	G25	A12	A20	A25	
40			100			100			100				100
25		100	80-95		100	80-95		100	75-95		100		100
20	100	80-95	75-90	100	80-95	75-88	100	75-95	65-85	100	65-90	55-80	65-90
12,5	80-95	65-80	62-77	80-95	65-80	60-75	75-95	55-75	47-67	65-90	45-70	30-55	30-55
10	72-87	60-75	57-72	71-86	60-75	55-70	62-82	47-67	40-60	50-75	35-60	23-48	23-48
5	50-65	47-62	45-60	47-62	43-58	40-55	30-48	28-46	26-44	20-40	15-35	10-30	10-30
2,5		35-50			30-45			20-35			5-20		
0,63		18-30			15-25			8-20					
0,32		13-23			10-18			5-14					
0,16		7-15			6-13			3-9					
0,080		4-8			3-7			2-5					2-4
%Ligante bituminoso en peso respecto al árido (x)		4,0-6,0			3,5-5,5			3,0-5,0					2,5-4,5

(x) El contenido óptimo de ligante bituminoso se determinará mediante ensayos de laboratorio.

TABLA 2.2

TIPOS DE MEZCLAS EN FRIO

CEDAZOS Y TAMICES UNE	CERNIDO PONDERAL ACUMULADO (%)					
	Mezclas densas	Mezclas semidensas	Mezclas gruesas	Mezclas abiertas		
	DF12 DF20 DF25	SF12 SF20 SF25	GF12 GF20 GF25	AF12 AF20 AF25		
40	100	100	100	100	100	100
25	100 80-95	100 80-95	100 75-95	100 65-90		
20	100 80-95	100 80-95	100 75-95	100 65-90		
12,5	80-95	80-95	60-75 75-95	47-67 65-90	30-55	
10	60-75	60-75	47-67	35-60		
5	50-65 47-62 45-60	47-62 43-58 40-55	30-48 28-46 26-44	20-40 15-35 10-30		
2,5	35-50	30-45	20-35	5-20		
0,32	13-23	10-18	5-14			
0,080	3-8	2-7	1-5	0-4		
% Ligante bituminoso residual en peso respecto al árido (x)	4,0-5,5	3,5-5,0	3,0-4,5	2,5-4,0		

% Ligante bituminoso residual en peso respecto al árido (x)

(x) El contenido de ligante bituminoso óptimo se determinará mediante ensayos de laboratorio.

Ref : PG-3

TABLA 541.1

TABLA 2.3

MEZCLAS EN CALIENTE

<u>Espesor en cm de la capa compactada</u>	<u>Tipos de mezclas a emplear</u>
Menor o igual a 4	D, S, G, A, 12
Entre 4 y 6	D, S, G, A, 20
Mayor que 6	D, S, G, A, 25

Ref : PG-3

TABLA 542.2

TABLA 2.4

MEZCLAS EN FRIO

<u>Espesor en cm de la capa compactada</u>	<u>Tipos de mezclas a emplear</u>
Menor o igual a 4	DF, SF, GF, AF, 12
Entre 4 y 6	DF, SF, GF, AF, 20
Mayor que 6	DF, SF, GF, AF, 25

Ref PG-3

TABLA 541.2

2.2 MATERIALES

Los componentes empleados en la fabricación de las mezclas bituminosas son el ligante bituminoso, los áridos grueso y fino y el filler.

2.2.1 Ligantes bituminosos

Los ligantes que pueden emplearse en la fabricación de mezclas bituminosas son los siguientes:

Betunes asfálticos

Betunes fluidificados

Emulsiones asfálticas

Alquitranes

2.2.1.1 Definiciones

Betunes asfálticos.- Se definen los betunes asfálticos como los productos bituminosos sólidos o viscosos, naturales o preparados a partir de hidrocarburos naturales por destilación, oxidación o cracking, que contienen un tanto por ciento bajo de productos volátiles, poseen propiedades aglomerantes características y son esencialmente solubles en sulfuro de carbono.

Betunes fluidificados.- Se definen los betunes fluidificados como los productos resultantes de la incorporación a un betún asfáltico de fracciones líquidas, más o menos volátiles, procedentes de la destilación del petróleo.

Emulsiones asfálticas.- Se definen las emulsiones asfálticas como las suspensiones de pequeñas partículas de un producto asfáltico en agua o en una solución acuosa, con un agente emulsionante de carácter aniónico o catiónico, lo que determina la denominación de la emulsión.

Alquitranes.- Se definen los alquitranes para carreteras como los productos bituminosos, de viscosidad variable, preparados a partir del residuo bruto obtenido en la destilación destructiva del carbón a altas temperaturas.

2.2.1.2 Tipos de ligantes a emplear

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará el ligante bituminoso a emplear que, en general, estará incluido entre los que a continuación se indican:

Mezclas en caliente

BQ 58, BQ 62 y BQ 66 (apéndice 2).

B 20/30, B 40/50, B 60/70 y B 80/100 (apéndice 2).

Mezclas en frío

BQ 30 y BQ 38 (apéndice 2).

RC 1, RC 2, RC 3, MC 1, MC 2 y MC 3 (apéndice 2).

EAM 1, EAM 2, EAM f, EAL 1, ECM 1, ECL 1, ECL f (apéndice 2).

2.2.1.3 Adiciones

Podrá mejorarse el ligante elegido, mediante la adición de activantes, caucho, asfalto natural o cualquier otro producto sancionado por la experiencia. En tales casos, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares deberá establecer las especificaciones que tendrán que cumplir dichas adiciones y los productos resultantes. La dosificación y homogeneización de la adición se realizará siguiendo las instrucciones del Director de las obras, basadas en los resultados de los ensayos previamente realizados.

2.2.2 Áridos y filler

La materia mineral, árido grueso, árido fino y filler, constituye alrededor del 95% del peso de la mezcla, por lo que sus propiedades y características son de una importancia fundamental para la misma.

Los yacimientos y canteras presentan en sus frentes heterogeneidades y los procesos de extracción y machaqueo para la producción de los áridos introducen nuevos factores de variabilidad, todo lo cual contribuye a que la calidad de los áridos no sea homogénea, siendo por tanto necesario prestar la debida atención a esta variabilidad durante el control. Debido a esta influencia de los procesos de

explotación de las canteras y yacimientos en las características de los áridos comerciales, será estudiado el proceso de arranque, precibado, relaciones de machaqueo y clasificación, con el fin de lograr las mejores condiciones posibles del suministro en cuanto a calidad y homogeneidad.

Por otra parte, para paliar las heterogeneidades causadas por la segregación (separación de las partículas por tamaños) durante los acopios y manipulación, se recurre al suministro comercial de los áridos clasificados en tamaños lo más uniforme posible, siendo los tamaños más finos, por sus limitaciones de clasificación, los que presentan mayores problemas.

Estos materiales, de acuerdo con su tamaño y a efectos de dosificación, son clasificados por el PG-3 en las siguientes fracciones: árido grueso, árido fino y filler.

2.2.2.1 Arido grueso

Se define como arido grueso, la fracción del mismo que queda retenida en el tamiz 2,5 UNE.

Condiciones generales

El arido grueso procederá del machaqueo y trituración de piedra de cantera, o grava natural, en cuyo caso el rechazo del tamiz 5 UNE deberá contener como mínimo, un setenta y cinco por ciento (75%) en peso de elementos machacados que presenten dos (2) o mas caras de fractura.

El arido se compondrá de elementos limpios, sólidos y resistentes, de uniformidad razonable, exentos de polvo, suciedad, arcilla u otras materias extrañas.

Calidad

Salvo que el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares indique otro valor, *el coeficiente de desgaste medido por el ensayo de Los Angeles, según la Norma NLT-149/72, será inferior a treinta (30) en capas de base, y a veinticinco (25) en capas intermedias o de rodadura.*

En el coeficiente de desgaste determinado por medio del ensayo Los Angeles influyen además de la resistencia al impacto y a la atrición de la roca, la forma y el tamaño de las partículas. Por ello al realizar este ensayo deberá escogerse, dentro de las granulometrías recomendadas, aquella que comprenda el mayor número de tamaño de partículas que entren en la granulometría de la mezcla, y a ser posible con los áridos procedentes de la propia instalación que va a suministrarlos.

La falta de uniformidad en los resultados del ensayo de desgaste Los Angeles indica heterogeneidades del yacimiento y/o deficiencias en el funcionamiento de la instalación de machaqueo.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares señalará el valor mínimo del coeficiente de pulido acelerado del arido a emplear en capa de rodadura. Este valor será como mínimo de cuarenta y cinco centésimas (0,45) en carreteras para tráfico pesado, y de cuarenta centésimas (0,40) en los restantes casos. El coeficiente de pulido acelerado se determinará de acuerdo con las Normas NLT-174/72 y NLT-175/73.

La susceptibilidad de los áridos al pulimento es una de las características de mayor importancia desde el punto de vista de valorar la resistencia al deslizamiento de un pavimento bituminoso.

Debido al procedimiento de ensayo, y sobre todo a la forma de fabricación de las probetas, ha de prestarse la debida atención a la interpretación de los resultados y a su variabilidad, cuando el yacimiento contenga materiales de distinta naturaleza petrológica.

El índice de lajas de las distintas fracciones, determinado según la Norma NLT-354/74, será inferior a los límites indicados a continuación:

FRACCION	INDICE DE LAJAS
40 a 25 mm	Inferior a 40
25 a 20 mm	Inferior a 35
20 a 12,5 mm	Inferior a 35
12,5 a 10 mm	Inferior a 35
10 a 6,3 mm	Inferior a 35

En firmes sometidos a tráfico pesado, el Índice de Lajas deberá ser inferior a treinta (30).

La forma de las partículas ha de ser lo más cúbica posible, y la presencia de lascas y agujas debe ser vigilada, ya que las partículas con estas formas se parten y alteran la granulometría del árido y la estabilidad de la mezcla.

En la forma de las partículas influye, además de la naturaleza de la roca, el sistema empleado en el machaqueo.

La principal condición que favorece la obtención de áridos de forma cúbica es una relación de reducción baja en cada una de las etapas del machaqueo y la separación de las gravillas de forma inadecuada, junto con los finos de peor calidad producidos en el machaqueo primario, mediante un precibado adecuado.

Salvo que el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares especifique otra cosa, se considerará que la adhesividad es suficiente cuando, en mezclas abiertas, de los tipos A y A F de las tablas 542.1 (2.1) y 541.1 (2.2) respectivamente, el porcentaje ponderal del árido totalmente envuelto después del ensayo de inmersión en agua, según la Norma NLT-166/75, sea superior al noventa y cinco por ciento (95%), o cuando en los otros tipos de mezclas la pérdida de resistencia de las mismas, en el ensayo de inmersión-compresión, realizado de acuerdo con la Norma NLT-162/75, no rebase el veinticinco por ciento (25%).

Si la adhesividad no es suficiente, no se podrá utilizar el árido, salvo que el Director autorice el empleo de aditivos adecuados, especificando las condiciones de su utilización.

Podrá mejorarse la adhesividad del árido elegido mediante activantes o cualquier otro producto sancionado por la experiencia. En tales casos, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director, establecerá las especificaciones que tendrán que cumplir dichos aditivos y los productos resultantes.

La adhesividad de los áridos mezclados con un ligante bituminoso frente a la acción del agua, debe ser suficiente ya que de ella depende el que se mantenga la cohesión de la mezcla y por tanto se obtenga una estabilidad y comportamiento satisfactorio de la misma.

Siempre que sea posible, la mejor forma de valorar la adhesividad del ligante a los áridos es por medio del ensayo de inmersión-compresión, realizado con la mezcla proyectada, en condiciones de compactación similares a las exigidas en la

propia obra. Cuando esto no sea posible se recurrirá al ensayo de envuelta e inmersión en agua.

2.2.2.2 Arido fino

Se define como árido fino la fracción del árido que pasa por el tamiz 2,5 UNE y queda retenido en el tamiz 0,080 UNE.

El árido fino será arena procedente de machaqueo o una mezcla de ésta y arena natural. En este último caso el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares deberá señalar el porcentaje máximo de arena natural a emplear en la mezcla.

El árido se compondrá de elementos limpios, sólidos y resistentes, de uniformidad razonable, exentos de polvo, suciedad, arcilla u otras materias extrañas.

Calidad

El árido fino procedente de machaqueo se obtendrá de material cuyo coeficiente de desgaste Los Angeles cumpla las condiciones exigidas para el árido grueso.

Salvo que el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares especifique otra cosa, se admitirá que la adhesividad, medida de acuerdo con la Norma NLT-355/74, es suficiente cuando el índice de adhesividad de dicho ensayo sea superior a cuatro (4), o cuando en la mezcla, la pérdida de resistencia en el ensayo de inmersión-compresión, realizado de acuerdo con la Norma NLT-162/75 no pase del veinticinco por ciento (25%).

Si la adhesividad no es suficiente, no se podrá utilizar el árido, salvo que el Director autorice el empleo de un aditivo adecuado, definiendo las condiciones de su utilización.

Podrá mejorarse la adhesividad del árido elegido mediante activantes o cualquier otro producto sancionado por la experiencia. En tales casos, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director, deberán establecer las especificaciones que tendrán que cumplir dichos aditivos y los productos resultantes.

Las indicaciones generales y las específicas en cuanto a calidad, forma y adhesividad del árido grueso son de aplicación al árido fino, con el inconveniente de que su valoración directa presenta mayores dificultades. Es necesario prestar la mayor atención al control del árido fino, ya que todas las deficiencias en el proceso de extracción, machaqueo y suministro influyen más en la calidad y homogeneidad de este material.

Debe prestarse especial atención a las contaminaciones por materiales blandos, absorbentes, arcillosos, etc., a la forma de las partículas y a la segregación de los diferentes tamaños durante el manejo y acopio.

2.2.2.3 Filler

A efectos de dosificación, *se define como filler la fracción mineral que pasa por el tamiz 0,080 UNE.*

Condiciones generales

El filler procederá del machaqueo de los áridos o será de aportación como producto comercial o especialmente preparado para este fin.

Las proporciones del filler procedente de los áridos y del comercial de aportación se fijarán en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares. En carreteras con tráfico pesado, el filler para mezclas bituminosas en caliente, será totalmente de aportación en capas de rodadura y en capas intermedias, excluido el que queda inevitablemente unido a los áridos.

La proporción de filler natural que queda adherido a la superficie de los áridos y que no puede ser eliminado por el sistema de extracción de la instalación, varía normalmente entre el 1% y el 2%, dependiendo de la propia instalación, la naturaleza del árido, la producción y la mayor o menor humedad de los áridos.

La curva granulométrica del filler de recuperación o de aportación estará comprendida dentro de los siguientes límites:

TAMIZ UNE	CERNIDO PONDERAL ACUMULADO (%)
0,60	100
0,16	90-100
0,080	75-100

La densidad aparente del filler, determinada por medio del ensayo de sedimentación en tolueno según la Norma NLT-176/74, estará comprendida entre cinco décimas de gramo por centímetro cúbico (0,5 g/cm³) y ocho décimas de gramo por centímetro cúbico (0,8 g/cm³).

La densidad aparente de un filler en tolueno es una medida de su finura, estando relacionada con su mayor o menor actividad desde el punto de vista de estabilización del ligante en el sistema filler-betún. Los límites fijados de 0,5 a 0,8 g/cm³ corresponden a una actividad media normal y los valores superiores o inferiores a estos límites indican una actividad baja o alta respectivamente.

El coeficiente de emulsibilidad, determinado según la Norma NLT-180/74 será inferior a seis décimas (0,6).

Aunque el fundamento teórico del coeficiente de emulsibilidad está bien establecido, la realidad es que se trata de un ensayo en cuya realización e interpretación influye el factor personal, estando sujeto además a diversos factores que le hacen en ocasiones poco preciso y reproducible.

En caso de duda se deben comprobar los resultados mediante el ensayo de inmersión-compresión.

La importancia del filler como componente de las mezclas bituminosas es grande y tanto si el empleado es natural como de aportación deberá ser objeto de un cuidadoso control durante el suministro y fabricación de la mezcla.

2.2.2.4 Mezcla de áridos

Plasticidad

Salvo que el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares indique otro valor, *la mezcla de árido grueso, fino y filler en las proporciones establecidas, tendrá un equivalente de arena, determinado según la Norma NLT-113/72, superior a cuarenta (40) para capas de base o superior a cuarenta y cinco (45) para capas intermedias o de rodadura.*

En el caso de mezclas en caliente la determinación se hará de la mezcla de áridos en frío y antes de la entrada en el secador.

Densidad relativa y absorción

El contenido de huecos de una mezcla bituminosa compactada es uno de los factores más importantes en su comportamiento futuro determinando en gran parte su durabilidad y resistencia mecánica. Para su cálculo se emplea la densidad relativa de los materiales, pero la existencia de absorción hace que, en el caso de los áridos, la determinación no sea lo suficientemente correcta para su aplicación al cálculo de huecos, sobre todo cuando exista una absorción diferencial acusada entre el agua y el ligante bituminoso; como ocurre la mayoría de las veces. Existen varios procedimientos para la determinación de la densidad relativa de los áridos, siendo la diferencia fundamental entre ellos el valor determinado para el volumen de material, lo cual tiene como consecuencia el que se obtenga, con cada uno de ellos, densidades relativas diferentes para un mismo tipo de árido (fig. 2.1 y tabla 2.5).

Los procedimientos más corrientes de que se dispone para determinar la densidad de los áridos para su empleo en el cálculo de huecos de mezclas bituminosas se indican en la tabla 2.5, junto con un breve resumen de sus principales características.

Como regla general, lo más recomendable es la determinación de la densidad relativa en aceite de parafina, con la mezcla total de áridos y filler, según la Norma NLT-167/74. Si se desea conocer la absorción diferencial, el mismo procedimiento de la Norma puede repetirse empleando agua en vez de aceite de parafina.

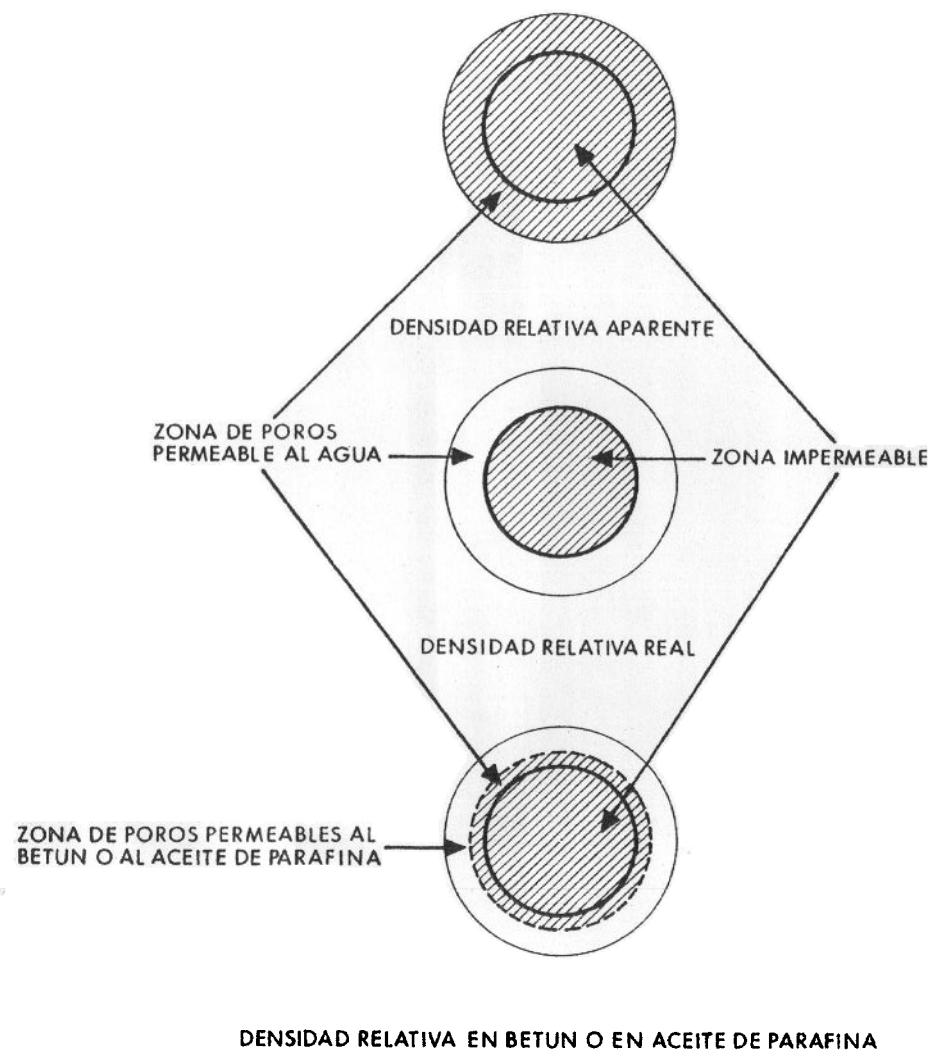


Fig. 2.1 VOLUMENES DETERMINADOS POR CADA PROCEDIMIENTO

TABLA 2.5

DENOMINACION	VOLUMEN QUE DETERMINA	INCONVENIENTES	VENTAJAS
Densidad relativa aparente árido seco NLT-153 y 154	Volumen geométrico de las partículas incluido al volumen de todos los poros permeables al agua.	Dificultad del secado superficial para conseguir el estado saturado superficie seca. Tamaño de las partículas. Granulometría. Naturaleza. Contenido de filler. Tipo de filler. Diferente procedimiento para el árido grueso, fino y filler.	Muy pocas
Densidad relativa real NLT-153 y 154	El volumen incluye solamente la parte sólida e impermeable al agua.	El agua no penetra en la misma porción que el betún. Diferente procedimiento para árido grueso, fino y filler.	Es bastante exacto desde el punto de vista experimental.
Peso específico áridos impregnados en betún. NLT-167/63 No normalizado actualmente.	Incluye la parte sólida impermeable y poros permeables al agua pero con diferente permeabilidad al betún.	Largo y engorroso. Temperatura insuficiente. Dificultad de eliminar el aire. Difícil observación.	Sería el más lógico si se pudiera determinar bien experimentalmente.
Densidad relativa en aceite de parafina. NLT-167/74	Incluye la parte sólida impermeable y poros permeables al agua pero con diferente permeabilidad al aceite de parafina.	No se han observado inconvenientes importantes.	De fácil realización. reproducibilidad y observación. Se puede realizar de una vez la mezcla con áridos y filler.

3. ESTUDIO PREVIO DE LOS MATERIALES Y SU DOSIFICACION EN LABORATORIO

3.1 CONSIDERACIONES GENERALES

En el proyecto y dosificación de una mezcla bituminosa existe una gama de posibles soluciones, que hacen necesario un estudio detenido y profundo para elegir la más adecuada teniendo en cuenta las consideraciones de tipo técnico y económico del caso concreto que se pretende resolver.

Son muchos los factores a tener en cuenta en la selección y proyecto de una mezcla bituminosa: tráfico previsto, estructura general del firme, condiciones del drenaje, materiales disponibles, características climáticas, topografía del terreno y consideraciones económicas. La clave para conseguir una buena mezcla bituminosa está pues en la adecuada selección de todos los materiales y su dosificación, teniendo en cuenta cada uno de los factores mencionados.

La Norma 6.1—I.C. para Firmes Flexibles, del Ministerio de O.P. tiene por objeto facilitar la labor del ingeniero que ha de proyectar firmes flexibles teniendo en cuenta las consideraciones anteriores. La Norma está prevista para el proyecto de nuevas carreteras estatales o la reconstrucción total de firmes existentes, aunque sus recomendaciones pueden ser aplicadas a otros casos, todo ello de acuerdo con las siguientes reglas:

a) Tipo de mezclas bituminosas según su composición granulométrica.

Salvo justificación en contrario, el tipo de mezcla bituminosa a emplear en función de:

- la capa de firme a que se destine
- la categoría del tráfico (apéndice 1, tabla 2)
- el grupo estructural del firme

será fijado de acuerdo con las tablas 4 y 5 (apéndice 1)

b) Tipo de betún asfáltico.

El tipo de betún asfáltico a emplear, o la penetración del betún residual en el caso de betunes fluidificados o emulsiones asfálticas dependerá de:

- la capa de firme a que se destine la mezcla
- la categoría del tráfico (apéndice 1, tabla 2)
- la zona térmica estival en que se encuentre la carretera (apéndice 1, fig. 2).

Salvo justificación en contrario, el tipo de ligante será el fijado en la Tabla 6 (apéndice 1).

c) Tipo de filler

Según la categoría del tráfico y la capa a que se destine la mezcla, el filler a emplear recuperado de los áridos, o comercial de aportación (excluido el que quede inevitablemente adherido a los áridos), será el indicado en la Tabla 7 (apéndice 1), salvo justificación en contrario.

d) Relación filler-betún

La relación ponderal de los contenidos de filler y betún de la mezcla bituminosa, dependerá de:

- la capa de firme a que se destine la mezcla,
- la categoría del tráfico (apéndice 1, tabla 2),
- la zona térmica estival en que se encuentre la carretera (apéndice 1, fig. 2).

y, salvo justificación en contrario, será la indicada en la Tabla 8 (apéndice 1).

En los apartados que siguen se desarrolla un ejemplo de dosificación de una mezcla bituminosa aplicando todas estas consideraciones.

3.2 ESTUDIO PREVIO DE LOS MATERIALES

Antes del comienzo de la obra, será necesario realizar un estudio previo de los materiales que se van a emplear, basándose en las exigencias del PG-3 y del Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

Estos requisitos será necesario considerarlos como mínimos a exigir a la calidad de los materiales. Normalmente en el Proyecto se habrán fijado unas posibles fuentes de suministros, basándose en el Estudio de materiales realizado.

Una vez adjudicada la obra, la Contrata podrá proponer a la Administración otras fuentes de suministro diferentes de las indicadas en el proyecto, siempre que los materiales cumplan las condiciones de calidad exigidas en el Contrato.

En cualquier caso, existe una operación previa de aceptación de los materiales a emplear basándose en los estudios realizados por el Laboratorio Regional correspondiente.

Esta operación previa deberá realizarse, siempre que sea posible, sobre los materiales tal y como van a ser suministrados a la obra

3.2.1 Estudio de los áridos y del filler

Cuando los materiales procedan de una instalación fija en funcionamiento, el estudio previo de los áridos y del filler procedente de los áridos no presenta otro problema que el de una buena toma de muestras.

En el caso de que el yacimiento y la instalación de machaqueo se vayan a explotar expreso para la obra, el montaje de la instalación no se realizará normalmente hasta no haberse aceptado la calidad del yacimiento.

En este caso, la aceptación del material presenta problemas adicionales.

En primer lugar el laboratorio recibirá generalmente piedra en rama, que deberá transformar en áridos en sus propias instalaciones de machaqueo.

Para que la toma de muestras de un frente de cantera sea representativa habrá de tomarse el máximo de precauciones y comparar los resultados obtenidos con los que se disponga en archivo, en el caso de haber estado funcionando el yacimiento.

Además la calidad del árido está afectada por el proceso empleado en su preparación, sobre todo en lo que se refiere a la forma y a los contaminaciones, y de una manera indirecta al coeficiente de desgaste Los Angeles.

Por ello en estos casos es especialmente recomendable la realización de una inspección de la cantera y una buena toma de muestras, realizando los ensayos con los áridos preparados en el laboratorio para una aceptación provisional, pendiente de que una vez la cantera en proceso de producción, se vuelvan a realizar los ensayos con los áridos realmente obtenidos en la instalación.

De ser posible, un medio de paliar parte de estos inconvenientes es machacar unos camiones de piedra en rama en una instalación industrial, de tipo similar a la que se va a emplear y realizar los ensayos con los áridos así obtenidos.

En todo caso, la calidad del árido fino y del filler precedente de los áridos estará pendiente de aceptación hasta que se disponga de los materiales que realmente se vayan a emplear.

Cuando se vaya a emplear arena natural, los ensayos de calidad se realizarán sobre muestras representativas del yacimiento.

En el caso de ser necesario emplear filler comercial de aportación los ensayos se realizarán sobre muestras de la fábrica que va a suministrarlo a la obra.

3.2.2 Ligante bituminoso y adiciones

El ensayo previo de la calidad del ligante se realizará sobre una muestra procedente de la empresa encargada del suministro a la obra.

En el caso de emplear adiciones, éstas procederán asimismo de la empresa encargada del suministro, la cual dará por escrito sus recomendaciones sobre el empleo del material.

3.3 DOSIFICACION DE LA MEZCLA BITUMINOSA EN EL LABORATORIO

Después de aceptados los materiales, y una vez haya comenzado el proceso de producción de los áridos, se enviarán al Laboratorio Regional muestras representativas de los distintos materiales y, si se dispone, de los resultados del control del acopio de los áridos, realizado por el método de las medias móviles (apéndice 4), a fin de poder determinar las granulometrías representativas.

Con estos datos y las muestras de los distintos materiales a emplear se procederá a realizar la dosificación de la mezcla bituminosa en el laboratorio, con el fin de comprobar si es posible conseguir las características exigidas en el PG-3 y en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

Este estudio de mezcla en el laboratorio será la base para la obtención de la fórmula de trabajo en obra, al mismo tiempo que permite, con los medios más idóneos de que dispone el Laboratorio Regional, obtener una información complementaria sobre la adhesividad mediante el ensayo de la susceptibilidad de la mezcla proyectada a la acción del agua y, si se dispone de la Máquina de Ensayo en Pista, de la susceptibilidad a la deformación plástica a altas temperaturas de servicio.

Todos estos datos recogidos en el Informe del laboratorio permitirán al Equipo de Control estudiar más correctamente la Fórmula de Trabajo.

Con objeto de estudiar todos los pasos necesarios para la dosificación de una mezcla bituminosa, supongamos que se trata de proyectar una mezcla semidensa tipo S 20 para una capa de rodadura de 6 cm de espesor sobre capa intermedia bituminosa, para tráfico pesado y en una zona térmica estival de tipo cálido.

3.3.1 Dosificación de los áridos

Como ya se ha indicado anteriormente, los áridos suministrados al laboratorio para la dosificación de la mezcla bituminosa deberán ser suficientemente representativos de los áridos acopiados en obra, de tal manera que sus granulometrías entren en los límites establecidos para las medias móviles determinadas según se detalla en el apéndice 4.

En el estudio de laboratorio se parte, bien de las medias móviles si se dispone de ellas, o de las granulometrías de los áridos suministrados en las condiciones anteriores, a partir de las cuales se determinan las proporciones de los mismos para obtener una granulometría combinada que entre dentro del huso exigido.

Para la dosificación de la mezcla que se ha supuesto que se quiere proyectar, se ha partido de tres tipos de áridos: gravilla gruesa, gravilla fina y arena de machaqueo, así como cemento P-350 como filler de aportación, cuyas granulometrías por lavado son las siguientes:

TAMICES	CERNIDO PONDERAL ACUMULADO (%)				
	UNE	Gravilla gruesa	Gravilla fina	Arena de machaqueo	Filler
25	100	100	100	100	100
20	47	100	100	100	100
12,5	8	100	100	100	100
10	1	83	100	100	100
5		8	100	100	100
2,5		2	82	100	100
0,63			38	100	100
0,32			21	100	100
0,16			15	93	93
0,080			6	84	84

3.3.1.1 Tanteo inicial de la dosificación de los áridos

La curva granulométrica de la mezcla de áridos se ajustará, en principio, a la media del huso exigido, para lo cual se comenzará realizando un tanteo para encontrar las proporciones de cada uno de los materiales que permitan reproducir esta curva.

Este tanteo inicial puede realizarse por cualquiera de los procedimientos siguientes:

Procedimiento deductivo.

Cuando se dispone de suficiente experiencia, este método es el más rápido para encontrar las proporciones necesarias para conseguir la granulometría deseada.

Se dibuja en un gráfico granulométrico la media del huso especificado y las curvas granulométricas de los áridos de que se dispone.

Si los áridos están bien clasificados y no tienen zonas de solape importantes entre ellos, se pueden hacer deducciones respecto a las proporciones en que intervienen los distintos áridos, tomando como base las partes de las curvas más representativas del conjunto del material.

Según la media del huso elegido (fig. 3.1), por el tamiz 0,080 UNE debe pasar un 5 %, que debe ser suministrado fundamentalmente por el filler. La proporción del filler, en principio, es por tanto 5 %.

De la misma manera, puede observarse que por el tamiz 5 UNE debe pasar un 50,5% de material, proporcionado fundamentalmente por la arena de machaqueo más el filler.

Entonces:

$$50,5\% = \% \text{arena de machaqueo} + \% \text{filler} =$$

$$= \% \text{arena de machaqueo} + 5\% \text{ filler}$$

luego:

$$\% \text{de arena de machaqueo} = 50,5\% - 5\% = 45,5\% \approx 45\%$$

Asimismo por el tamiz 12,5 UNE debe pasar un 72,5% de material, procedente en este caso de la suma de la gravilla fina, la arena de machaqueo y el filler, con lo que tendremos:

$$72,5\% = \% \text{gravilla fina} + \% \text{arena de machaqueo} + \% \text{filler} =$$

$$= \% \text{gravilla fina} + 45\% + 5\% =$$

$$= \% \text{gravilla fina} + 50\%$$

luego:

$$\% \text{gravilla fina} = 72,5 - 50 = 22,5\% \approx 23\%$$

La proporción de gravilla gruesa será, por tanto, para el primer tanteo:

$$100\% - (\% \text{gravilla fina} + \% \text{arena de machaqueo} + \% \text{filler}) =$$

$$= 100\% - (23\% + 45\% + 5\%) = 100\% - 73\%$$

$$\% \text{ gravilla gruesa} = 27\%$$

Las proporciones de este primer tanteo son por tanto:

Gravilla gruesa	27 %
Gravilla fina	23 %
Arena de Machaqueo	45 %
Filler	5 %

Procedimiento gráfico

Estos procedimientos son más útiles cuando existe un solape importante en las curvas granulométricas de los áridos, pero tienen el inconveniente de ser mucho más lentos. El método de Rothfuchs que se expone aquí tiene la ventaja sobre otros métodos gráficos de que permite la dosificación de un mayor número de áridos que por otros procedimientos.

En este caso se comienza dibujando en un papel milimetrado una recta que sea la diagonal de un rectángulo de unos 10 x 20 cm (fig. 3.2) que representa la granulometría deseada, de acuerdo con las instrucciones que se indican a continuación.

En el eje de ordenadas se pone una escala lineal de cernidos ponderales acumulados y en el de abscisas se sitúan los tamices, tomando como referencia los cernidos ponderales acumulados para cada uno de ellos, de acuerdo con la granulometría deseada y representada por la diagonal trazada.

Empleando estas escalas, se dibujan entonces las curvas granulométricas de los áridos de que se dispone.

Con una plantilla transparente se dibujan las líneas rectas que más se aproximen a las curvas granulométricas de los áridos, teniendo en cuenta que la suma de las áreas comprendidas entre la recta y las curvas granulométricas debe ser mínima, y que las zonas comprendidas a ambos lados de la recta deben ser aproximadamente iguales.

Se unen los extremos opuestos de estas rectas así dibujadas y los puntos de intersección con la diagonal, que representa la granulometría deseada, nos darán las proporciones de cada árido.

Las proporciones obtenidas por este procedimiento son:

Gravilla gruesa	27 %
Gravilla fina	25 %
Arena de machaqueo	43 %
Filler	5 %

que como puede observarse son muy semejantes a las del procedimiento deductivo.

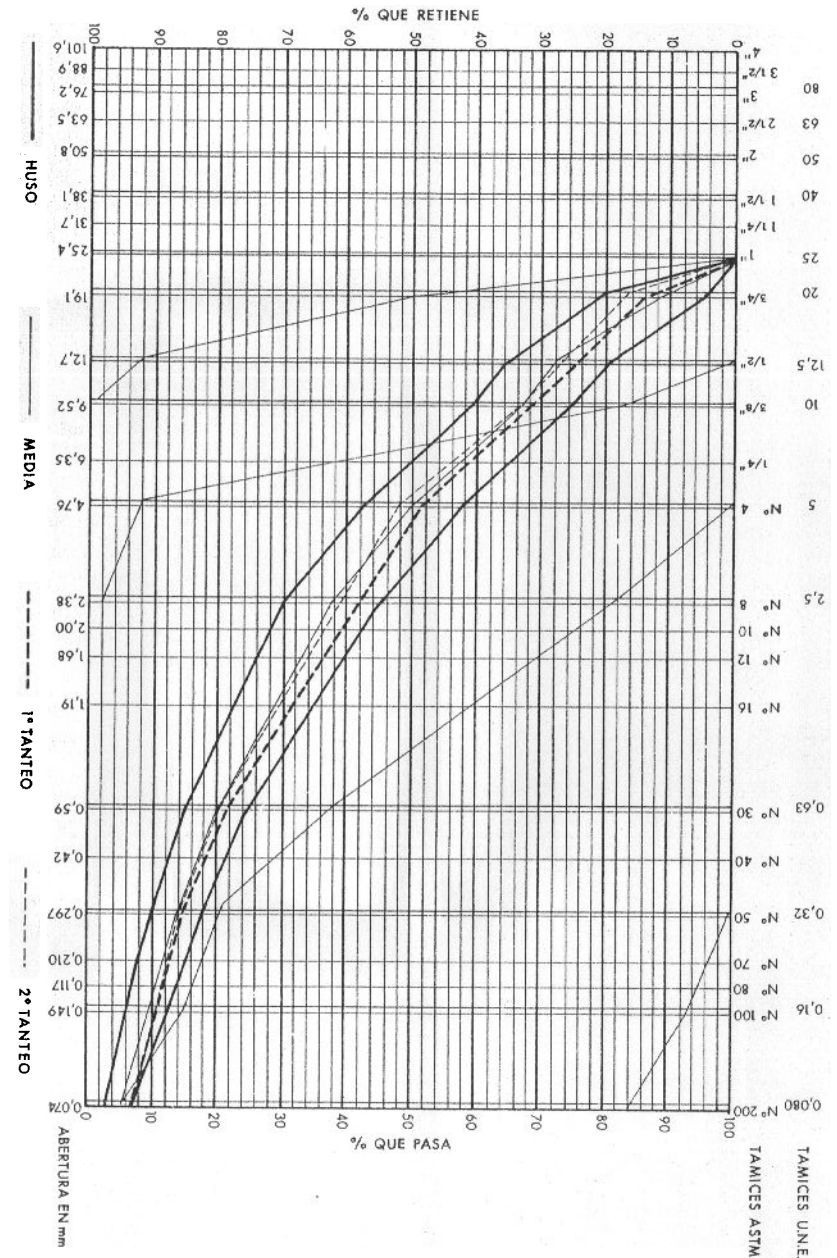


Fig. 3.1 CURVAS GRANULOMETRICAS (T anteos)

3.3.1.2 Ajuste de la dosificación de áridos

Una vez obtenidas las proporciones de cada árido por el tanteo inicial, se procede al ajuste de la dosificación por tanteos sucesivos hasta obtener la composición definitiva, de acuerdo con el siguiente procedimiento:

Se confecciona una tabla en la que se anotan, debajo de los tamices correspondientes, los cernidos ponderales acumulados de la media del huso especificado que sirve de referencia, y los de los distintos áridos y filler de que se dispone para dosificar la mezcla. Estos datos sirven para calcular los tanteos necesarios y comparar la granulometría obtenida con la de la media del huso, o con la que se trata de conseguir.

Para realizar el primer cálculo se parte de las proporciones determinadas en el tanteo inicial.

Cada árido contribuye a la granulometría de la mezcla, o sea al cernido ponderal acumulado por cada tamiz, con una cantidad que se calcula multiplicando la proporción en que interviene, expresada en tanto por uno, por el cernido ponderal acumulado correspondiente a dicho tamiz en la curva granulométrica del árido.

Operando de esta forma se van rellenando las columnas correspondientes. La granulometría de la mezcla dosificada con estas proporciones se obtiene sumando cada una de las columnas y se compara con la que se trata de conseguir.

Esta comparación sugerirá si es preciso realizar modificaciones, volviéndose a calcular, en caso afirmativo, la granulometría resultante con las nuevas proporciones siguiendo el mismo procedimiento. Esta operación se realizará las veces necesarias hasta que se obtenga la granulometría más adecuada, teniendo en cuenta las características particulares de la mezcla que se quiere proyectar.

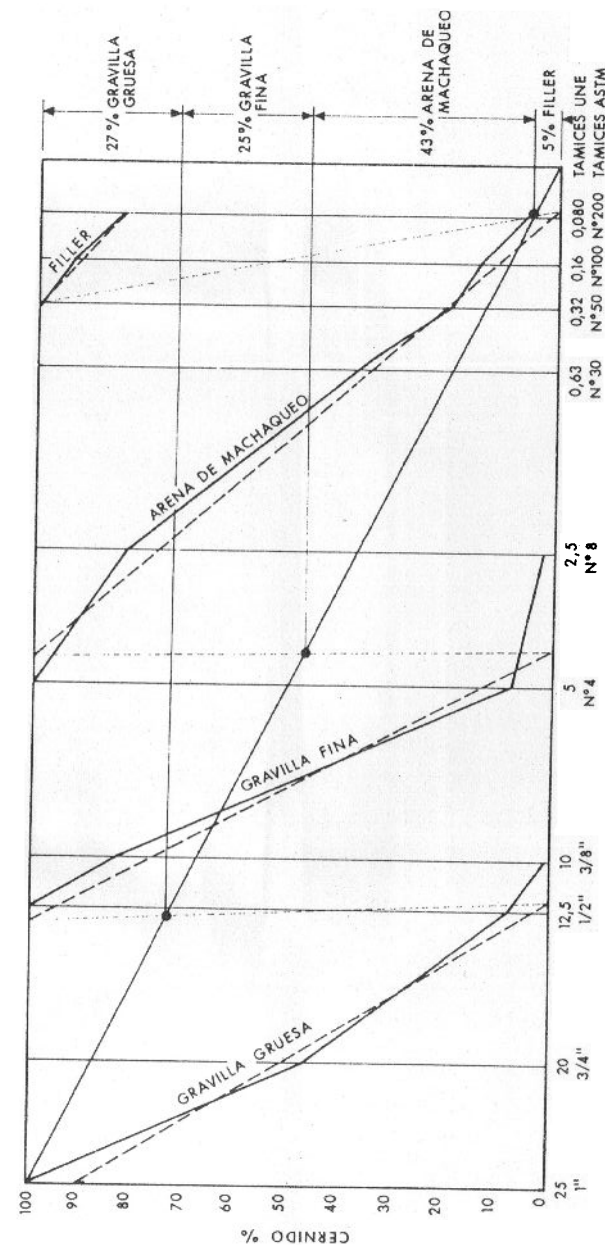


Fig. 3.2 PROCEDIMIENTO GRAFICO

CERNIDO PONDERAL ACUMULADO (%)

Tamices UNE	25	20	12,5	10	5	2,5	0,63	0,32	0,16	0,080
HUSO (Tipo S 20)	100	80/95	65/80	60/75	43/58	30/45	15/25	10/18	6/13	3/7
MEDIA DEL HUSO	100	87,5	72,5	67,5	50,5	37,5	20	14	9,5	5

Granulometría de los áridos

Gravilla gruesa	100	47	8	1						
Gravilla fina	100	100	100	83	8	2				
Arena machaqueo	100	100	100	100	100	82	38	21	15	6
Filler	100	100	100	100	100	100	100	100	93	83

Primer Tanteo %

Gravilla gruesa	27	27	12,7	2,2	0,3					
Gravilla fina	23	23	23,0	23,0	19,1	1,8	0,5			
Arena machaqueo	45	45	45,0	45,0	45,0	45,0	36,9	17,1	9,4	6,7
Filler	5	5	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	4,6
TOTAL	100	100	85,7	75,2	69,4	51,8	42,4	22,1	14,4	11,3

Segundo Tanteo %

Gravilla gruesa	29	29	13,8	2,3	0,3					
Gravilla fina	25	25	25,0	25,0	20,7	2,0	0,5			
Arena machaqueo	41	41	41,0	41,0	41,0	41,0	33,6	15,6	8,6	6,1
Filler	5	5	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	4,6
TOTAL	100	100	84,8	73,3	67,0	48,0	39,1	20,6	13,6	10,7

En nuestro ejemplo, en el que se pretende conseguir la media del huso, con el primer tanteo obtenido por el procedimiento deductivo, representado en la figura 3.1, puede verse:

— que en ninguno de los tamices se ha conseguido el valor correspondiente a la media del huso,

— que, excepto en el tamiz 20 UNE, la mezcla obtenida es más fina, dando unos valores para cada tamiz superiores a los que se pretendía, siendo en el tamiz 0,080 UNE prácticamente igual al límite superior del huso.

Para tratar de mejorar esta situación en el segundo tanteo hay que tener en cuenta, a la vista de las granulometrías de los diferentes áridos, qué fracciones influyen y en qué proporción, en los valores correspondientes a cada tamiz considerado.

El exceso de finos a partir del tamiz 5 UNE, solamente se puede reducir disminuyendo la arena de machaqueo y el filler. Ahora bien, teniendo en cuenta que en la mezcla que se pretende dosificar se necesita una relación filler/betún alta y que el filler debe ser de aportación, conviene mantener para éste el valor fijado y disminuir el porcentaje de arena de machaqueo.

Lo que se ha suprimido de arena de machaqueo se distribuye entre las dos gravillas teniendo en cuenta lo que puede aportar cada una y el efecto corrector que se quiere conseguir.

Según este razonamiento se realiza un segundo tanteo con estas proporciones:

Gravilla gruesa	29 %
Gravilla fina	25 %
Arena de machaqueo	41 %
Filler	5 %

para lo cual se vuelven a calcular los cernidos ponderales acumulados con que contribuyen los áridos en estas proporciones. Se suman de nuevo las columnas correspondientes y se obtiene la granulometría total de la mezcla para este segundo tanteo.

Al compararla con la granulometría que se pretendía obtener puede observarse en la figura 3.1, que queda ajustada con suficiente aproximación, sobre todo si se tiene en cuenta que lo que se persigue es encajar una curva en el huso especificado, de acuerdo con las condiciones particulares de la mezcla que se proyecta y de las disponibilidades de los diferentes materiales, de tal manera que sea compatible la buena calidad de la mezcla con la manera más económica de conseguirla.

Por tanto, esta última combinación puede aceptarse como correcta para la dosificación de los áridos, procediéndose con ella a la fase siguiente de la dosificación del contenido óptimo de ligante.

Como comentario final al problema de la dosificación de los áridos puede decirse que el análisis de las curvas granulométricas es de gran utilidad para ajustar el contenido de huecos de una mezcla bituminosa. Cuando se representan estas curvas en un gráfico de tipo convencional como el de la figura 3.1, las curvas de máxima densidad, tal como las que se determinan por la fórmula de Fuller, son cóncavas. Las mezclas bituminosas que responden a este tipo de curvas suelen ser manejables y pueden compactarse fácilmente desarrollando una estabilidad alta. Sin embargo el contenido de huecos puede ser demasiado bajo, por lo que sería necesario variar los porcentajes de árido fino y grueso para aumentar los huecos. Las mezclas con curvas granulométricas convexas tienen un mayor contenido de huecos para un porcentaje normal de ligante, por lo que son difíciles de manejar y compactar, pudiendo desarrollar además una estabilidad baja.

Una forma de representación de la granulometría que presenta ventajas para el estudio de la granulometría de los áridos, es aquella en que se sustituye en el eje de abscisas la representación tradicional de la abertura del tamiz en escala logarítmica, por la abertura del tamiz elevado al exponente 0,45.

En este sistema de representación las líneas que unen el origen de coordenadas (tamiz de abertura teórica igual a 0) con cualquiera de los puntos de ordenada igual a 100, representan una serie de granulometrías de máxima compacidad o, lo que es lo mismo, de un contenido mínimo de huecos del esqueleto mineral.

La ventaja de este sistema de representación con respecto al que se viene utilizando normalmente, estriba en el hecho de que al comparar la curva granulométrica en estudio con la recta de máxima densidad se puede apreciar a simple vista si se aproxima o no al valor mínimo de huecos del esqueleto mineral. Cuanto más se aleje una curva, por encima o por debajo, de la recta de máxima compacidad, mayor será el volumen de huecos en áridos de la mezcla considerada.

Aunque cualquier forma de separarse de la recta de máxima compacidad origina una elevación del contenido de huecos en áridos, no se puede afirmar, en general, que éste sea proporcional al área comprendida entre la recta y la curva estudiada, puesto que tiene especial influencia la zona de la curva donde se produce la separación.

Desde un punto de vista práctico, para la utilización de esta representación es conveniente tener en cuenta las siguientes reglas:

- a) A efectos de comparar la granulometría en estudio con la máxima compacidad correspondiente, se unirá el origen de coordenadas (punto 0 del diagrama) con el punto en el que la granulometría considerada corta a la abscisa correspondiente al tamiz de la serie empleada en el que comienza a retenerse material.
- b) Modificaciones sustanciales del volumen de huecos se corrigen variando el porcentaje de filler con las limitaciones implícitas para conseguir mantenerse dentro del huso y una relación filler/betún adecuada.
- c) Un porcentaje mayor o menor de árido grueso respecto al de máxima compacidad proporciona asimismo variaciones apreciables en el volumen de huecos, con las limitaciones del huso granulométrico y de la textura que se quiere conseguir.
- d) Un aumento de la fracción del árido fino comprendido entre los tamices 0,63 y 0,080 UNE proporciona un aumento de los huecos. Como para conseguir esto generalmente hay que emplear arena natural, puede originarse una disminución de la estabilidad.
- e) En la mayoría de los casos, será necesario recurrir a una combinación de estas posibilidades de acuerdo con la granulometría de la mezcla y sus características.

Como resumen puede decirse que en la práctica estos reajustes han de realizarse fundamentalmente variando las proporciones correspondientes a los tamices 2,5, 0,63 y 0,080 UNE.

3.3.2 Dosificación del ligante

Una vez ajustada la dosificación de los áridos es necesario determinar cual es el porcentaje de ligante que proporciona a la mezcla las óptimas características mecánicas necesarias para el proyecto considerado.

En las mezclas bituminosas en caliente el contenido de ligante de las mezclas densas, semidensas y gruesas, tipos D, S y G se dosificará, salvo justificación en contrario, siguiendo el método Marshall de acuerdo con los criterios indicados en la tabla 542.3 y la Norma NLT-159/75 (tabla 3.1).

TABLA 3.1 (Ref. PG-3; 542.3)

CRITERIOS DE PROYECTO DE MEZCLAS POR EL METODO MARSHALL (NLT-159/75)

CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA	UNIDAD EMPLEADA	TRAFICO					
		PESADO		MEDIO		LIGERO	
		MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.
Número de golpes en cada cara		75		75		75	
Estabilidad	kgf.	1000*		750		500	
Deformación	mm	2	3,5	2	3,5	2	4
Huecos en mezcla	%						
Capa de rodadura		3**	5	3	5	3	5
Capa Intermedia		3**	6	3	8	3	8
Capa de base		3	8	3	8	3	8
Huecos en árido	%						
Mezclas D,S,G,12		15		15		15	
Mezclas D,S,G,20		14		14		14	
Mezclas D,S,G,25		13		13		13	

* En el caso de capas de base este valor será 750 kgf.

** Valor mínimo deseable 4%

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ABERTURA TAMIZ 0,45)

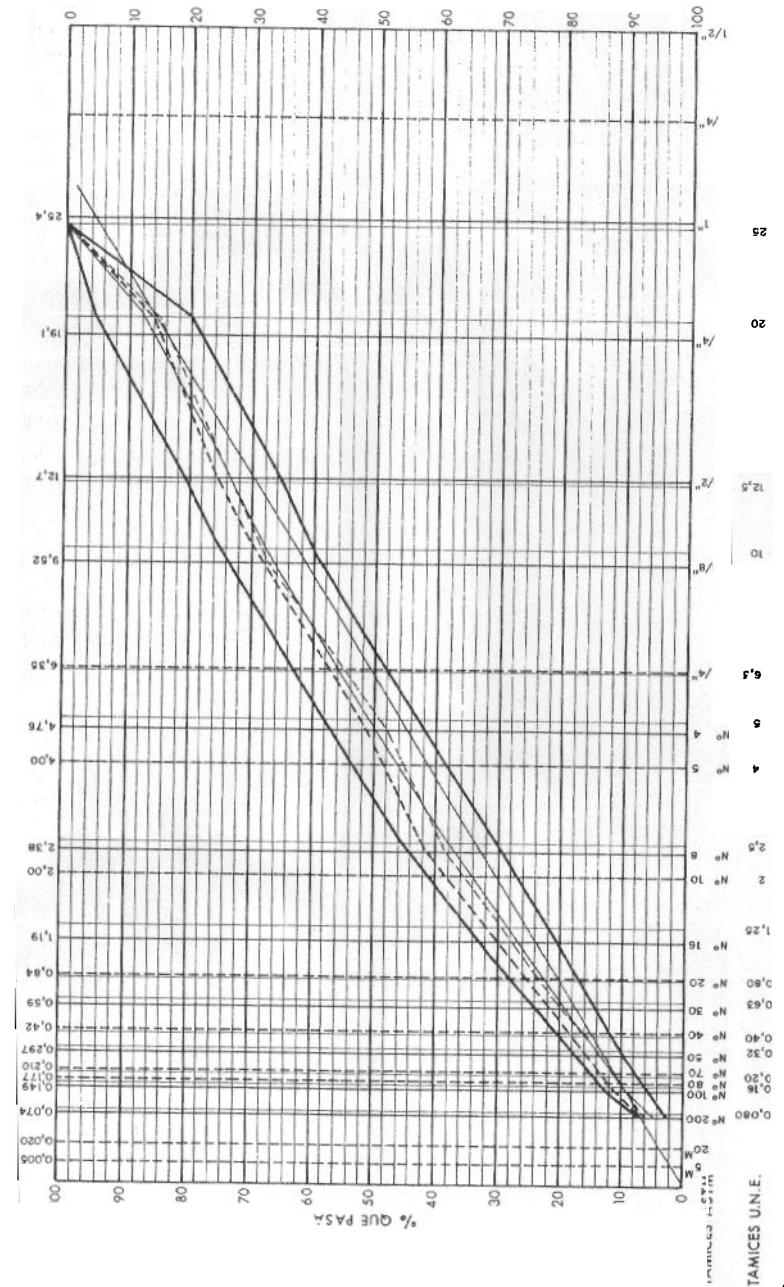


Fig. 3.3

Por tanto, se realiza el ensayo Marshall con la mezcla de áridos calculada empleando un betún asfáltico B 40/50, que es el tipo exigido para una zona térmica estival cálida para tráfico pesado. Se representan los resultados obtenidos en los gráficos correspondientes y se determina la proporción óptima de ligante (fig. 3.4).

El criterio más generalizado hasta ahora, del Instituto del Asfalto, suele dar contenidos óptimos de ligante elevados, seguramente debido a que el máximo de densidad se halla desplazado excesivamente a la derecha. Por otra parte, dado el problema que plantea operar con la curva de estabilidades en muchas ocasiones, es aconsejable prescindir inicialmente del criterio basado en la estabilidad máxima ya que, en cualquier caso, las estabilidades van a ser suficientes respecto a las exigencias del PG-3.

La curva de huecos en árido-porcentaje de ligante es de gran utilidad para iniciar la determinación del contenido óptimo de ligante. Se consideran inadecuadas las curvas que presentan grandes pendientes, lo que indica una fuerte susceptibilidad a las variaciones del contenido de ligante o bien las que siendo relativamente planas, se hallan próximas, por encima o por debajo, al valor de la especificación.

Si de la observación de la curva huecos en áridos-porcentaje de ligante se manifiesta una clara dificultad para entrar en especificación, se desechará la granulometría ensayada iniciando nuevos tanteos hasta conseguir una curva aceptable, basándose en lo expuesto al final del apartado 3.3.1.2.

Una vez considerada aceptable la curva de huecos en áridos, se tomará como dato fundamental de partida el valor de huecos en mezcla que se crea más adecuado, el cual fijará un contenido de ligante.

Con dicho contenido de ligante se comprobará si se cumplen las condiciones de deformación y huecos en áridos, teniendo en cuenta que este último debe corresponder a la rama descendente de la curva y estar suficientemente alejado del valor mínimo. Posteriormente se comprobará que la estabilidad es suficiente y que la relación filler/betún es adecuada.

Fijado ya el contenido óptimo de ligante, se determinan todos los parámetros del ensayo Marshall. Si se quieren confirmar estos valores es conveniente la realización de 6 nuevas probetas con el contenido óptimo de ligante determinado.

REPRESENTACION GRAFICA DE LOS RESULTADOS TANTO POR CIENTO DEL LIGANTE REFERIDO AL PESO DE ARIDO

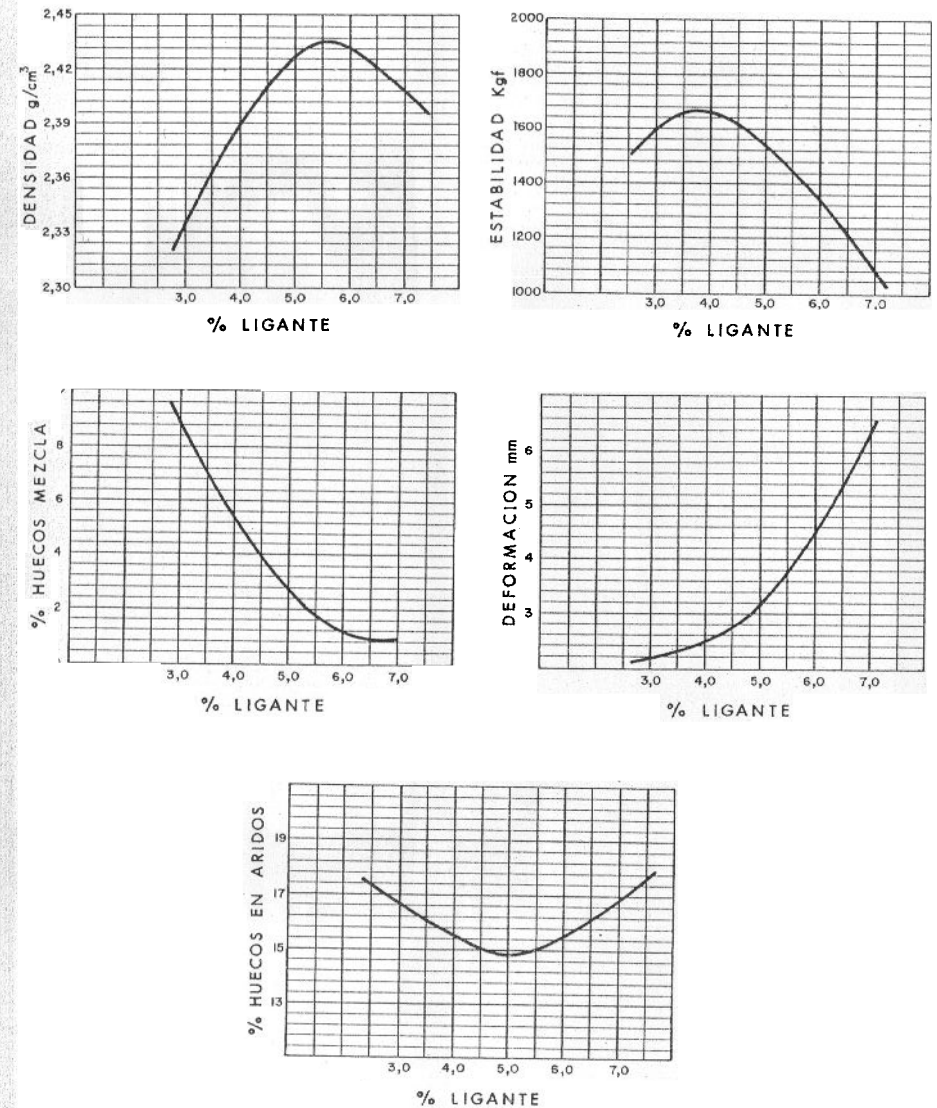


Fig. 3.4

En el ejemplo que estamos considerando puede observarse que la curva de huecos en áridos cumple con las especificaciones (14% mínimo para el tipo de mezcla proyectada), teniendo además una forma correcta.

Para las condiciones a que va a estar sometida la mezcla se estima adecuado un 4% de huecos en mezcla, que se toma como dato de partida, el cual se consigue con un 4,6% de ligante.

Para este contenido de ligante se puede comprobar que se cumplen satisfactoriamente las condiciones de deformación y huecos en áridos, además de una estabilidad suficiente y una relación filler/betún aceptable.

Con el porcentaje óptimo de ligante así determinado se obtiene pues, una mezcla de las siguientes características:

Betún asfáltico B 40/50.....	4,6% sobre áridos
Densidad	2,41 g/cm ³
Estabilidad	1.600 kgf (16 kN)
Deformación	2,8 mm
Huecos mezcla.....	4%
Huecos áridos.....	15%

las cuales cumplen los criterios de proyecto de mezclas exigidos por el método Marshall. Asimismo se cumple el valor de 1,4 para la relación filler/betún exigido por la Norma 6.1-I.C. para la mezcla que se ha supuesto proyectar en este ejemplo.

Con mucha frecuencia, las dificultades para fijar una mezcla satisfactoria se deben fundamentalmente a una curva granulométrica que, aún entrando en el huso, puede no ser la más adecuada, acusándose especialmente en los huecos en áridos. Por esta razón es conveniente realizar algún tanteo adicional aprovechando la experiencia del primero, basándose, como ya se ha indicado, en lo expuesto al final del apartado 3.3.1.2.

Tomando como base el estudio de laboratorio y una vez realizada la puesta a punto de la planta para la obtención de la fórmula de trabajo, se fabricará una serie de 12 probetas Marshall con el contenido de ligante óptimo. Seis de estas probetas se ensayarán en el laboratorio de obra, y las otras seis en el Laboratorio Regional, a fin de establecer las correspondientes correlaciones de los resultados con vistas al control de fabricación y puesta en obra de la mezcla bituminosa.

El ensayo Marshall es aplicable a las mezclas de los tipos D, S y G. En las mezclas D 25, G 25 y S 25, por tener áridos de tamaño superior a 25 mm, pueden adoptarse dos soluciones:

- En laboratorio, sustituir el material superior a 25 mm por la fracción inmediata de tamaño inferior a 25 mm (25 mm a 20 mm).
- En obra, eliminar de la mezcla los tamaños superiores a 25 mm empleando la masa de mezcla exigida en la Norma, para la fabricación de las probetas y estableciendo las correlaciones necesarias.

Las mezclas tipo G 25 pueden presentar problemas durante la fabricación de las probetas.

Para los tipos de mezclas en que no sea posible aplicar el método Marshall se seguirá el siguiente criterio:

El contenido de ligante en las mezclas abiertas en caliente tipo A, así como en las mezclas en frío, deberá fijarse a la vista de los materiales a emplear, basándose principalmente en la experiencia obtenida en casos análogos, en la superficie específica del árido o por medio del ensayo del equivalente centrífugo de keroseno, según la Norma NLT-169/72, u otros ensayos que considere oportuno el Director de la obra.

Siempre que sea posible es mejor disponer de ensayos mecánicos para determinar la cantidad óptima de ligante y conocer a su vez las características mecánicas de la mezcla. En el caso de mezclas en frío de los tipos D, S y G, la naturaleza de los ligantes empleados puede no permitir un curado perfecto después de compactar las probetas, lo que hace que no se pueda operar con el método Marshall normalizado. Para salvar este inconveniente, se puede curar la mezcla antes de compactarla y una vez conseguido el curado total, calentarla hasta la temperatura de mezcla, realizando un ligero homogeneizado, compactar las probetas por el procedimiento normal.

3.4 ESTUDIO DE LA SUSCEPTIBILIDAD DE LA MEZCLA A LA ACCION DEL AGUA

Una vez dosificada la mezcla es preciso determinar el efecto que puede producir la acción del agua sobre la cohesión de la misma, con objeto de ver si hay que hacer alguna corrección en la composición de la mezcla o si es necesario el empleo de activantes para disminuir su susceptibilidad al agua.

Salvo que el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares especifique otra cosa, se considerará que la adhesividad es suficiente cuando, en mezclas abiertas, de los tipos A y AF, el porcentaje ponderal del árido totalmente envuelto después del ensayo de inmersión en agua, según la Norma NLT-166/75, sea superior al noventa y cinco por ciento (95%) o cuando en los otros tipos de mezclas la pérdida de resistencia de las mismas, en el ensayo de inmersión-compresión realizado de acuerdo con la Norma NLT-162/75 no rebase el veinticinco por ciento (25%).

Al realizar el ensayo de inmersión-compresión de acuerdo con la norma indicada, no se suele conseguir el grado de compactación exigido por el PG-3, por lo que es recomendable aumentar la carga, y/o la temperatura de compactación en la fabricación de las probetas, a fin de que el efecto del agua sobre la cohesión de la mezcla en el laboratorio sea comparable al que después va a sufrir la mezcla compactada en obra. Asimismo, en las mezclas de textura más gruesa debido a la dispersión de los resultados del ensayo, es conveniente fabricar y ensayar un mayor número de probetas que aseguren la obtención de unos valores medios más reales y representativos.

Pendiente de normalización este ensayo, se recomienda seguir el procedimiento indicado en la figura 3.5 a la temperatura y período de tiempo escogidos.

INMERSION – COMPRESION

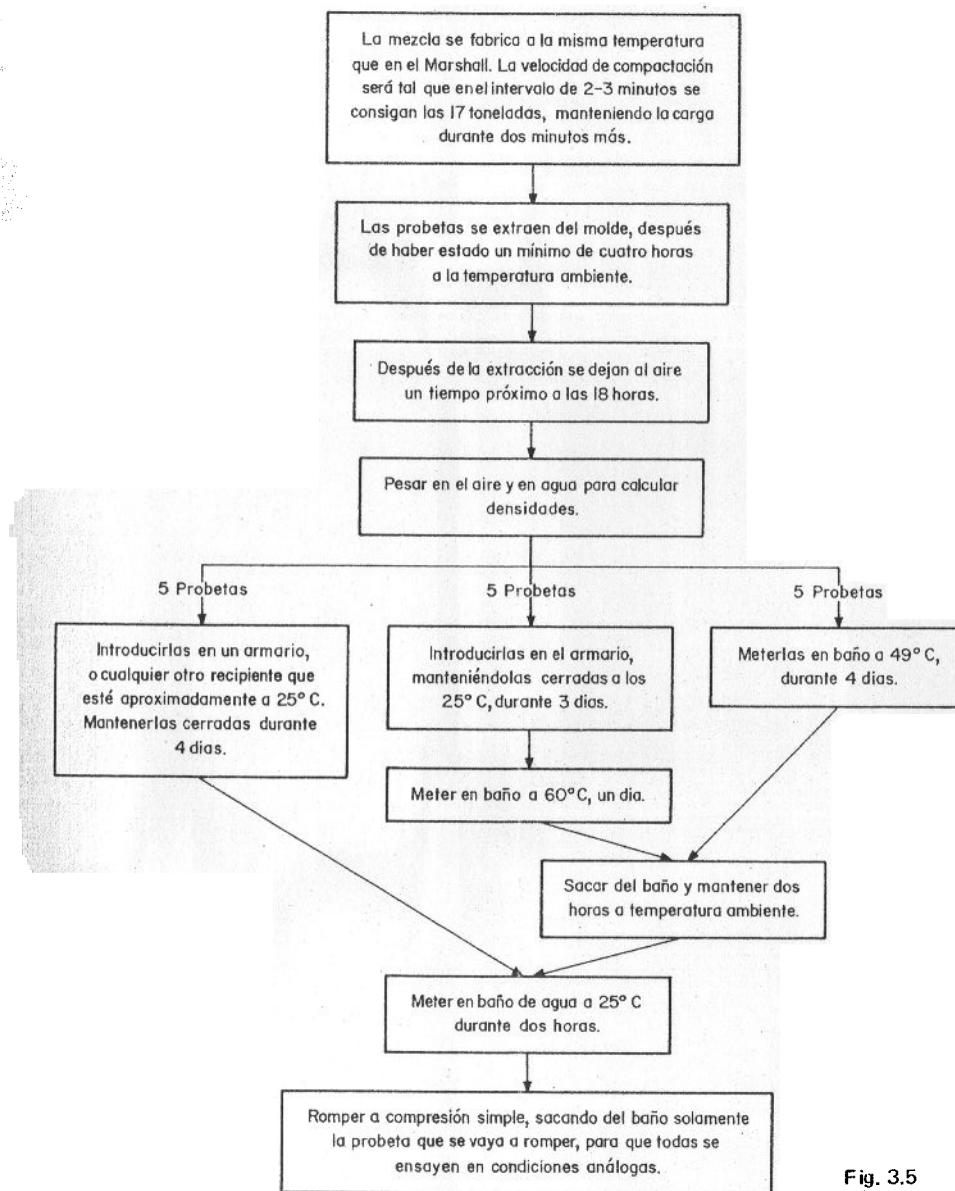


Fig. 3.5

3.5 ESTUDIO DE LA SUSCEPTIBILIDAD DE LA MEZCLA A LA DEFORMACION PLASTICA

Para completar el estudio de dosificación realizado, y tener en cuenta la susceptibilidad a la deformación plástica de las mezclas sometidas a tráfico pesado y altas temperaturas de servicio, es muy conveniente realizar el Ensayo en Pista con la mezcla proyectada y distintos contenidos de ligante (por ejemplo, óptimo y $\pm 0,5\%$) siempre que cumplan las características exigidas. Los resultados de este ensayo podrán, en su caso, aconsejar rectificaciones en el contenido de ligante óptimo determinado por el método Marshall, teniendo en cuenta la susceptibilidad a la deformación, la durabilidad y las variaciones inherentes al proceso de fabricación de la mezcla en obra.

4. CONTROL DE LOS ACOPIOS DE LOS MATERIALES E INSPECCION DE LA MAQUINARIA A EMPLEAR EN LA FABRICACION Y PUESTA EN OBRA DE LA MEZCLA BITUMINOSA

4.1 CONTROL DE LOS ACOPIOS DE LOS MATERIALES

4.1.1 Control de los áridos

Antes de comenzar la fabricación y puesta en obra de la mezcla bituminosa se procederá a la formación de los acopios de los áridos en el lugar de emplazamiento de la instalación de fabricación de la mezcla.

Los áridos se suministrarán fraccionados. El número de fracciones deberá ser tal que sea posible, con la instalación que se utilice, cumplir las tolerancias exigidas en la granulometría de la mezcla. Cada fracción será suficientemente homogénea y deberá poderse acopiar y manejar sin peligro de segregación, si se observan las precauciones que se detallan a continuación.

El número de fracciones o áridos a suministrar dependerá del tamaño máximo del árido y no será superior al del número de tolvas en frío de que disponga la instalación de fabricación de mezcla.

Cada fracción del árido se acopiará separada de las demás para evitar intercontaminaciones. Si los acopios se disponen sobre el terreno natural, no se utilizarán los quince centímetros (15 cm) inferiores de los mismos. Los acopios se construirán por capas de espesor no superior a un metro y medio (1,5 m) y no por montones cónicos. Las cargas del material se colocarán adyacentes, tomando las medidas oportunas para evitar su segregación.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director, fijará el volumen mínimo de acopios exigibles, de acuerdo con las características de la obra y el volumen de mezclas a fabricar.

Es recomendable que el volumen de los acopios sea suficiente para garantizar, al menos, el trabajo de dos semanas.

El equipo de control deberá estar presente en la obra antes del comienzo del acopio de los áridos con objeto de inspeccionar el terreno, la disposición de los acopios y empezar el control de los materiales desde el comienzo de esta operación.

El terreno debe estar preparado adecuadamente para evitar las contaminaciones, y las zonas de acopio de los diferentes áridos separadas por empalizadas de suficiente altura y resistencia, a fin de evitar la mezcla de los áridos acopiados en la zona contigua. Los acopios deberán estar situados sobre una zona de buen drenaje.

Es necesario que la anchura de la zona de acopio permita simultanear, por mitades, el aprovisionamiento de la planta y la reposición del acopio, prohibiéndose la descarga de los áridos en la zona de alimentación, que deja fuera de utilización el acopio principal, empleándose en la fabricación material sin controlar.

Es importante establecer claramente los caminos de circulación, que deberán ser acondicionados de manera que la circulación de los camiones no provoque polvo que contamine los acopios.

La formación del acopio se realizará descargando los camiones de forma contigua, alisando la superficie por medio de una pala, niveladora o bulldozer. Una vez realizada la primera tongada se remontará el acopio por tongadas sucesivas realizadas de la misma forma que la primera, hasta una altura que no sea causa de segregación durante la carga.

Debe prestarse especial cuidado a la contaminación que puede ocasionar, sobre todo en tiempo lluvioso, el barro adherido a las ruedas de los camiones, acondicionando la zona de entrada al acopio o incluso lavando las ruedas.

Para controlar la calidad de los áridos suministrados se tomarán a lo largo de la jornada, durante la descarga del camión y de forma aleatoria, el número de muestras que determine el Director de las obras, de acuerdo con los medios del equipo de control y el volumen de material suministrado.

A los resultados obtenidos, sobre todo de los ensayos granulométricos, se les aplicará el tratamiento de las medias móviles para controlar las anomalías en el suministro y conocer la granulometría de cada árido (apéndice 4).

Cuando el equipo de control no haya podido realizar el control de los acopios durante su formación, tendrá que realizar esta labor a su llegada a la obra. Esta operación, por la dificultad de la toma de muestras en profundidad, es de dudosa confianza. Un muestreo superficial, el control del suministro y la

carga en el acopio por mitades de la anchura en el frente previamente analizado, podrá paliar el inconveniente de no haber realizado el control durante la formación del acopio.

Siempre que el proceso de control detecte anomalías, se tomará la medida de acopiar el material dudoso aparte, hasta su aceptación o rechazo.

Aunque no corresponde propiamente a la misión del equipo de control, la inspección de la cantera y de la instalación de fabricación serán de gran utilidad para juzgar la causa de los posibles defectos detectados durante el control o para, anticipándose, intensificar aquellos ensayos que se consideren más apropiados para detectar el fallo previsible.

4.1.2 Control del ligante bituminoso y del filler de aportación

El acopio previo de estos materiales, está limitado al de los tanques o silos de que disponga la instalación de fabricación de mezclas bituminosas y, por tanto, se realizará a la llegada de las cisternas de ligante y de filler durante el llenado.

4.2 INSPECCION DE LA MAQUINARIA A EMPLEAR EN LA FABRICACION Y PUESTA EN OBRA DE LA MEZCLA BITUMINOSA

El conocimiento de las características de la maquinaria que se va a emplear, por la influencia que puedan tener en la fabricación y puesta en obra, es de gran importancia para organizar el plan de control por parte del equipo.

Las mezclas bituminosas en caliente se fabricarán por medio de instalaciones de tipo continuo o discontinuo, capaces de manejar simultáneamente en frío el número de áridos que exija la fórmula de trabajo adoptada. El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares señalará la producción horaria mínima en función de las características de la obra.

En general, las instalaciones de fabricación de mezclas bituminosas en caliente constarán de las siguientes unidades fundamentales (figuras 4.1 a 4.5),

- 1) Sistema de alimentación y dosificación de los áridos en frío.
- 2) Secador de los áridos.
- 3) Colector de polvo.
- 4) Instalación de cribado de los áridos en caliente.
- 5) Silos de almacenamiento de los áridos cribados calientes.
- 6) Sistema de alimentación del filler.
- 7) Sistema de almacenamiento, calefacción y alimentación del ligante bituminoso.
- 8) Sistema de dosificación de los áridos, filler y ligante bituminoso.
- 9) Mezclador.
- 10) Sistema de carga de la mezcla.

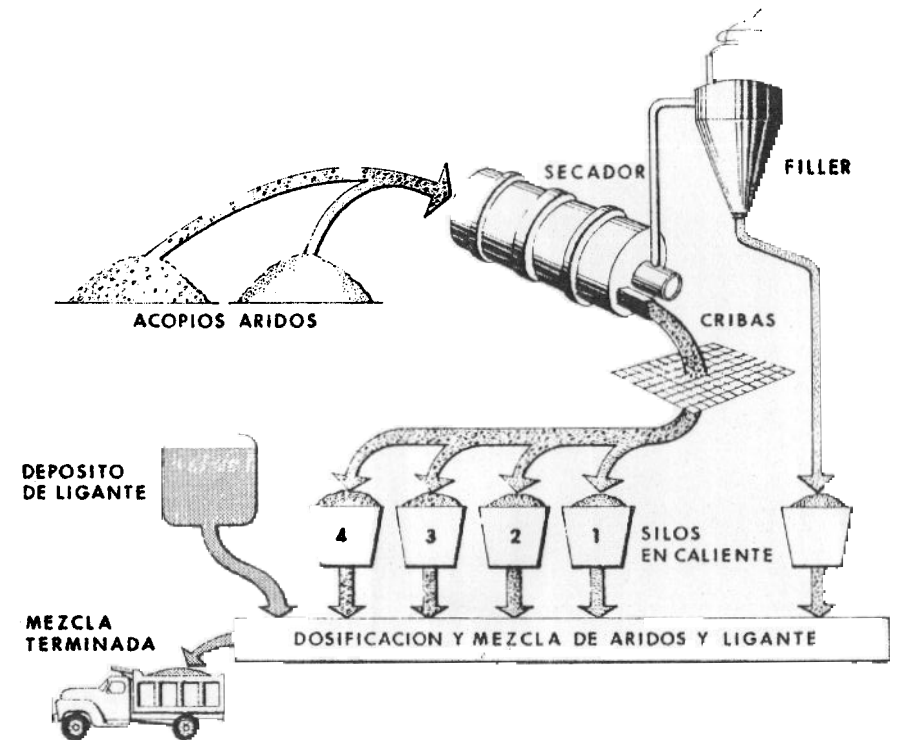


Fig. 4.1 DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO DE UNA INSTALACION DE FABRICACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS

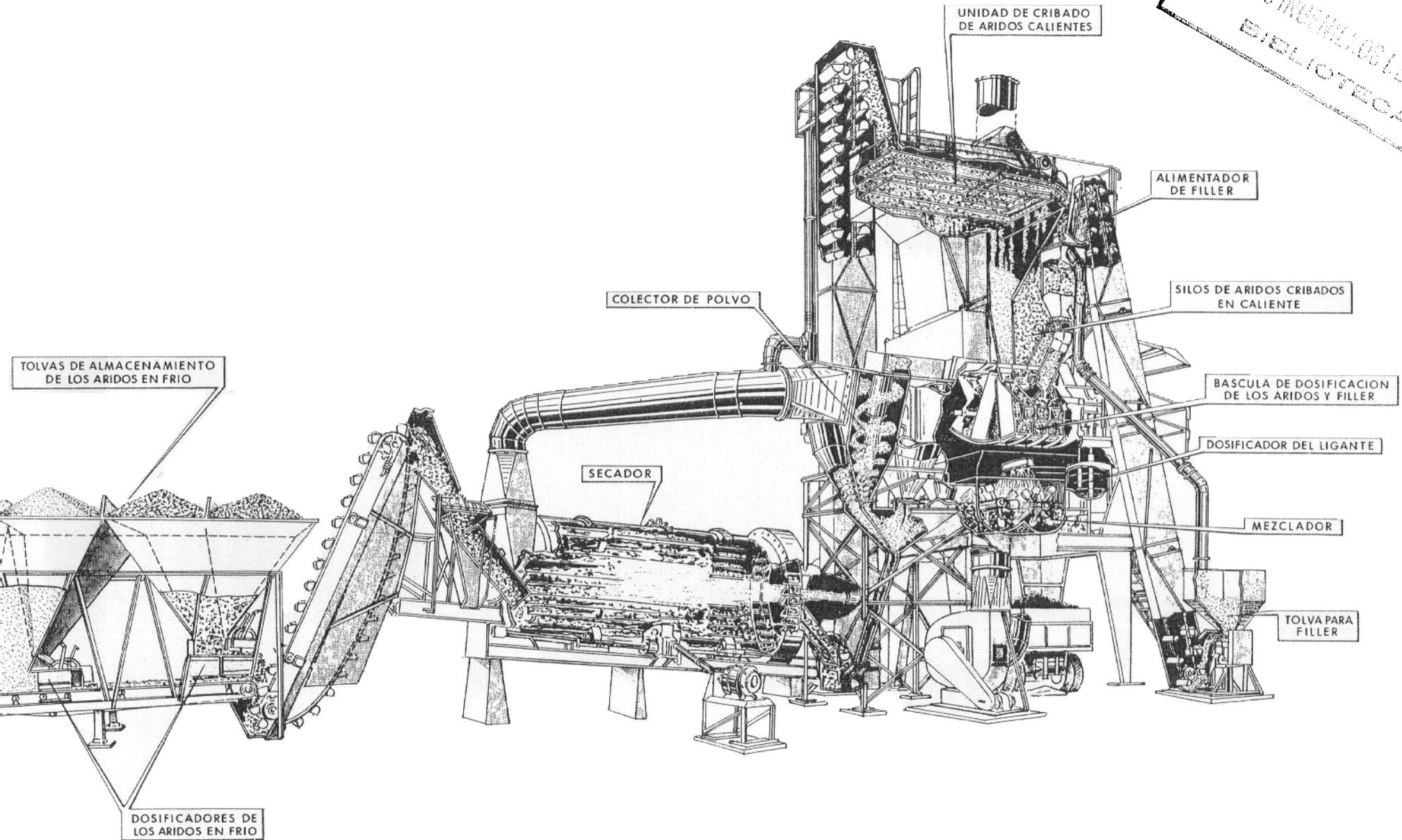


Fig. 4.2 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UNA INSTALACION DISCONTINUA

COLE

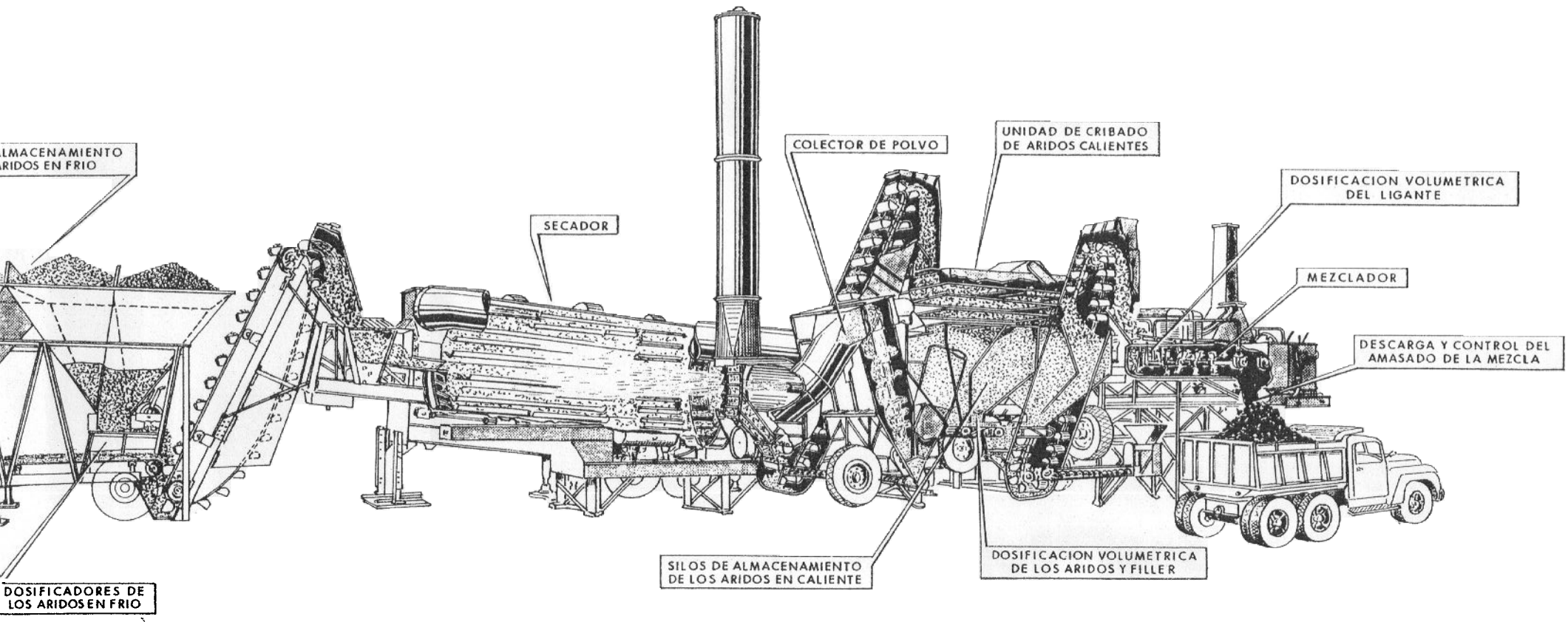


Fig. 4.3 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UNA INSTALACION CONTINUA

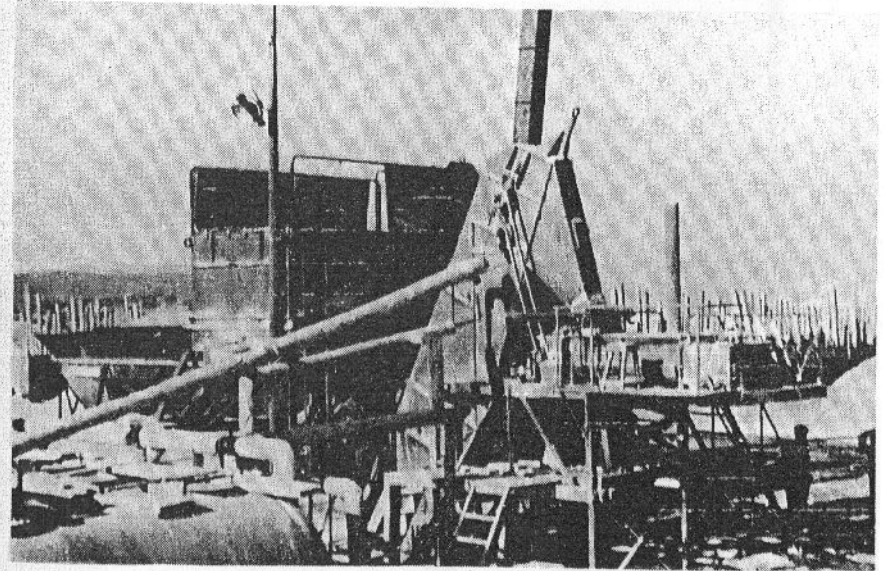


Fig. 4.4 INSTALACION DISCONTINUA

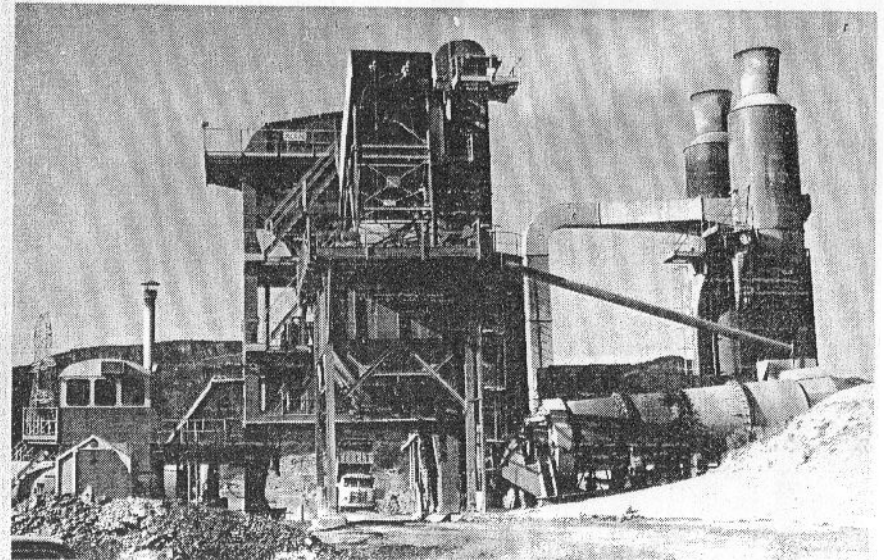


Fig. 4.5 INSTALACION CONTINUA

Las mezclas bituminosas en frío se fabricarán por medio de instalaciones de tipo continuo o discontinuo capaces de manejar simultáneamente en frío el número de áridos que se suministren.

En las instalaciones para fabricación de mezclas bituminosas en frío, pueden faltar las unidades 2, 3, 4, 5 y 6 pudiendo el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares exigir las instalaciones de cribado y almacenamiento de áridos cribados y sistema de alimentación en frío.

La maquinaria empleada en la puesta en obra de la mezcla estará constituida por:

- 1) Camiones para el transporte de la mezcla desde la instalación de fabricación a la extendidora.
- 2) Extendidora para la puesta en obra de la capa de mezcla bituminosa.
- 3) Compactadores para la adecuada densificación de la capa de mezcla bituminosa.

4.2.1 Inspección de la maquinaria de fabricación de mezclas bituminosas

Como ya se ha indicado, la instalación de fabricación de mezclas bituminosas constará en general de las unidades fundamentales que se van a considerar a continuación.

4.2.1.1 Sistema de alimentación y dosificación de los áridos en frío

Los silos de áridos en frío deberán estar provistos de dispositivos de salida, que puedan ser ajustados exactamente y mantenidos en cualquier ajuste. El número mínimo de silos será función del número de fracciones de árido a emplear.

El equipo de control ha de tener en cuenta que la alimentación de los áridos en frío es la clave del buen funcionamiento de la instalación de fabricación y por tanto de la buena calidad de la mezcla. La experiencia indica que el material que entra por el sistema de alimentación en frío es el que al final llega al mezclador y que los problemas que pueden presentarse en los otros elementos son, la mayoría de las veces, debidos a un mal funcionamiento de la alimentación primaria.

Aunque pueden emplearse otro tipo de silos, tales como los de túnel bajo los acopios o grandes silos cerrados, el tipo de silo más corriente es el de tolva abierta.

El tamaño y número de los silos en frío es variable. El tamaño está dentro de ciertos límites en relación con la producción de la planta, oscilando entre 10 y 20 m³ de capacidad. El número es normalmente de 4 a 5. Tres sería el mínimo admisible y cinco es el número más frecuentemente empleado (fig. 4.6).

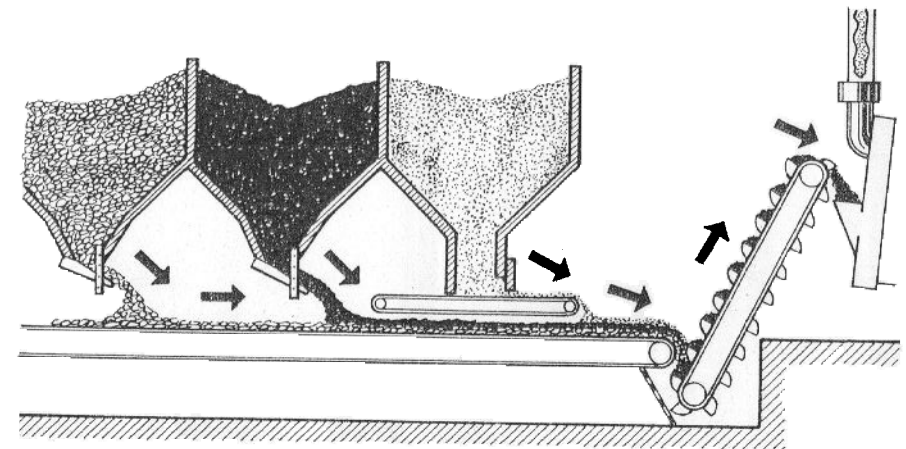


Fig. 4.6 ESQUEMA DE LA ALIMENTACION EN FRIO

Como el número de áridos suministrados debe ser igual o menor que el de los silos en frío, cuanto menos sean éstos, el número de áridos clasificados es menor, y éstos tendrán una granulometría más extensa, con lo que el peligro de segregación durante su manejo en cantera, en acopios y en la alimentación es mayor, repercutiendo en la uniformidad de la granulometría.

Cuando en un caso de emergencia haya más áridos que silos, se debe proscribir la alimentación alternada de dos a un mismo silo. En este caso, se debe hacer una mezcla previa de los dos áridos en un tercer acopio y alimentar el silo con la mezcla realizada. Los áridos a mezclar serán los de tamaño más parecido y de granulometría más cortada.

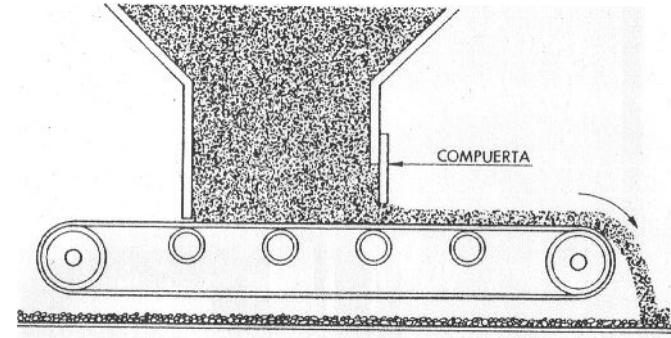
El silo de árido fino merece una atención especial porque las arenas, sobre todo cuando están húmedas, tienden a apelmazarse y a formar sobre la boca de descarga bóvedas que cortan el suministro de éste árido. Para evitarlo se recurre al empleo de diversos dispositivos, de los que el mejor es el de vibradores instalados en las paredes cercanas a la descarga. Estos vibradores deben funcionar automáticamente cuando se corta el suministro, desconectarse cuando se reanuda y pararse al dejar de funcionar la instalación para evitar el apelmazamiento del árido.

Los silos dispondrán en la parte inferior de un dispositivo de dosificación. Existen diversos tipos, de los que los más empleados son: de vaivén, vibratorio y de arrastre por cinta transportadora (figuras 4.7, 4.8 y 4.9).

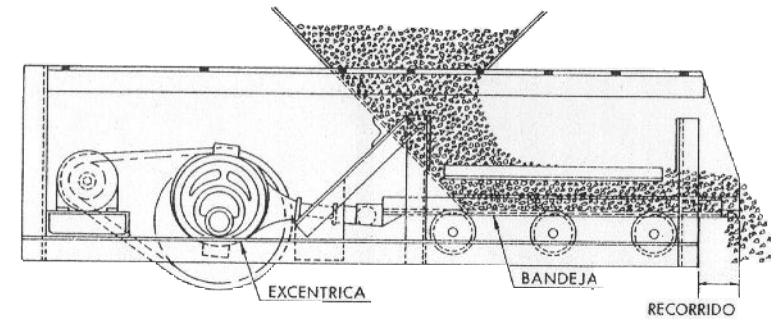
Cualquiera de ellos es apropiado para dosificar los áridos gruesos. Las arenas se dosifican mejor con los vibratorios y sobre todo con los de banda de goma de velocidad regulable.

Los dispositivos de dosificación actúan por regulación de una o varias de las siguientes variables:

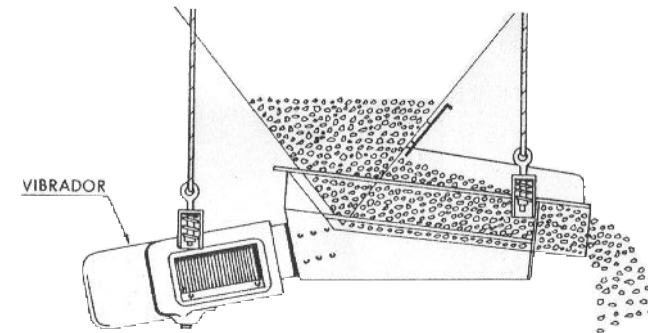
- La abertura graduable de la compuerta.
- La velocidad de la cinta transportadora.
- La amplitud o frecuencia del vaivén.
- La amplitud o frecuencia de la vibración.



ALIMENTADOR DE CINTA CONTINUA



ALIMENTADOR DE BANDEJA DE VAIVÉN



ALIMENTADOR CON VIBRADOR ELECTROMAGNETICO

Fig. 4.7 TIPOS DE ALIMENTADORES EN FRIO

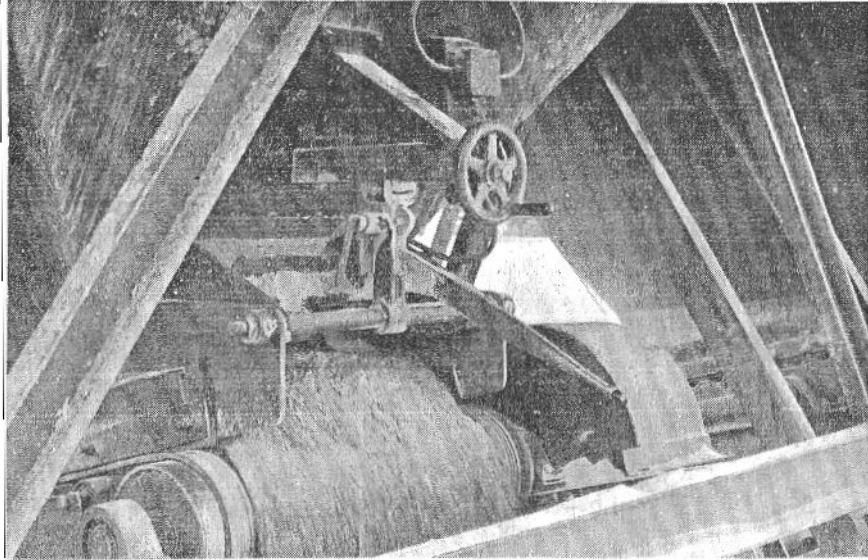


Fig. 4.8 ALIMENTADOR CON REGULACION DE COMPUERTA Y VELOCIDAD DE CINTA, CON PALPADORES DEL CONTROL DE FUNCIONAMIENTO

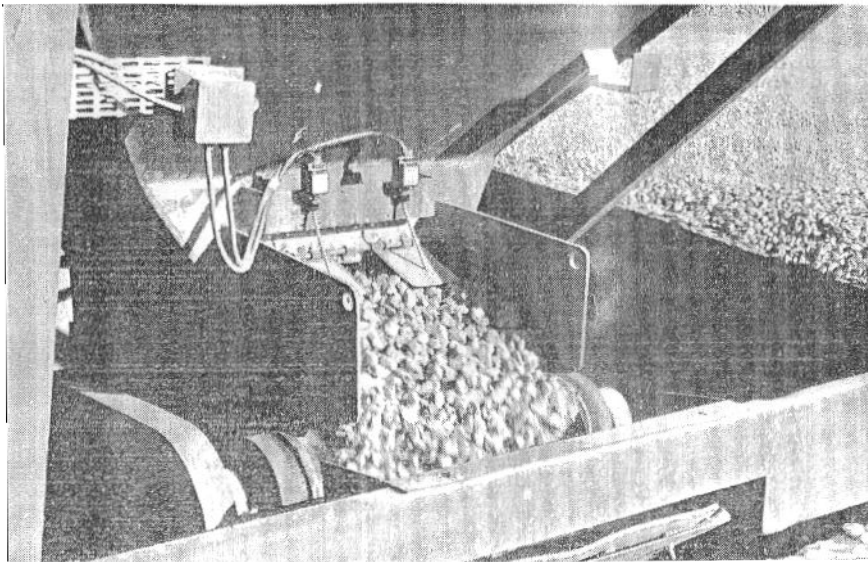


Fig. 4.9 ALIMENTADOR CON REGULACION DE VELOCIDAD Y PALPADORES DE CONTROL DE FUNCIONAMIENTO

La abertura mínima de la compuerta será de 2,5 a 3 veces el tamaño máximo del árido, no siendo inferior a 25 mm para las arenas.

La obstrucción de las aberturas por áridos ocasionales de mayor tamaño u otros elementos extraños puede evitarse por medio de parrillas colocadas en la boca de la tolva.

La carga de los silos en frio se realizará de forma que éstos estén siempre llenos entre el cincuenta por ciento (50%) y el cien por ciento (100%) de su capacidad, sin rebosar. En las operaciones de carga se tomarán las precauciones necesarias para evitar segregaciones o contaminaciones.

La carga de los silos con los áridos acopiados se realiza generalmente por medio de palas cargadoras frontales de neumáticos. En grandes instalaciones también es corriente utilizar palas de pluma con cucharón -del tipo almeja (fig. 4.10).

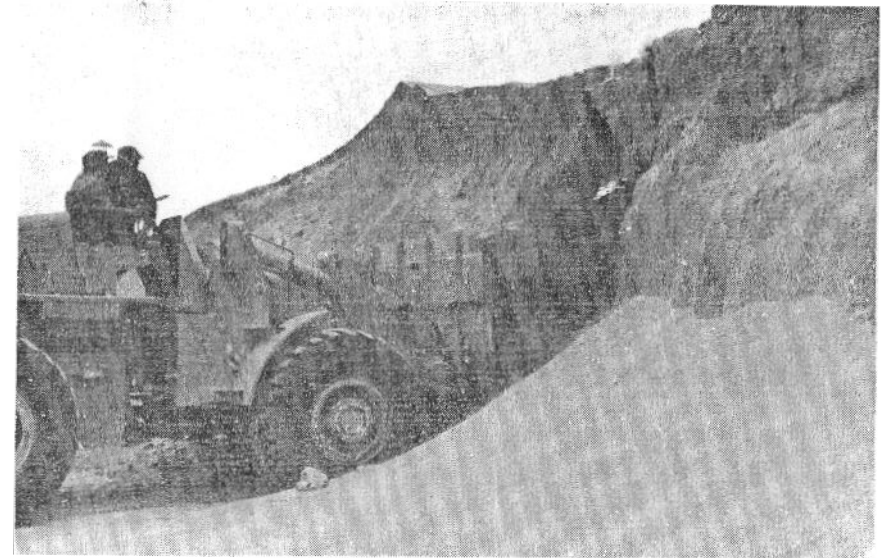


Fig. 4.10 CARGA EN ACOPIO

Cuando la carga se realice con palas cargadoras frontales, lo más apropiado y correcto para evitar la segregación de los áridos en el frente de carga, es realizar el ataque al frente por tongadas, empezando por la superior.

Asímismo durante la descarga en la tolva se debe vaciar el cucharón en posición baja y central, evitando el derrame de material en los silos contiguos. Por esta razón el empleo de cucharas más anchas que las tolvas debe prohibirse (fig. 4.11).

El palista debe ir alimentando las tolvas de manera que el nivel del árido dentro de cada una de ellas se mantenga lo más constante posible.

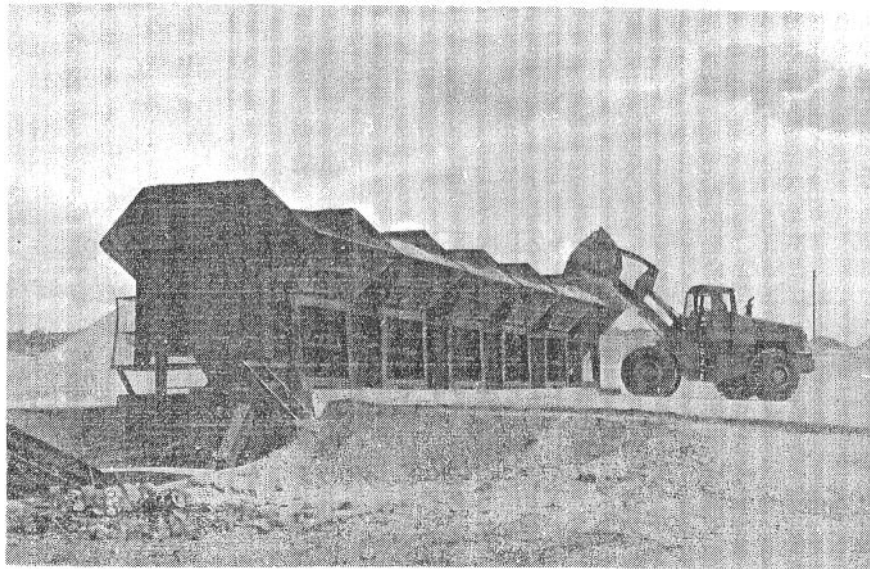


Fig. 4.11 DESCARGA EN TOLVA

La función de la dosificación en frío es el suministro de una corriente de material uniforme y suficientemente homogénea (fig. 4.12), procedente de cada una de las tolvas, de acuerdo con la producción deseada y en las proporciones necesarias de cada árido para conseguir la granulometría prevista en la fórmula de trabajo, dentro de las tolerancias previstas en los Pliegos de Prescripciones Técnicas.

Para conseguir ésto es necesario:

- a) Disponer de áridos homogéneos en el acopio.
- b) Evitar la contaminación entre acopios.
- c) Evitar las segregaciones durante la carga y la alimentación.
- d) Una buena calibración de los dispositivos de alimentación de cada tolva, para poder reajustar rápidamente las cantidades que deben suministrarse de cada árido.
- e) Un funcionamiento correcto de los alimentadores.

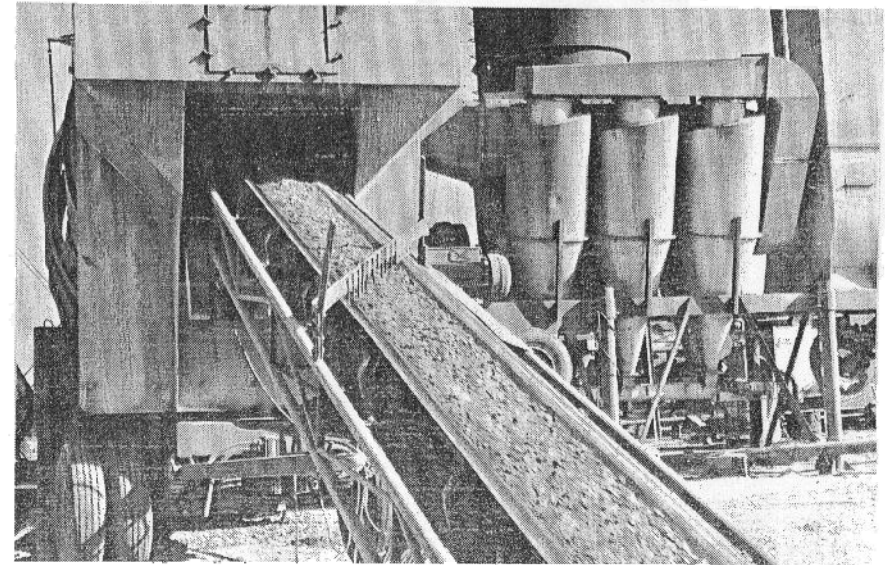


Fig. 4.12 ENTRADA DE ARIDOS DOSIFICADOS AL SECADOR, CON PEINE DE ELIMINACION DE GRUESOS

El no correcto cumplimiento de alguno de estos puntos puede ocasionar: variaciones de la temperatura de los áridos, áridos calientes mal clasificados y de granulometría variable, llenado diferencial de los silos de áridos en caliente, sobrecarga del colector de polvo y variaciones granulométricas del filler recuperado. Esta falta de homogeneidad granulométrica de los áridos calientes se acusa sobre todo en la arena.

4.2.1.2 Secador de los áridos

La instalación estará dotada de un secador que permita el secado correcto de los áridos y su calentamiento a la temperatura adecuada para la fabricación de la mezcla.

Los áridos se calentarán antes de su mezcla con el ligante bituminoso. El secador se regulará de forma que la combustión sea completa, indicada por la ausencia de humo negro en el escape de la chimenea.

La instalación deberá estar provista de indicadores de la temperatura de los áridos, situados en los silos de árido caliente y a la salida del secador.

La misión del secador, que está formado por un cilindro metálico que gira alrededor de su eje, es la de calentar los áridos a la temperatura fijada en la fórmula de trabajo, así como evaporar la humedad, eliminándola mediante el tiro de aire provocado por el ventilador. El interior va provisto de unos dispositivos para voltear el material y exponer la superficie total de las partículas del árido a los efectos de la corriente de aire caliente (figuras 4.13 y 4.14).

La longitud, diámetro, inclinación del tambor, y situación y número de los dispositivos de volteo, gobiernan el tiempo que está el árido en el secador (normalmente de 5 a 10 minutos).

La eficacia del secado y la temperatura alcanzada para un determinado tipo de áridos es función de la producción lograda, de la potencia de calefacción y de la capacidad del colector.

La falta de tiro hace que no se quemé totalmente el combustible, que al depositarse sobre el árido fino dificulta su adherencia al ligante. El exceso de tiro provoca una baja presión en el secador, que se acusa por explosiones y salida de llamas por el extremo del mismo.

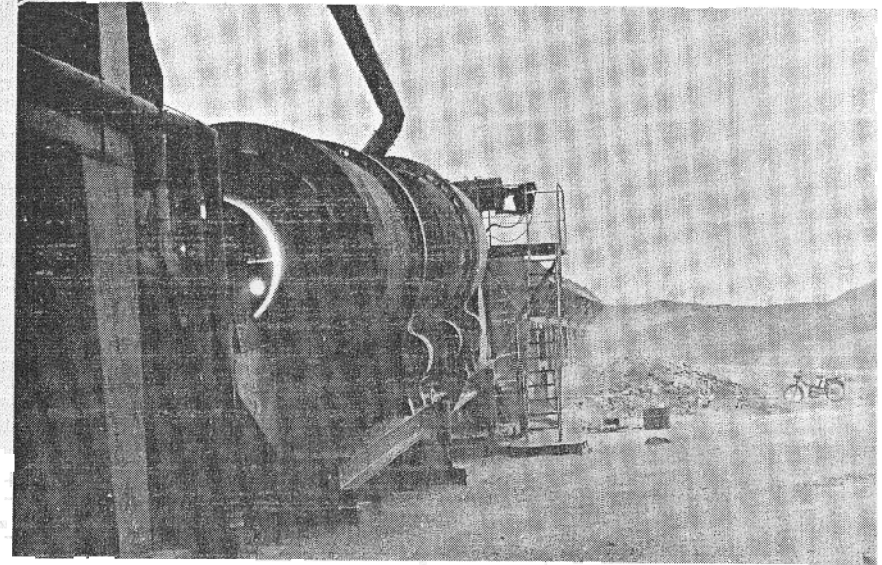


Fig. 4.13 VISTA DEL SECADOR

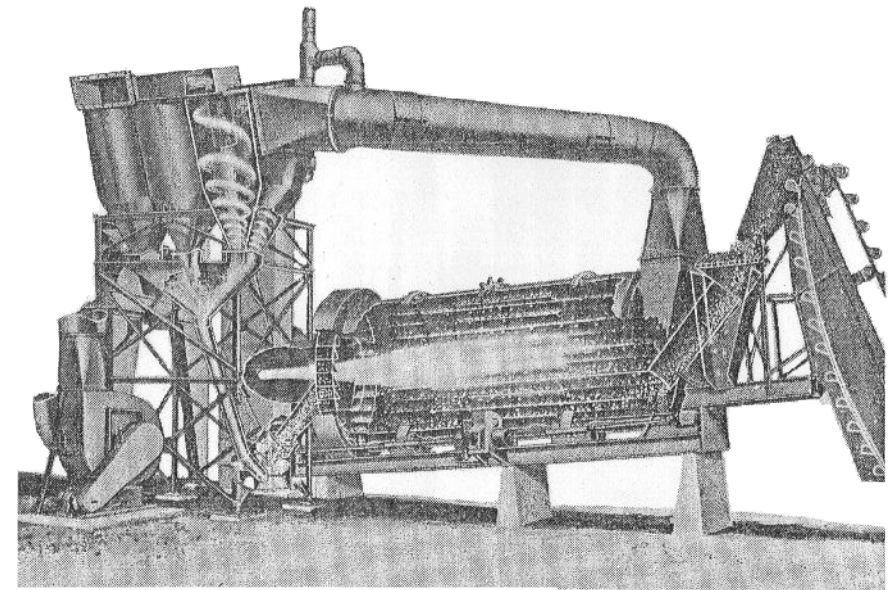


Fig.4.14 SECADOR Y CICLON-EXTRACTOR DE UNA INSTALACION DE FABRICACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS

La temperatura a que salen los áridos se mide por medio de termómetros de vástago metálico, situados en la corriente de salida de los áridos, o por medio de pirómetros. Estos elementos de medida han de comprobarse de manera periódica, y siempre que se observen anomalías.

Debido a la protección metálica de los termómetros, hay que tener en cuenta que tienen cierta inercia a la variación de temperatura, por lo que es preciso dejar que transcurra el tiempo necesario para que se estabilicen. A veces, una mala colocación o la acumulación a su alrededor de residuos, falsea, generalmente por defecto, la lectura de la temperatura de los áridos.

Los secadores están calculados en general para una humedad media del 5% y áridos con absorción normal, del 1 al 3%. Cuando la humedad sea más alta o los áridos sean más absorbentes es necesario disminuir la producción y aumentar la potencia de la llama.

Los mayores inconvenientes durante la operación provienen de una sobrecarga en la alimentación que impide un correcto secado y calentamiento o de un mal funcionamiento del mechero, por mala regulación entre el consumo del combustible, el tiro y el aire secundario; lo que origina una combustión incompleta depositando sobre el árido partículas de aceite que perjudican a la mezcla, cegando también las telas de los colectores de sacos.

4.2.1.3 Colector de polvo

Durante el funcionamiento de una instalación de fabricación de mezclas en caliente, el polvo arrastrado por la corriente de aire que circula a través del secador constituye una fuente de contaminación junto con el producido durante el cribado. Con objeto de evitar la contaminación y lograr el posible aprovechamiento del filler recuperado, las plantas van dotadas de un sistema colector de polvo.

El objeto del colector de polvo, compuesto por un ventilador- extractor y un sistema de recuperación del polvo, unidos entre sí y acoplados a la salida de gases del secador, tiene como misión crear dentro del secador un tiro forzado de aire que, a la vez que contribuye a que el combustible arda completamente, hace circular los gases calientes a través de la cortina de áridos; y, finalmente, junto con el aire y los gases de la combustión, extrae del secador el vapor de agua. A la vez, las partículas más finas del árido son arrastradas en su mayor

parte por la corriente de aire, y eliminadas de la misma en el colector de polvo; el cual las recupera para su eventual reincorporación a la mezcla (fig. 4.14).

Como ya se ha indicado, el extractor ha de funcionar en equilibrio con el mechero para lograr una combustión perfecta. El ventilador tiene una marcha uniforme y el tiro se regula por medio de unas aberturas graduables situadas dentro del circuito, bien en las tuberías, bien en el propio ventilador.

Funcionando en equilibrio la alimentación de áridos, la potencia del mechero y el tiro de aire, la granulometría del material recuperado es uniforme.

Las mayores alteraciones provienen de un manejo inadecuado de las aberturas de regulación, que dan un tiro excesivo o defectuoso y un material recuperado respectivamente más grueso o más fino.

Existen tres tipos principales de colectores de polvo: mecánicos, de sacos y por vía húmeda, pudiendo acoplarse más de uno de estos tipos en serie.

De los colectores mecánicos el más empleado es el de tipo ciclón o centrífugo, que puede ser único o múltiple (fig. 4.15), en el que la corriente de aire y polvo del secador entra por la parte superior tangencialmente forzándolo a un recorrido circular, que hace que las partículas choquen contra las paredes, depositándose en el fondo, mientras el aire más o menos limpio sale por la parte superior. Los ciclones son tanto más eficaces cuanto más velocidad imprimen, menor sea su diámetro, y cuando se emplea una batería en cascada.

Para eliminar partículas inferiores a 5-10 micras es necesario recurrir a los otros tipos de colectores, bien solos o mejor como colectores secundarios.

Los colectores de mangas o sacos funcionan haciendo pasar la corriente a través de las mangas o sacos que filtran la corriente de polvo que se deposita sobre la tela, cayendo a la parte inferior (figuras 4.16 y 4.17).

Por último los colectores por vía húmeda son de diferentes tipos y funcionan haciendo circular la corriente de aire y polvo en una cámara donde se pulveriza agua, que moja y arrastra las partículas de polvo. El polvo recuperado en forma de lodo se elimina y no es utilizable (fig. 4.18).

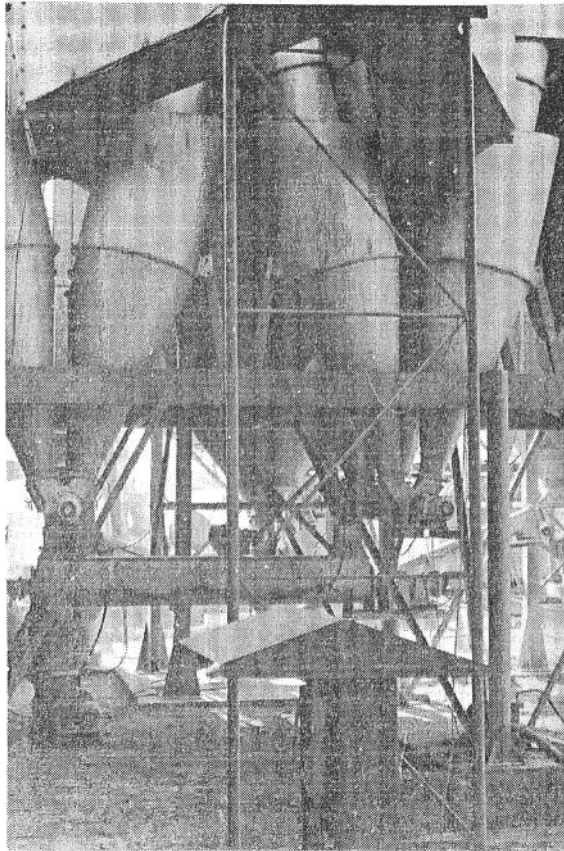


Fig. 4.15 COLECTOR DE CICLONES MULTIPLES

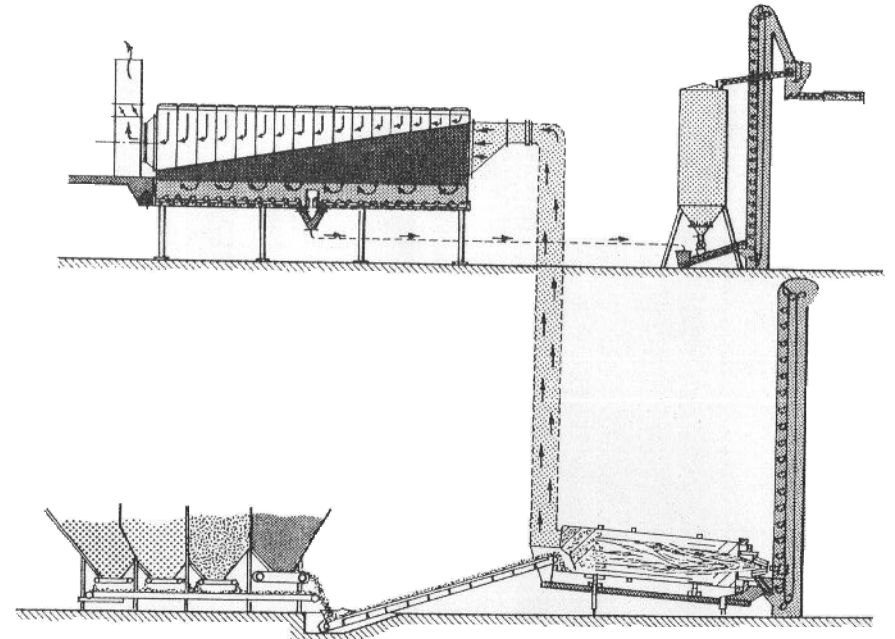


Fig. 4.16 COLECTOR DE SACOS

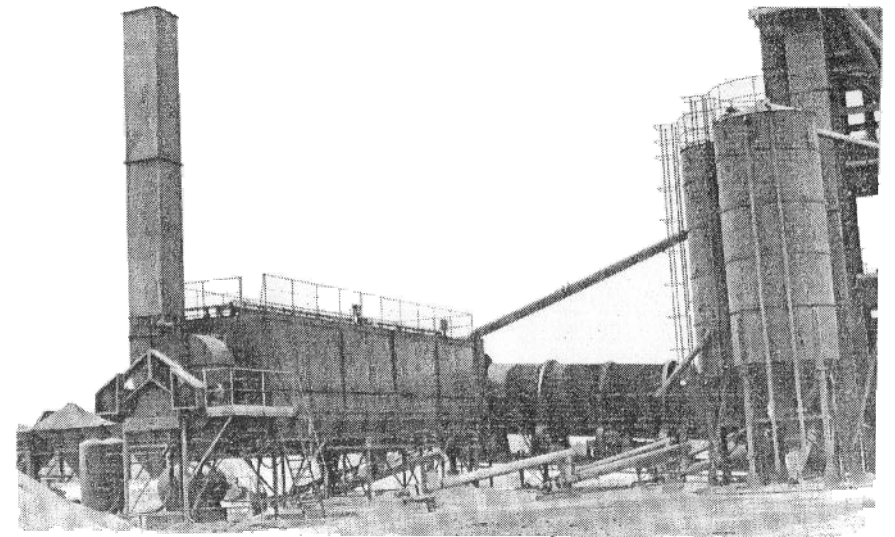


Fig. 4.17 COLECTOR DE SACOS

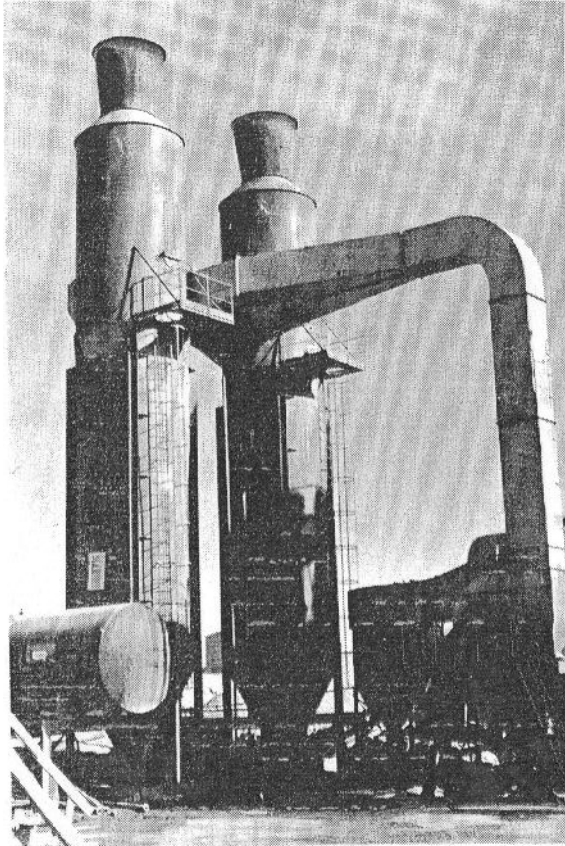


Fig. 4.18 COLECTOR DE VIA HUMEDA EN SERIE, CON CICLONES

4.2.1.4 Sistema de clasificación de los áridos en caliente

La instalación estará dotada asimismo de un sistema de clasificación de los áridos en caliente, de capacidad adecuada a la producción del mezclador, en un número de fracciones no inferior a tres (3), salvo autorización del Director.

Deberá comprobarse que la unidad clasificadora en caliente proporciona a los silos en caliente áridos homogéneos; en caso contrario se tomarán medidas para corregir la heterogeneidad.

Con objeto de obtener una mayor uniformidad en la granulometría de la mezcla, se recurre a una reclasificación de los áridos por tamaños, generalmente tres o cuatro, por medio de un cribado a la salida del secador.

El dispositivo normalmente utilizado es una serie de cribas vibrantes, que van colocadas inmediatamente encima de los silos de áridos en caliente (fig. 4.19).

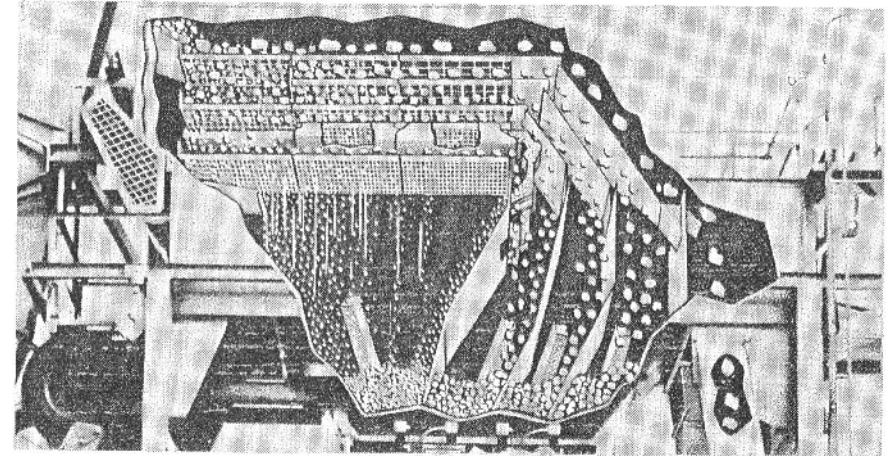


Fig. 4.19 CRIBAS Y DEPOSITOS EN CALIENTE

Como es natural, la superficie de las cribas ha de estar de acuerdo con la producción máxima y con la capacidad de los otros componentes, principalmente el secador y mezclador.

El rendimiento varía según las características de la criba, las aberturas de la malla, superficie, limpieza y características del árido. Las toneladas por hora y metro cuadrado, según la abertura que es capaz de clasificar una criba, es aproximadamente la siguiente:

Abertura (mm)	2	3	5	10	12,5	15	20	25
th/m ²	12	14	20	30	35	40	50	55

suponiendo que no existen problemas de humedad, cegado de la criba y que la cantidad retenida en cada criba es del orden del 25% del total del material a cribar.

Esta eficacia disminuye si la criba se sobrecarga, o si las aberturas se ciegan como consecuencia de encajarse las partículas del árido en las mallas y no se realiza una limpieza periódica.

Al disminuir la eficacia por una de estas causas, las cribas ya no pueden clasificar todo el material que les llega y parte del material más fino que debía pasar por cada criba, cae al silo de material grueso más próximo. Esto lleva como consecuencia un falseamiento de la granulometría de los silos en caliente y la correspondiente alteración de la curva granulométrica (fig. 4.20).

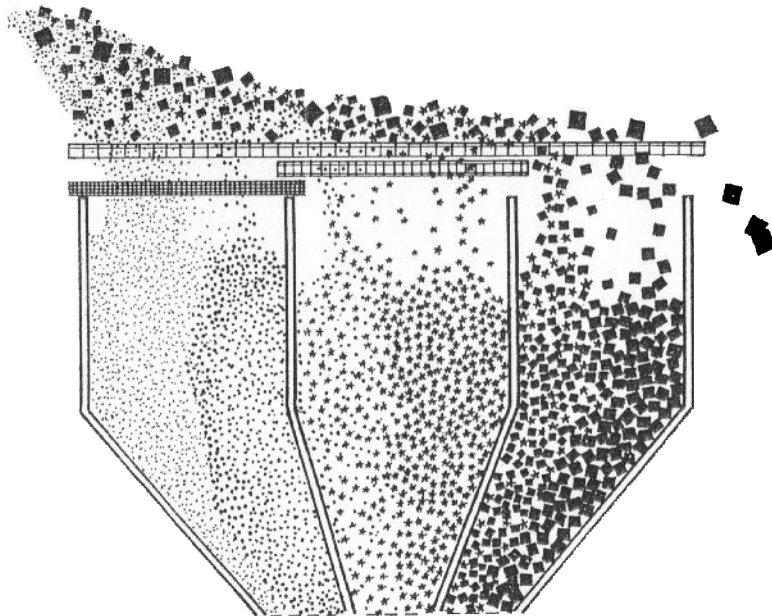


Fig. 4.20 SEGREGACION EN LAS CRIBAS

En general, si el fenómeno no es constante, se produce falta de uniformidad en la granulometría de la mezcla. Si el fenómeno es constante, la granulometría tiende a ser uniforme, pero con un aumento de la proporción de finos; la mezcla, debido al aumento de la superficie específica, tiene defecto de ligante.

Otra de las causas de alteración de la granulometría de los áridos cribados es la rotura de las mallas, por simple desgaste u otras causas. Cuando esto sucede, pasa al silo material más grueso del debido y, al dosificar, la granulometría total

se altera en el sentido de aumentar la proporción de gruesos. Como consecuencia de ello, la cantidad de ligante es excesiva.

Todo ello obliga a una inspección periódica de las mallas de las cribas y a regular la alimentación de material, para que no se produzcan sobrecargas (fig. 4.21).

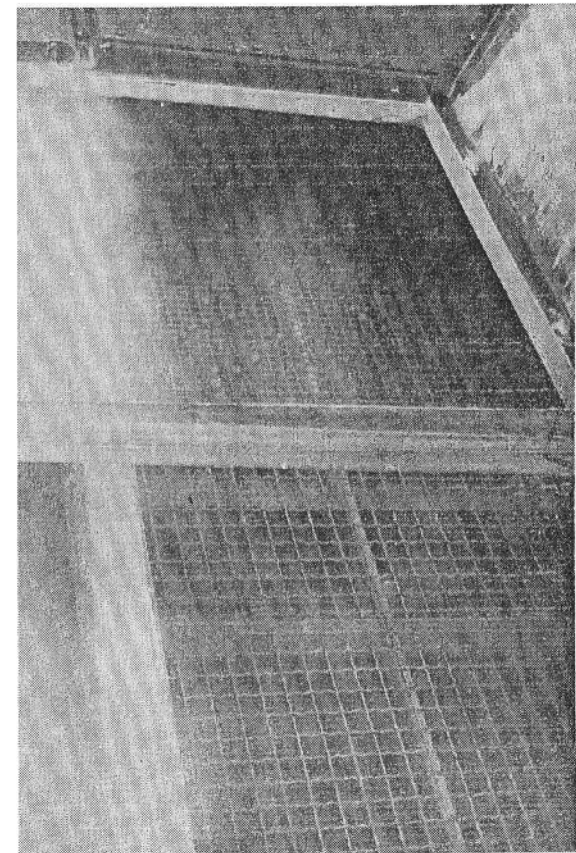


Fig. 4.21 CRIBAS EN BUEN ESTADO

4.2.1.5 Silos de almacenamiento de los áridos cribados calientes

La instalación de fabricación de mezclas bituminosas en caliente estará dotada de silos de almacenamiento de los áridos clasificados en caliente, cuyas paredes serán resistentes, estancas y de altura suficiente para evitar intercontaminaciones. Dichos silos en caliente estarán dotados de un rebosadero, para evitar que el exceso de contenido se vierta en los contiguos, o afecte al funcionamiento del sistema de clasificación; de un dispositivo de alarma, claramente perceptible por el operador, que avise cuando el nivel del silo baje del que proporcione el caudal calibrado y de un dispositivo para la toma de muestras de las fracciones almacenadas. El sistema de cierre será rápido y estanco.

La instalación deberá estar provista de indicadores de la temperatura de los áridos, situados en los silos de árido caliente y a la salida del secador.

Los silos en caliente de las plantas continuas deberán mantenerse por encima de su nivel mínimo de calibrado, sin rebosar.

Los silos en caliente sirven de depósitos intermedios para la dosificación de la mezcla.

En general, los constructores diseñan los silos de manera que se reduzcan al mínimo las segregaciones, dándoles formas apropiadas, y achaflanando los ángulos para evitar el depósito de material fino, que puede desprenderse ocasionalmente.

Cada silo estará provisto de una tubería en su parte superior que sirve de rebosadero cuando el silo se llena en exceso. Cuando la instalación funciona bien regulada no deberá existir ni defecto de material en cualquiera de los silos, ni salida por los rebosaderos.

Las plantas modernas están dotadas de dispositivos para la toma de muestras de los silos, de diseño variable, los cuales desvían la corriente del árido del alimentador o de las aberturas de descarga a un recipiente (fig. 4.22).

Al tomar la muestra, hay que poner cuidado en efectuar la operación a todo lo ancho de la salida, con objeto de que aquella sea representativa.

Cuando no exista este dispositivo, o cuando no se pueda hacer la toma en las debidas condiciones, se puede hacer pasar al mezclador una cantidad

determinada y desde éste descargarlo a una bandeja, cuarteando después la cantidad necesaria. Aunque un poco más laborioso, este último, siempre que se pueda realizar, es el mejor procedimiento.

En el silo de árido fino pueden producirse estratificaciones de tamaños debido a variaciones de la granulometría de los acopios o alimentación defectuosa de la tolva de áridos en frío. Cuando esto se produzca, es difícil tomar una muestra representativa del material.

En las instalaciones de tipo discontinuo, las compuertas de cada silo pueden cerrar mal, por defectos, desgaste, etc. Esto, sobre todo en el caso del árido más fino, produce un derrame constante de material, que merma la cantidad de los restantes áridos durante la pesada. Hay que corregir el derrame o, en caso de necesidad, modificar las proporciones por tanteo, hasta compensarlo.

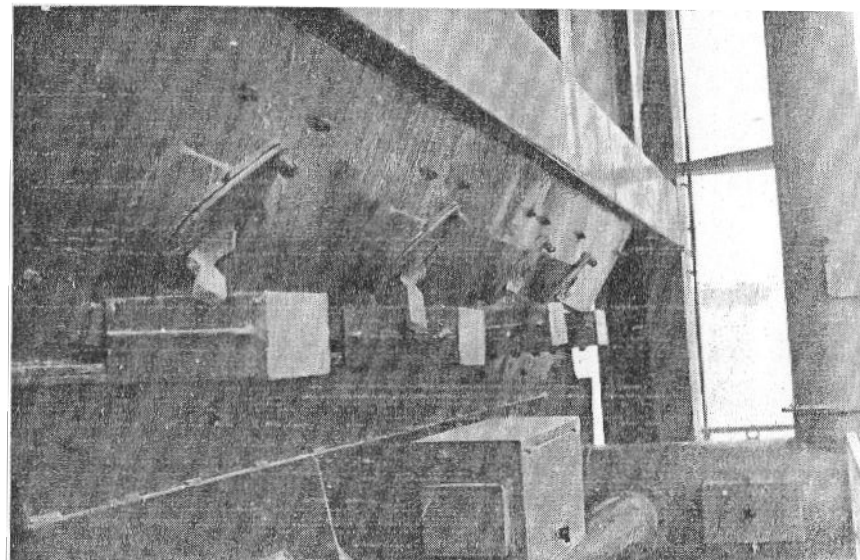


Fig. 4.22 DISPOSITIVO PARA TOMA DE MUESTRAS DE LOS SILOS DE ARIDOS CALIENTES

4.2.1.6 Sistema de alimentación del filler

La instalación estará dotada de sistemas independientes de almacenamiento y alimentación del filler de recuperación y de adición, los cuales deberán estar protegidos de la humedad.

Si el polvo recogido en los colectores cumple las condiciones exigidas al filler y está prevista su utilización en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, se podrá introducir en la mezcla; en caso contrario deberá eliminarse. El tiro de aire en el secador deberá regularse de forma adecuada, para que la cantidad y granulometría del filler recuperado sean uniformes.

El polvo recuperado por el colector se puede reincorporar de nuevo a la mezcla por medio de un alimentador y un elevador (fig. 4.23), quedando acopiado en su correspondiente silo para su dosificación.

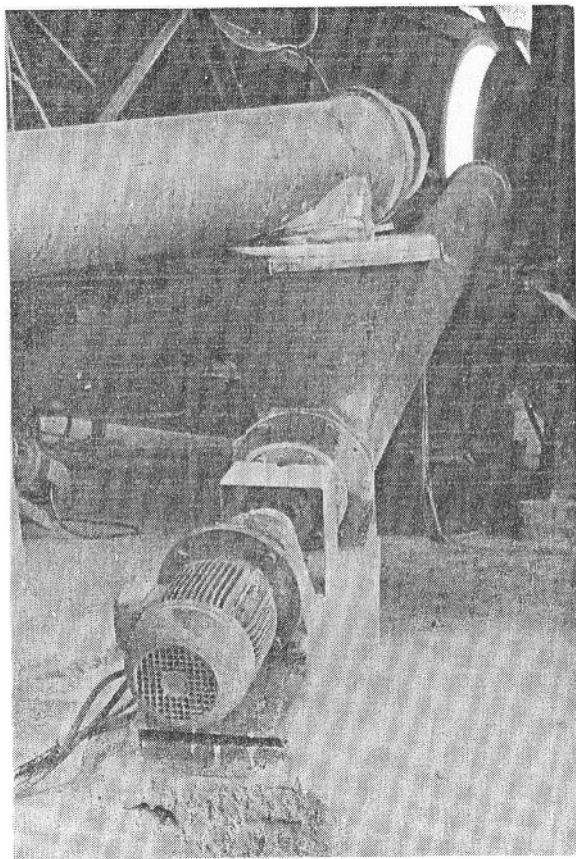


Fig. 4.23 DISPOSITIVO DE ALIMENTACION DEL FILLER

En ocasiones, puede ocurrir que:

- 1) el polvo recuperado sea excesivo, en cuyo caso hay que incorporar tan sólo la proporción necesaria,
- 2) el polvo recuperado no sea suficiente, en cuyo caso hay que añadir una cantidad complementaria de filler de una manera regular,
- 3) el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares exija emplear en su totalidad filler de aportación, en cuyo caso es necesario eliminar todo el filler recuperado.

En cualquiera de los casos, la cantidad y granulometría del filler recuperado, y del que queda adherido a los áridos (del 1 al 2%), depende de la regulación del sistema de calefacción y del tiro forzado del secador, así como de la alimentación primaria y de su humedad. Es necesario prestar la debida atención a esta regulación con objeto de que la uniformidad de ambos filleres, el que queda con los áridos y el recuperado, sea correcta, sobre todo en el caso de emplear el filler de recuperación.

Los silos de ambos filleres deberán estar adecuadamente protegidos de la humedad y provistos de dispositivos de alimentación a las tolvas correspondientes en buen funcionamiento y libres de obstrucciones.

4.2.1.7 Sistema de almacenamiento, calefacción y alimentación del ligante.

El sistema de almacenamiento, calefacción y alimentación del ligante deberá permitir su calentamiento a la temperatura de empleo y la recirculación de éste. En la calefacción del ligante se emplearán, preferentemente, serpentines de aceite o vapor, evitándose en todo caso el contacto del ligante con elementos metálicos de la caldera a temperaturas muy superiores a la de empleo. Todas las tuberías, bombas, tanques, etc, deberán estar provistos de dispositivos calefactores o aislamientos, para evitar pérdidas de temperatura. La descarga de retorno del ligante a los tanques de almacenamiento será siempre sumergida. Se dispondrán termómetros en lugares convenientes, para asegurar el control de la temperatura del ligante, especialmente en la boca de salida de éste al mezclador y en la entrada del tanque de almacenamiento. El sistema de circulación deberá estar provisto de una toma para el muestreo y comprobación del calibrado del dispositivo de dosificación.

Los tanques (fig. 4.24) van provistos de un dispositivo para calentar el ligante hasta la temperatura fijada en la fórmula de trabajo; el cual consiste en una serie de tuberías sumergidas en el ligante a través de las que circula un fluido caliente. El sistema varía, pudiéndose emplear vapor, aceite o los gases calientes producidos al quemar un combustible en un mechero. Los mejores procedimientos son los de aceite y vapor, porque se elimina prácticamente el peligro de sobrecalentamiento del ligante. En el caso de emplear los sistemas de calefacción por gases calientes de mecheros que queman combustibles líquidos, hay una cámara de combustión, que debe estar fuera del tanque o protegida con refractario; y es necesario un control cuidadoso de la temperatura, si los mecheros no son automáticos.

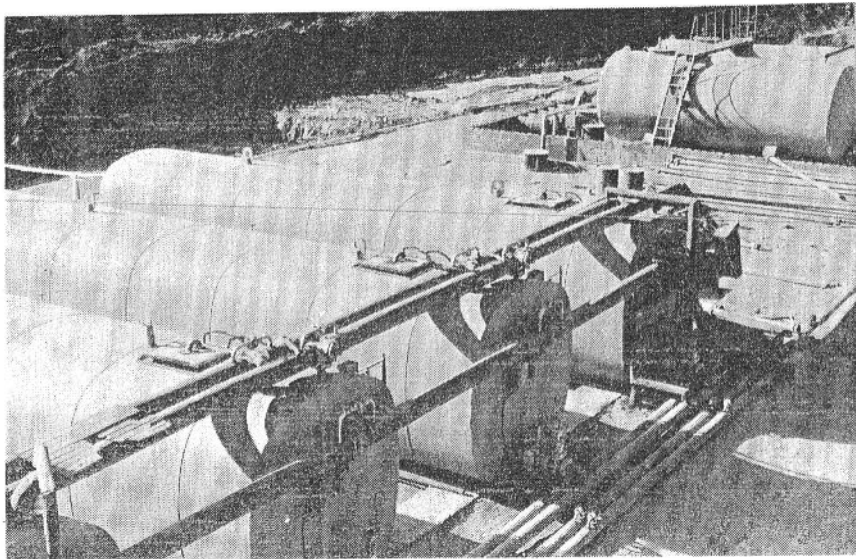


Fig. 4.24 TANQUES DE ALMACENAMIENTO DEL LIGANTE

Las tuberías de retorno que descargan en el tanque deberán estar sumergidas siempre por debajo del nivel para evitar la oxidación del ligante y provistas de aberturas por encima del nivel para facilitar el funcionamiento del circuito.

La instalación dispondrá de una válvula adecuada en el tanque o en la tubería de alimentación para poder tomar muestras.

Si los tanques van provistos de un dispositivo para medir altura del ligante, su inspección proporciona un medio directo de control de la cantidad media de ligante añadido a la mezcla a lo largo de un período de tiempo determinado.

4.2.1.8 Sistema de dosificación de los áridos, del filler y del ligante bituminoso

Los áridos preparados como se ha indicado anteriormente y eventualmente el filler seco, se pesarán o medirán exactamente y se transportarán al mezclador en las proporciones determinadas en la fórmula de trabajo.

El sistema de dosificación varía totalmente según que la instalación de fabricación sea de tipo continuo o discontinuo.

Instalaciones de fabricación de tipo discontinuo

Las instalaciones de tipo discontinuo deberán estar provistas de dispositivos de dosificación por peso, cuya exactitud sea superior al medio por ciento ($\pm 0,5\%$). Los dispositivos de dosificación del filler y del ligante tendrán una sensibilidad de medio kilogramo (0,5 kg). El ligante deberá ser distribuido uniformemente en el mezclador, y las válvulas que controlan su entrada no deberán permitir fugas ni goteos.

— Dosificación de los áridos y filler.

La dosificación de los áridos se realiza pesando en un recipiente cada uno de los áridos de los silos en caliente, de manera sucesiva y acumulativa, en un orden predeterminado hasta obtener el peso total para el amasijo. Este peso total está determinado por la capacidad del mezclador, y los pesos de cada uno de los áridos por la proporción en que deben entrar para componer la granulometría total prevista en la fórmula de trabajo (fig. 4.25).

En la mayoría de las instalaciones, el filler se pesa como un árido más, pero hoy en día lo corriente es que posean unas básculas adicionales exclusivas para este material (fig. 4.25).

Para comprobar la precisión de las balanzas el mejor procedimiento consiste en disponer de un conjunto de pesas, cuya suma sea proximadamente 1/5 a 1/10 de la capacidad de la balanza.

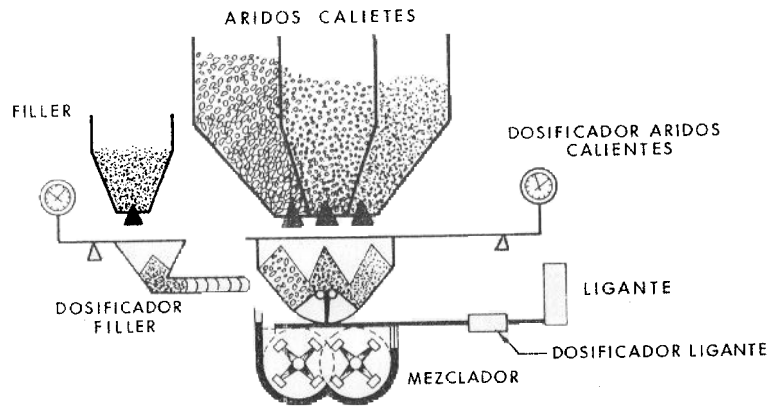


Fig. 4.25 DOSIFICACION DE ARIDOS, FILLER Y LIGANTE EN UNA INSTALACION DE TIPO DISCONTINUO

Después de comprobar la limpieza de las cuchillas, planos, contrapesos y demás elementos de la balanza, se comienza por poner, convenientemente centrados en el recipiente, el conjunto de pesas, anotando la lectura exacta.

Se retiran las pesas, y se echa en el recipiente árido hasta alcanzar la misma lectura, y a continuación se vuelven a colocar las pesas, y se anota esta segunda lectura, y así sucesivamente, hasta alcanzar la carga máxima.

Al mismo tiempo puede realizarse la comprobación de la sensibilidad; para lo cual en cada operación se añade un peso del orden de la mínima graduación de la escala, y se comprueba si la balanza reacciona y acusa el sobrepeso.

Operación	Peso verdadero de las pesas más el árido (kg)	Lectura de la balanza	Error de la balanza	
			kg	% en peso
1	100	101	+1	+1
2	200	202	+2	+1
3	300	298	-2	-0,6
4	400	400	0	0
5	500	499	-1	-0,2
6	600	603	+3	+0,5

Los recipientes de pesada mantendrán los áridos y filler temporalmente hasta que el mezclador esté vacío para recibir un nuevo amasijo. Los recipientes estarán suspendidos del brazo de una balanza de tal manera que su libertad de movimiento esté asegurada.

— Dosificación del ligante.

El ligante se dosifica de diferentes maneras, por ejemplo:

- Por peso, es decir, llenando un recipiente hasta el peso necesario para el amasijo y volcando el recipiente sobre la mezcladora.
- Por medida directa del volumen, en cuyo caso el ligante se mide en un recipiente, que generalmente sirve de cuerpo de bomba para su inyección.
- Por medida indirecta del volumen, mediante bombas continuas de caudal constante, que suministran la cantidad necesaria de ligante en un tiempo determinado, variando su velocidad de rotación.

En el caso a), el ligante cae por gravedad sobre la mezcla de áridos y es distribuido sobre el mezclador por un sistema de barras de orificios.

En los casos b) y c) generalmente el ligante se incorpora pulverizado, a mayor o menor presión según el sistema.

Si el ligante se dosifica en peso, la comprobación de la báscula se realiza de la misma forma que la de los áridos en cuanto a precisión y sensibilidad.

Si la dosificación se hace por bomba volumétrica, la comprobación se hace descargando, por medio de la llave que suelen llevar para este especial objeto, una o varias emboladas en un recipiente tarado. La operación se repite para otras varias cantidades, y se comprueba si las cantidades reales están de acuerdo con las indicadas por el dispositivo.

En el caso de bombas de caudal constante se comprueba, para varias velocidades, las cantidades suministradas en un período de tiempo determinado, vertiendo el ligante a un recipiente tarado, de la misma forma que en el caso anterior.

Es muy importante tener en cuenta que el caudal de ligante suministrado por la bomba varía con la temperatura, debido a la variación de densidad del ligante. Por ello, no sólo es imprescindible realizar el calibrado a la temperatura de trabajo, sino que la constancia de ésta se ha de vigilar muy rigurosamente, para mantener la proporción de ligante.

En el caso de bombas de caudal constante es aún más necesario que la temperatura del ligante sea uniforme, porque aparte de la relación densidad/temperatura, el caudal suministrado por la bomba está muy afectado por la viscosidad del ligante, y ésta depende también de la temperatura. Las variaciones de viscosidad anejas a la variación de la temperatura producen en la cantidad de ligante variaciones mayores que las producidas por la variación de la densidad.

Instalaciones de fabricación de tipo continuo.

En las instalaciones de tipo continuo, los silos de áridos clasificados calientes deberán estar provistos de dispositivos de salida que puedan ser ajustados exactamente y mantenidos en cualquier ajuste. Estos dispositivos deberán ser calibrados antes de iniciar la fabricación de un tipo de mezcla, en condiciones reales de funcionamiento.

El dosificador de ligante deberá estar sincronizado con los de alimentación de áridos y filler y deberá disponer de dispositivos para su calibrado a la temperatura y/o presión de trabajo, así como para la toma de muestras.

Como su nombre indica, en las instalaciones de fabricación de tipo continuo, llegan al mezclador cada uno de los áridos, el filler y el ligante de una forma continua. Como es natural, los mecanismos de alimentación han de estar sincronizados, con objeto de que la cantidad de material suministrada en todo momento guarde las proporciones debidas (fig. 4.26).

— Dosificación de los áridos y del filler.

La dosificación de los áridos se consigue por medio de compuertas o trampillas calibradas que descargan sobre cintas transportadoras. Variando la abertura de la compuerta, varía la sección transversal de material arrastrado por la cinta hacia el mezclador.

Generalmente, todas las cintas se mueven a la misma velocidad, y el mecanismo común de accionamiento está conectado a la bomba del ligante.

Una vez conseguidas las proporciones, aunque la velocidad del mecanismo de accionamiento común varíe, las proporciones de los distintos componentes se mantienen fijas. Esto, que teóricamente es correcto, en la práctica exige ligeros reajustes.

Algunas instalaciones modernas poseen dispositivos para desviar el material suministrado por cada silo a un recipiente tarado, lo que permitirá una mayor facilidad en el ajuste de las aberturas.

Otras instalaciones poseen mecanismos para pesar el material que transporta la cinta de alimentación en cada momento. Las lecturas de los indicadores deben comprobarse como en los casos anteriores.

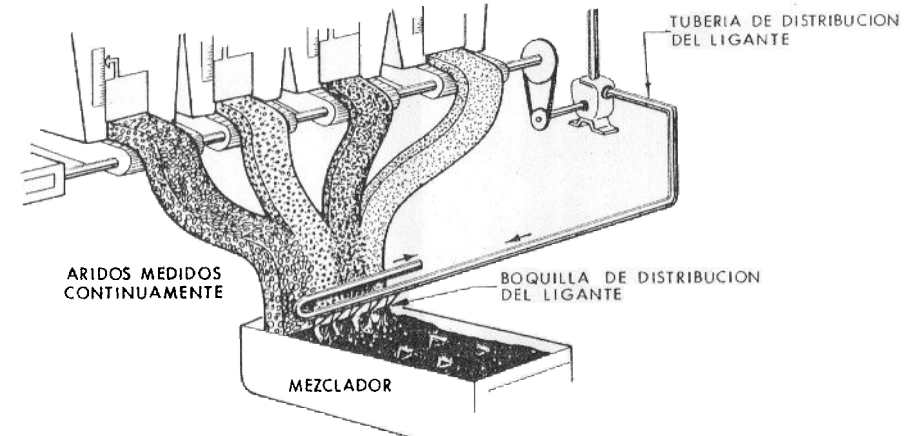


Fig. 4.26 DOSIFICACION DE ARIDOS Y LIGANTE EN INSTALACIONES DE TIPO CONTINUO

— Dosificación del ligante.

Las plantas continuas están equipadas para la dosificación del ligante con bombas de desplazamiento positivo. Los tipos más empleados son los de volumen constante, pero también se emplean los de volumen variable.

Si la bomba empleada es del tipo de caudal constante, mediante distintos juegos de piñones en el sistema de acoplamiento, se consigue ajustar aproximadamente la proporción de ligante a la producción que se quiere obtener; el ajuste final se hace regulando esta última.

Los fabricantes de instalaciones de tipo continuo dan, generalmente, datos sobre la cantidad de ligante suministrado por la bomba por cada vuelta para determinadas condiciones de temperatura y combinaciones de engranajes.

Estas instrucciones sirven de guía pero, no obstante, es conveniente comprobar la cantidad de ligante suministrada a la temperatura de trabajo elegida, para distintas combinaciones de engranajes, y compararla con los datos del fabricante. Esta comprobación debe hacerse sobre todo con las combinaciones de engranajes que se estima que van a ser necesarias.

Para ello la mayoría de las instalaciones tienen una llave que permite desviar el ligante de cada embolada, o el suministrado en un tiempo determinado, a un recipiente tarado.

Hecha la comprobación, los datos obtenidos se pueden representar en un gráfico similar al de calibrado de los alimentadores de los silos de áridos en caliente.

En el caso de bombas de caudal variable, su volumen se controla por medio de un indicador y éste debe comprobarse en las condiciones de trabajo en cuanto a temperatura.

Es muy importante tener en cuenta que el caudal de ligante suministrado por la bomba varía con la temperatura, debido a la variación de densidad del ligante. Por ello, no sólo es imprescindible realizar el calibrado a la temperatura de trabajo, sino que la constancia de ésta se ha de vigilar muy rigurosamente para mantener la constancia de la proporción de ligante.

En el caso de bombas de caudal constante es aún más necesario que la temperatura del ligante sea uniforme, porque aparte de la relación densidad/temperatura, el caudal suministrado por la bomba está muy afectado por la viscosidad del ligante y éste depende también de la temperatura. Las variaciones de viscosidad anejas a la variación de la temperatura producen en la cantidad de ligante variaciones mayores que las producidas por la variación de la densidad.

4.2.1.9 Mezclador

Es la unidad de la instalación donde, después de haber dosificado los materiales, se realiza la envuelta de las partículas minerales por el ligante bituminoso de una forma homogénea.

Aunque el fundamento sea el mismo, existen diferencias entre los mezcladores de las instalaciones de tipo discontinuo y continuo.

Instalaciones de tipo discontinuo.

Si la instalación de fabricación es de tipo discontinuo, después de haber introducido en el mezclador los áridos y el filler, se agregará automáticamente el material bituminoso de mezcla durante el tiempo especificado.

En mezcladores de ejes gemelos, el volumen de los áridos, del filler y del ligante no será tan grande que sobrepase los extremos de las paletas, cuando estas se encuentren en posición vertical.

La mayoría de las instalaciones de fabricación de tipo discontinuo emplean mezcladoras de ejes gemelos (fig. 4.27), que consisten en dos ejes paralelos provistos de paletas. Al girar en sentido contrario, las paletas baten y mueven la mezcla por todo el recipiente (fig. 4.28). En otras instalaciones, los ejes gemelos por su disposición, lanzan la mezcla hacia arriba.

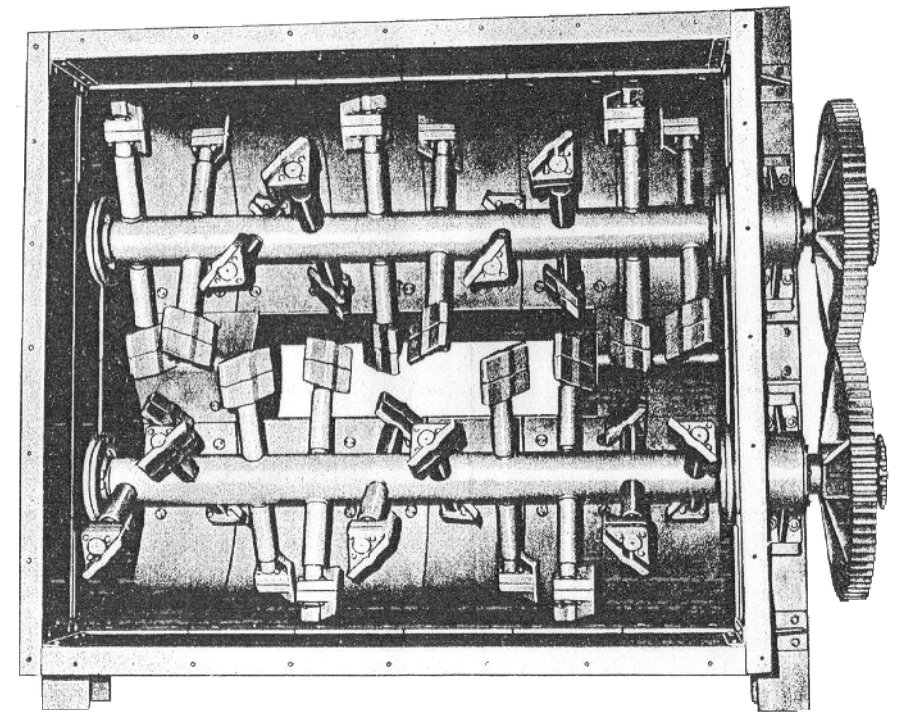


Fig. 4.27 MEZCLADORA DE UNA INSTALACION DE TIPO DISCONTINUO

En cualquiera de los casos, el mezclador ha de estar en buenas condiciones mecánicas, es decir, sin holguras ni desgastes excesivos que alteren las luces entre las propias paletas, y entre éstas y las paredes del mezclador. Es aconsejable no dejar que dichas luces rebasen la mitad del tamaño máximo del árido utilizado. En caso necesario habrán de reemplazarse las paletas.

El trabajar, tanto con menos como con más material, es contraproducente. En el caso de las mezcladoras descritas en primer lugar, las puntas de las paletas deben asomar ligeramente por encima de la masa. (fig. 4.28).

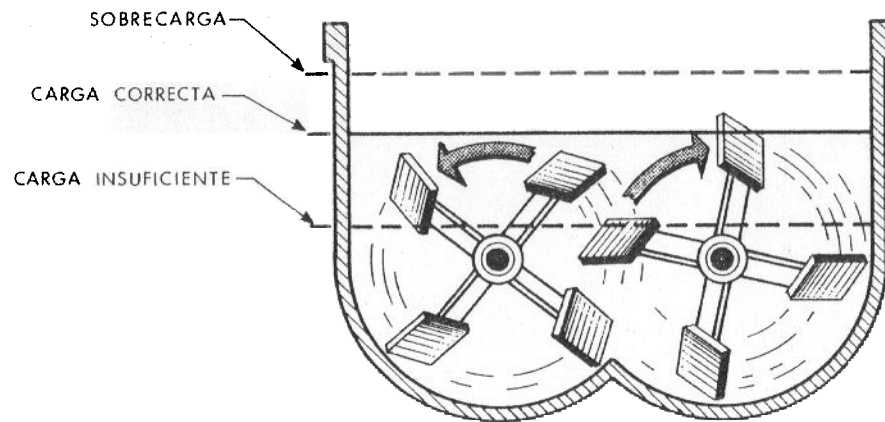


Fig. 4.28 MEZCLADORA DE EJES GEMELOS, ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO

La eficacia de la mezcla, y por tanto el tiempo de batido, están afectados por el orden en que llegan los distintos áridos al mezclador, y por la mejor o peor distribución del ligante sobre la masa de áridos. Para conseguir esta máxima eficacia, se puede variar el orden de la pesada de los áridos siendo recomendable que se efectúe por orden decreciente de tamaños. Si fuera necesario, se prescribirá un tiempo de mezcla en seco antes de añadir el ligante, a fin de que éste caiga sobre una masa homogénea.

El tiempo de mezcla debe ser el más corto posible, compatible con una mezcla homogénea. Para su determinación, es útil el método de la cuenta Ross (capítulo 5). La tendencia actual es forzar la presión de inyección, con objeto de que el tiempo de inyección del ligante sea prácticamente el de batido. Además, se utiliza una mayor velocidad de las paletas, y una forma y disposición apropiadas para hacer más enérgico el batido de la masa.

En la mayoría de las nuevas instalaciones se exige un dispositivo para medir el tiempo de mezcla que comienza al descargar la báscula de áridos, o al estar incorporados todos los materiales, y termina al abrir la compuerta de descarga.

La mayoría de las plantas disponen además de un contador de amasijos en conexión con el medidor de tiempos.

Durante el proceso de mezclado no debe haber derrames de material, tanto mineral procedente de las básculas de áridos y filler, como de ligante. Para evitarlo se inspeccionará el cierre estanco de compuertas y válvulas.

Instalaciones de tipo continuo

Si la instalación de fabricación de la mezcla es de tipo continuo, se introducirá en el mezclador, al mismo tiempo, la cantidad de ligante requerida, manteniendo la compuerta de salida a la altura que proporcione el tiempo teórico de mezcla especificado. La tolva de descarga se abrirá intermitentemente para evitar segregaciones en la caída de la mezcla al camión.

El mezclador de las instalaciones de tipo continuo será de ejes gemelos.

En esencia, su funcionamiento es idéntico a las de tipo discontinuo, con la diferencia de estar abierto uno de sus frentes, por donde se efectúa la descarga mediante una compuerta regulable, que permite variar la altura de la masa en el mezclador (fig. 4.29).

Su longitud es también mayor que la de las mezcladoras de tipo discontinuo. Por un extremo entran los áridos, y en la primera parte se realiza la mezcla en seco; sucesivamente se inyecta el betún, y se completa el batido antes de la descarga. La masa, entretanto, va avanzando merced a la inclinación dada a las paletas.

Para lograr homogeneidad en la mezcla, se regula el tiempo que permanece en el mezclador, por medio de la compuerta de descarga, o bien, en el caso de algunas instalaciones, variando la inclinación o velocidad de las paletas. El tiempo teórico de amasado es igual al cociente entre la capacidad del mezclador al nivel a que opera, en kg, y la producción, en kg/s. También a este tipo de instalaciones es aplicable lo expuesto anteriormente para instalaciones discontinuas sobre tiempo mínimo necesario para lograr una envuelta suficiente (fig. 4.30).

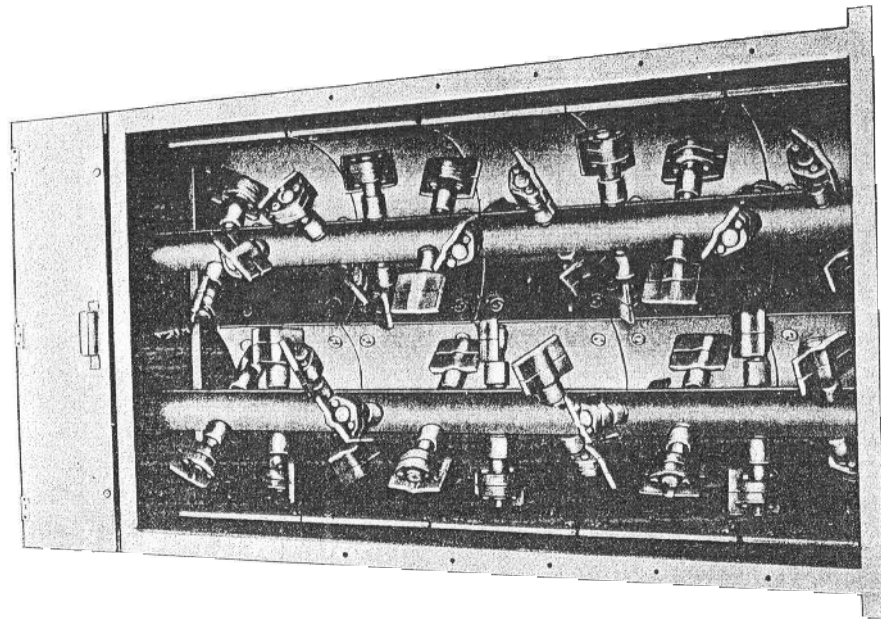


Fig. 4.29 MEZCLADORA DE UNA INSTALACION DE TIPO CONTINUO

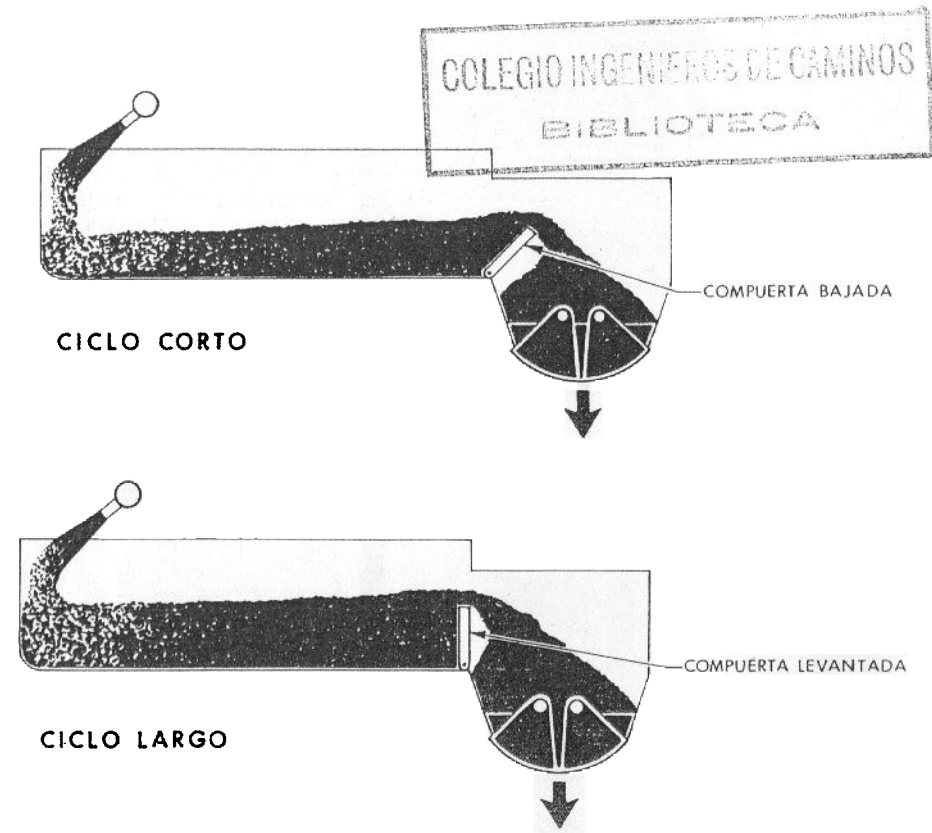


Fig. 4.30 INFLUENCIA DE LA POSICION DE LA COMPUERTA DE LOS MEZCLADORES DE TIPO CONTINUO EN EL TIEMPO DE AMASADO

4.2.1.10 Descarga del mezclador.

Según el tipo de instalación la mezcla puede:

- caer directamente al camión,
- caer a una cinta transportadora, o a un cangilón que la descarga al camión, o en un silo de almacenamiento desde donde se vierte al camión.

En todo caso, se ha de tener en cuenta que cuanto mayor sea la altura de descarga, mayor es el peligro de que la mezcla se segregue, y hay que evitar el exceso de altura del cono de material, porque favorece la segregación.

En el caso de emplear una cinta, además, ha de prestarse atención a una forma especial de segregación e incluso de empobrecimiento de finos de la mezcla; la cinta, por su velocidad, tiende a lanzar más lejos las partículas más gruesas; y, por otro lado, los finos tienden a adherirse a la cinta, con lo que el rascador que la limpia tiende a depositar estos finos en la parte opuesta a los gruesos lanzados. Cuando no funciona correctamente el rascador, los finos se pierden durante el retorno. Para evitar estos inconvenientes, la velocidad de la cinta ha de ser la menor posible, el rascador debe funcionar perfectamente y hay que evitar la adherencia de los finos a la correa, lubricándola con una pequeña cantidad de solución jabonosa.

En el caso de emplear un silo, las segregaciones pueden producirse al descargar el cangilón en el mismo, sobre todo al comenzar a llenarse, cuando la altura de descarga es máxima. Para evitarlo en lo posible, los silos tienen una forma apropiada (fig. 4.31).

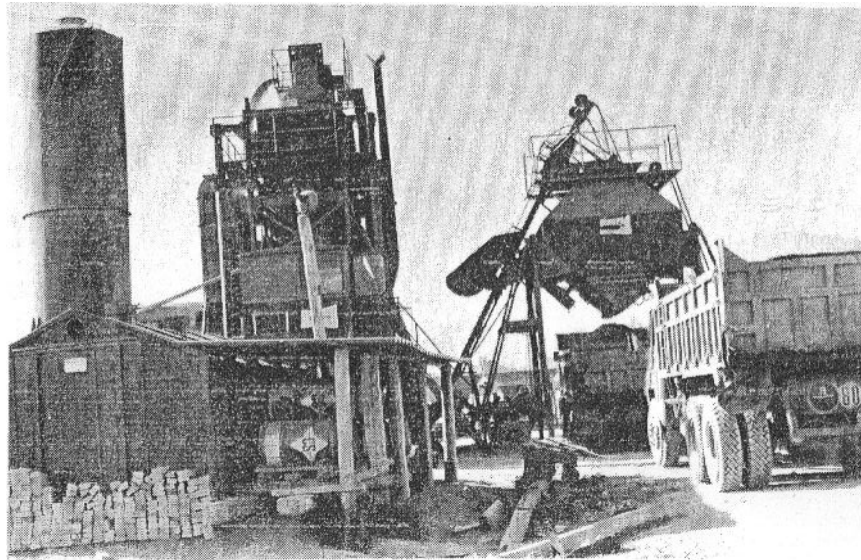


Fig. 4.31 FORMA DEL SILO

Los silos suelen estar calefactados y/o aislados, pero es preciso comprobar que el material no sufre pérdidas excesivas de temperatura.

Durante la descarga al camión hay que evitar, como en los casos anteriores, la formación de ángulos muertos y la altura excesiva del cono.

La mayoría de las plantas modernas poseen silos de almacenamiento de mezcla que descargan por el fondo al camión (fig. 4.32). La forma del silo puede ser cilíndrica, rectangular o de formas especiales para evitar ángulos muertos y segregaciones.

El empleo de silos supone un beneficio para la fabricación y la calidad de la mezcla porque evita las variaciones en composición y temperatura debidas a las paradas y arranques por falta de transporte, al hacer de elementos reguladores.

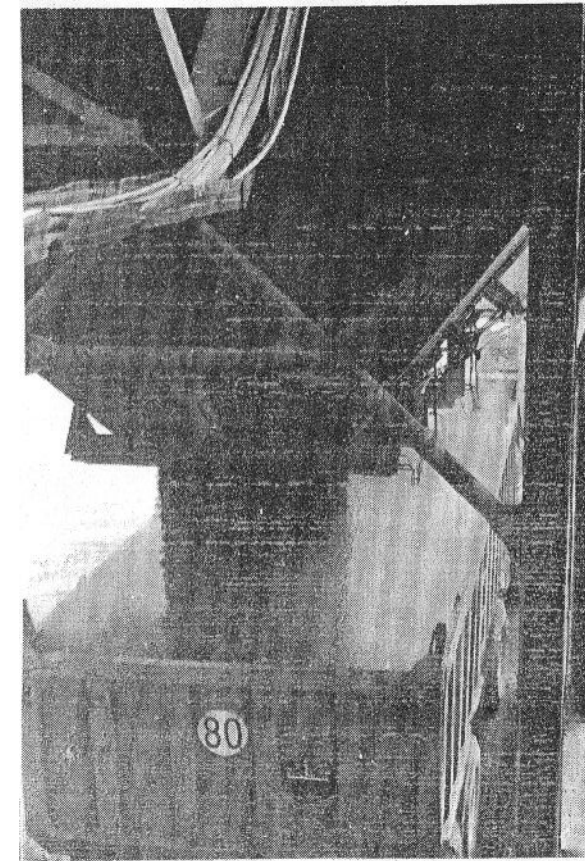


Fig. 4.32 DESCARGA DE LA MEZCLA EN EL CAMION

4.2.1.11 Automatismo de las instalaciones

Las plantas, según el grado de automatismo, se clasifican en manuales, semiautomáticas y automáticas. La tendencia actual es a un automatismo total con todos los mandos de control agrupados en una cabina central (fig. 4.33).

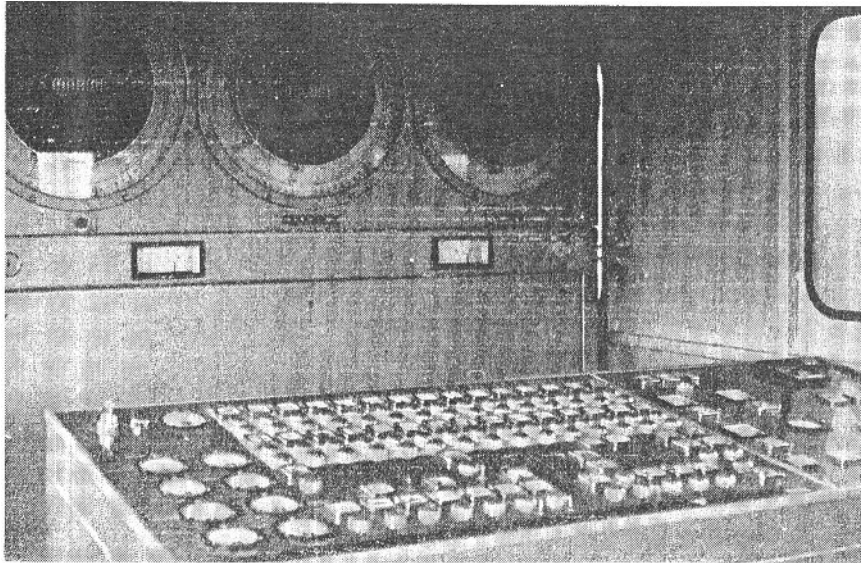


Fig. 4.33 PUESTO DE MANDO DE UNA INSTALACION AUTOMATICA

Aún en las plantas manuales, las palancas han sido sustituidas por mecanismos hidráulicos o de aire, accionados eléctricamente, en la abertura de silos, descarga de áridos, suministro de ligante y descarga del mezclador.

En las semiautomáticas las operaciones desde el pasaje de los áridos hasta la descarga del mezclador se suceden automáticamente.

Las plantas automáticas funcionan prácticamente sin actuar manualmente sobre ellas desde que se pone en marcha, regulando todos los mecanismos en la forma preestablecida e incluso parando cuando se produce alguna alteración, pudiendo emplearse registros para ciertas operaciones y para las temperaturas. Todos estos mecanismos actúan mediante el sistema de cartas perforadas, circuitos impresos, preselección, etc.

En ellas es posible automatizar la dosificación en frío, el funcionamiento del secador, la altura de áridos en los silos de árido caliente, la dosificación de áridos, filler y ligante, la mezcla y la descarga, pudiendo actuar a distancia desde el puesto de mando cuando se considere necesario algún cambio. El automatismo total es sobre todo imprescindible en plantas fijas, que fabrican durante la jornada distintos tipos de mezclas.

4.2.1.12 Instalaciones especiales para la fabricación de mezclas bituminosas

Podrán utilizarse otros tipos de instalaciones de diferente concepción siempre que sean aprobadas por el Director, previos los ensayos que demuestren la bondad de la mezcla con ellos fabricada.

Como consecuencia del problema de la contaminación de polvo que producen las instalaciones normales si no están dotadas de sistemas de recuperación por vía húmeda o por filtros de saco, se han venido realizando estudios durante los últimos años con nuevos diseños de instalaciones.

Estos nuevos tipos de instalaciones se basan en la utilización de un proceso de mezclado de los áridos húmedos con el ligante bituminoso, en presencia o no de un aditivo, con lo que se logra en principio una dispersión del ligante en la masa húmeda, la que, por el calentamiento progresivo va simultáneamente eliminando la humedad y recubriendo las partículas del árido, hasta las más finas, terminando en la última fase por una elevación de la temperatura de la mezcla para su puesta en obra.

Existen fundamentalmente dos tipos: las plantas europeas, de tipo discontinuo, que operan por amasadas de áridos perfectamente dosificados en frío, incluyendo el control de la humedad, las cuales emplean un mezclador de turbulencia para dispersar en la masa húmeda del árido ya pesado, el aditivo y el ligante caliente inyectado a presión, con lo que se consigue su dispersión en forma de finos glóbulos. Este aglomerado puede o bien almacenarse, "aglomerado pasivo", o bien pasar directamente a un tambor secador en contracorriente donde se realiza lo que se denomina "proceso de activación" en una atmósfera más inerte por su pobreza en oxígeno, en el que se elimina el agua y se envuelven y calientan los áridos, todo ello facilitado por dos factores, el paso del ligante por una fase intermedia de emulsión de menor viscosidad y la acción del aditivo que cambia la superficie del árido de hidrófila en oleófila (fig. 4.34).

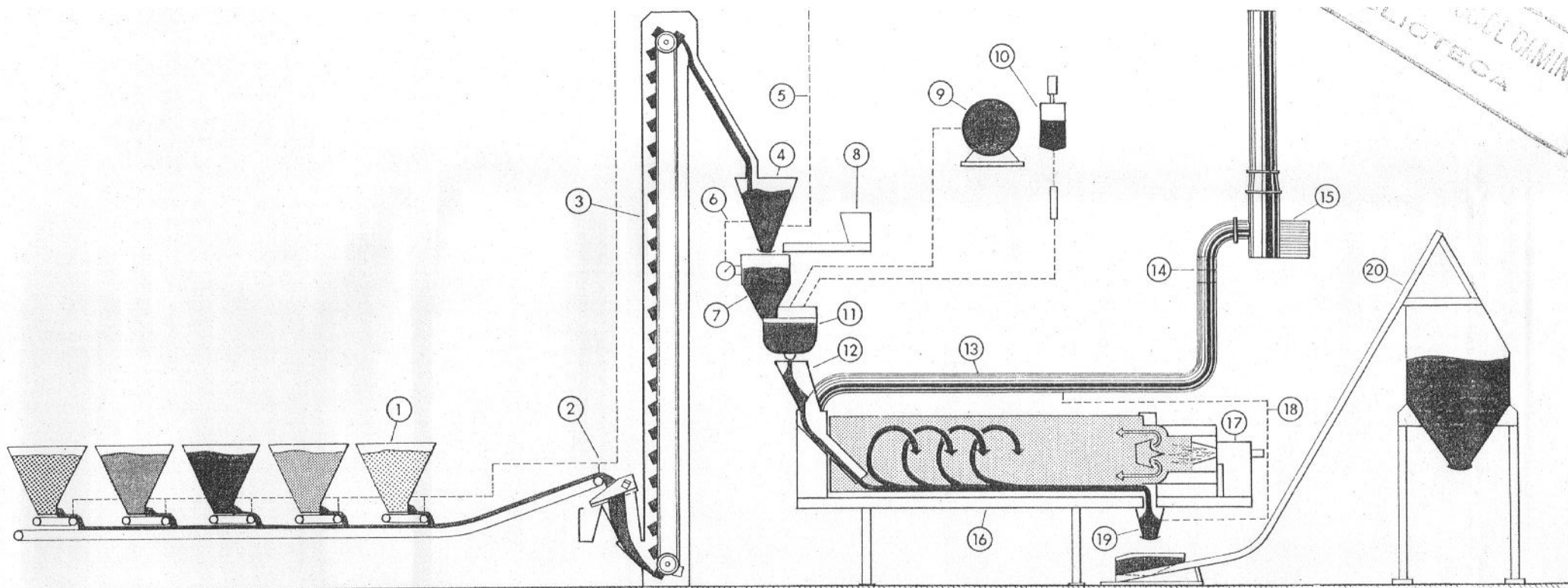
En las plantas de patente americana, las instalaciones son de tipo continuo, es decir, los áridos dosificados en frío entran en un tambor secador especial, a favor de corriente. En unos procesos, el agua y el ligante se añaden previamente a la entrada del secador, y en otros, una vez dentro y sufrido un calentamiento previo con o sin añadir aditivos, se provoca primeramente la dispersión, la fase de emulsionamiento y finalmente la eliminación simultánea de humedad y la envuelta de los áridos y filler a lo largo del secador-mezclador.

En otras patentes, previa determinación de la humedad óptima, se incorpora el ligante pulverizado en el secador-mezclador (fig. 4.35).

Entre las ventajas de este tipo de plantas está la eliminación de la mayor parte de la emisión de polvo y su menor coste al suprimir todos los sistemas de cribado en caliente, silos, dosificación y recuperación de polvo y, según los fabricantes, la menor oxidación del ligante por trabajar a menor temperatura. Otras ventajas son, en el caso del sistema europeo la posibilidad de almacenamiento y en el caso de alguna de las patentes americanas el estudio del proceso para que se produzca una emulsión inversa del ligante que permite una puesta en obra a más bajas temperaturas. En el caso de emplear aditivos éstos pueden mejorar la adhesividad. En conjunto el proceso de fabricación es más económico.

En cuanto a los inconvenientes; hay que disponer de unos áridos de gran calidad, bien clasificados, sobre todo en el caso del árido fino, con las proporciones justas de filler necesario para la mezcla, lo que debe exigir un tratamiento durante o después del machaqueo por lo que su precio es más elevado. La dosificación primaria debe ser muy cuidada.

En Europa, y sobre todo en Estados Unidos, el empleo de estas plantas ha pasado de la fase de experimentación y los datos de la literatura técnica parecen confirmar un menor endurecimiento del ligante, una mejor adhesividad y una mejor compactación de la mezcla con contenidos de ligante ligeramente más bajos.



1 DOSIFICADOR PRIMARIO DE ARIDOS
 2 CRIBA
 3 ELEVADOR EN FRIO
 4 DEPOSITO INTERMEDIO DE ARIDOS
 5 REGULACION DE NIVEL

6 COMPENSADOR DE HUMEDAD
 7 BASCULA PARA ARIDOS
 8 FILLER DE APORTACION
 9 INCORPORACION DE LIGANTE
 10 INCORPORACION DE ADITIVO

11 MEZCLADOR DE TURBULENCIA
 12 ALIMENTADOR
 13 SALIDA DE VAPORES
 14 TRAMPILLA REGULADORA
 15 VENTILADOR DE ASPIRACION

16 ACTIVADOR
 17 GENERADOR DE GAS CALIENTE
 18 REGULACION AUTOM. DEL REGULADOR
 19 DEPOSITO DE MEZCLA
 20 SILO DE ALMACENAMIENTO MEZCLA

Fig. 4.34 ESQUEMA DE INSTALACION CON DISPOSITIVO PARA LA ELIMINACION DEL POLVO, MODELO EUROPEO

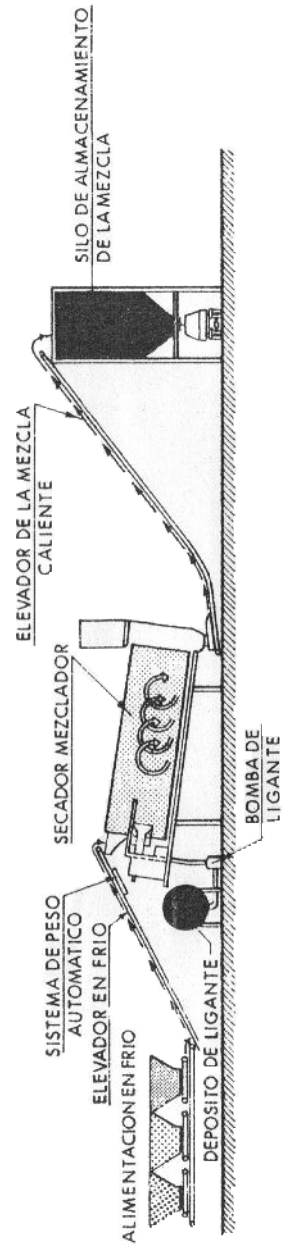


Fig. 4.35 ESQUEMA DE INSTALACION CON DISPOSITIVO PARA LA ELIMINACION DEL POLVO, MODELO AMERICANO

4.2.1.13 Instalaciones para la fabricación de mezclas en frío.

La instalación necesaria para la fabricación de mezclas en frío puede variar ampliamente según los tipos de mezclas a fabricar.

En el caso de mezclas gruesas, un dosificador en frío y un mezclador de ejes gemelos o de tambor puede ser suficiente para lograr la mezcla.

Las mezclas de más calidad se deben fabricar en plantas continuas o discontinuas, similares a las de mezcla en caliente, en las que en todo caso se elimina el calentamiento o se pasan directamente los áridos del dosificador en frío al sistema de dosificación de la mezcla y de allí al mezclador, donde se realiza la envuelta con o sin calentamiento del ligante bituminoso.

Naturalmente se elimina el sistema de recuperación de polvo y en muchos casos el cribado de los áridos.

La inspección a realizar en estas instalaciones es similar a la descrita en los apartados precedentes.

4.2.2 Inspección de los elementos de transporte

Consistirán en camiones de caja lisa y estanca, perfectamente limpia y que deberá tratarse con un producto, para evitar que la mezcla se adhiera a ella, cuya composición y dotación deberá haber sido aprobada por el Director.

La forma de la caja será tal que durante el vertido en la extendedora no toque a la misma.

Los camiones deberán estar provistos de una lona o cobertor adecuado para proteger la mezcla caliente durante su transporte.

Después de dar el producto para evitar la adherencia de la mezcla, es conveniente levantar la caja para que escurra el exceso del mismo.

La forma y capacidad de la caja del camión es de singular importancia para la buena realización del transporte y de la alimentación a la extendedora.

La caja debe ser corta y alta y de una capacidad de acuerdo con la tolva de recepción de la extendedora. Este tipo de caja produce menos segregaciones durante la carga de la mezcla y en la descarga no toca a la extendedora ni sobrecarga la tolva de recepción.

La trampilla de descarga debe estar acondicionada para regular la descarga y si es posible evitar segregaciones.

La lona o cobertor debe tapar la caja y quedar bien sujeta durante el transporte.

La flota de camiones, apropiada para la producción prevista, deberá ser lo más homogénea posible en carga y velocidad.

Es necesario tener además en cuenta el peso total del camión cargado, cuando se trabaja en zonas de pendiente, por si falta potencia a la extendedora para empujar al camión.

4.2.3 Inspección de la maquinaria de extensión

Las extendedoras serán autopropulsadas, dotadas de los dispositivos necesarios para extender la mezcla con la configuración deseada y un mínimo de precompactación.

El ancho de extendido mínimo y máximo se fijará en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

La capacidad de la tolva será la adecuada para el tamaño de la máquina, así como la potencia de tracción.

Se comprobará, en su caso, que los ajustes del enrasador y de la maestra se atienen a las tolerancias mecánicas especificadas por el fabricante y que dichos ajustes no han sido afectados por el desgaste.

Si a la extendedora pueden acoplarse piezas para aumentar su ancho, éstas deberán quedar perfectamente alineadas con las correspondientes de la máquina.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o, en su defecto, el Director podrá exigir que la extendedora esté equipada de dispositivo automático de nivelación.

En casos justificados el Director podrá autorizar el empleo de motoniveladoras para la extensión de la mezcla en frío.

La extendedora es la máquina empleada para distribuir de manera uniforme, y generalmente con cierto grado de compactación inicial, la mezcla bituminosa.

Deberá ser capaz de extender la cantidad de mezcla con que se la alimenta a una velocidad determinada, tal que el enrasador de la extendidora reparta, vibre y apise adecuadamente de forma continua, la mezcla suministrada, reduciendo al mínimo las paradas.

La mayoría de las extendedoras constan de dos partes: el vehículo tractor y el dispositivo de extensión y eventual compactación de la mezcla (fig. 4.36).

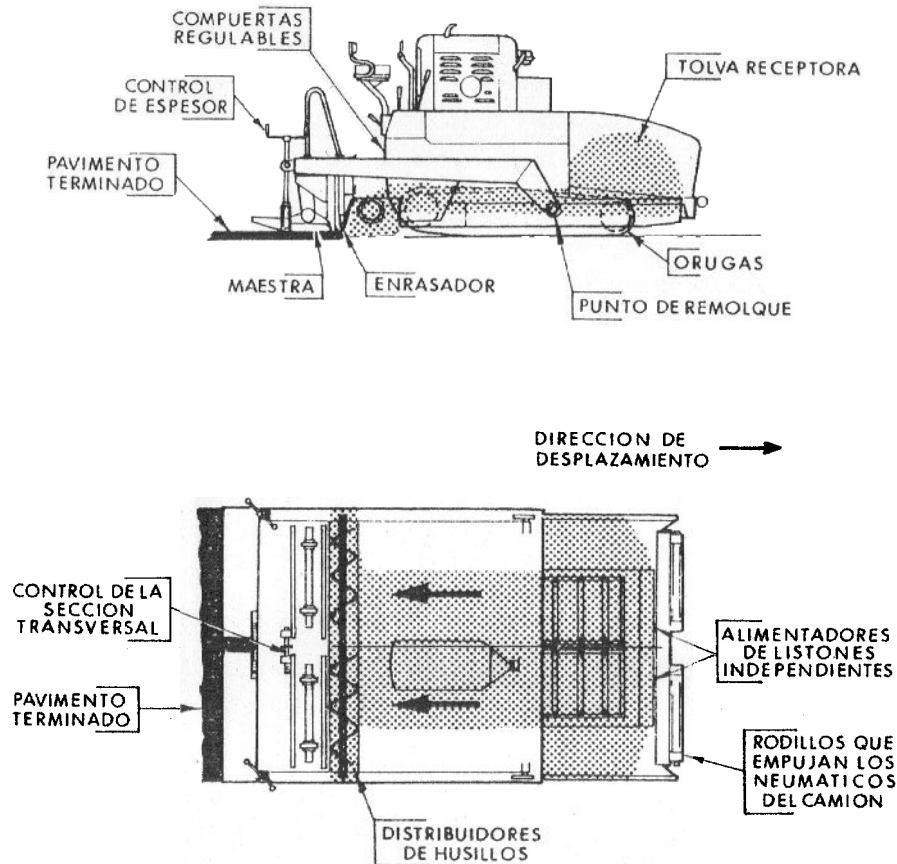


Fig. 4.36 ESQUEMA DE UNA EXTENDEDORA Y PROCESO DE TRABAJO

El vehículo tractor consiste en un bastidor, dotado de orugas o neumáticos, sobre el cual va montada la tolva de recepción de la mezcla (fig. 4.37). En el fondo lleva un dispositivo para hacer pasar la mezcla a la parte posterior donde un distribuidor de husillo (fig. 4.38) la reparte uniformemente delante del dispositivo de extensión.

El dispositivo de extensión consta de una maestra que, generalmente, lleva en el frente de avance un dispositivo enrasador de forma variable (fig. 4.39); todo ello soportado por dos brazos que se apoyan pivotando en dos soportes del vehículo tractor. El conjunto bascula, permitiendo la regulación del espesor de la capa a extender, porque al ascender o descender el punto de tracción, varía el ángulo de ataque de la maestra y automáticamente deja mayor o menor espesor de mezcla hasta recuperar su posición de equilibrio paralela a la superficie de la carretera, amortiguando y tendiendo a corregir las irregularidades de la rasante longitudinal de la superficie subyacente (fig. 4.40). Esta corrección es mayor o menor según la longitud de las irregularidades.



Fig. 4.37 TOLVA DE RECEPCION

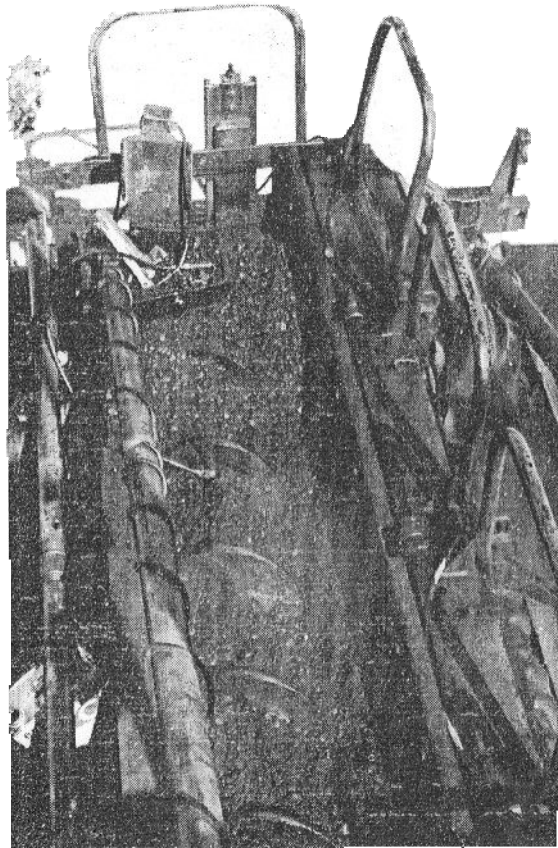


Fig. 4.38 DISTRIBUIDOR DE HUSILLO

ELEMENTOS DE LA MAESTRA ENRASADORA FLOTANTE AUTONIVELADORA

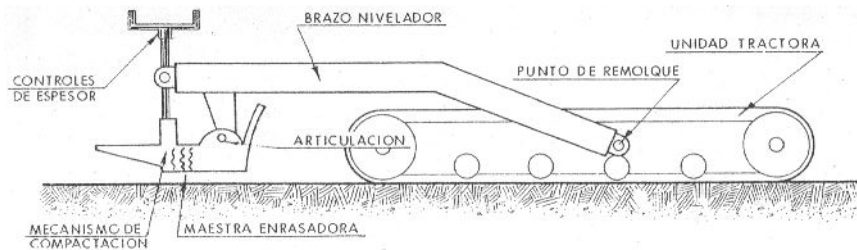
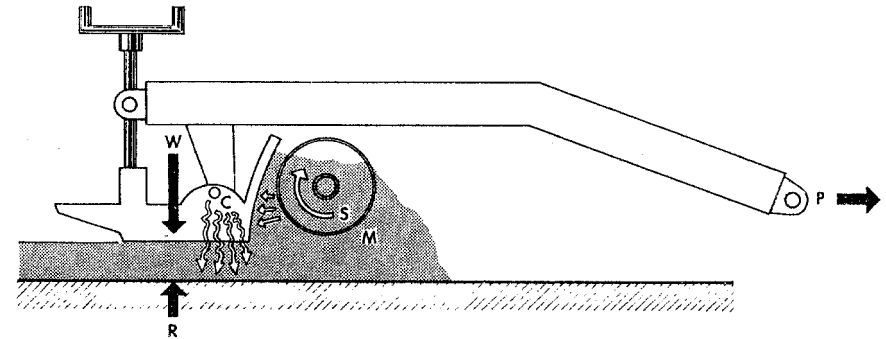


Fig. 4.39

FUERZAS PRINCIPALES QUE ACTUAN EN LA MAESTRA ENRASADORA FLOTANTE



- P = FUERZA DE TRACCION
- W = PESO DE LA MAESTRA ENRASADORA
- R = REACCION DEL MATERIAL DE PAVIMENTACION
- M = RESISTENCIA DEL MATERIAL AL MOVIMIENTO HACIA DELANTE DE LA MAESTRA ENRASADORA
- C = FUERZA DE COMPACTACION
- S = ROTACION DEL TRANSPORTADOR DEL TORNILLO SIN FIN

Fig. 4.40

El dispositivo enrasador tiene como misión el dejar la mezcla distribuida a un nivel ligeramente inferior al del borde de ataque de la maestra; forzándola a pasar por debajo de la misma, permitiendo que ésta avance sin obstáculos y ejerza su acción de planchado al ser arrastrada por el vehículo tractor.

El centro de la maestra posee una articulación regulable para dar bombeo a la capa cuando ello sea necesario. Con objeto de que la mezcla no se adhiera a la maestra ésta va calentada, por mecheros o eléctricamente.

La calefacción de la maestra no se debe emplear para calentar mezclas frías. El uso indebido de la calefacción puede quemar el ligante en contacto con la maestra.

Cada fabricante da las instrucciones más adecuadas para el correcto funcionamiento de su extendidora; pero existen unos principios fundamentales que son comunes a todas.

La alimentación desde la tolva debe regularse con gran cuidado, con objeto de que siempre exista delante de la maestra, y en toda su longitud, material suficiente. Los distribuidores que reparten la mezcla deben funcionar lo más constantemente posible. Para ello, debe haber una relación adecuada entre las

aberturas de las compuertas de salida de la tolva y la velocidad de la extendidora. Lo ideal es que los distribuidores permanezcan cubiertos en toda su longitud hasta los 2/3 de su altura, pues en caso contrario se producirá exceso, defectos y segregaciones del material.

El dispositivo enrasador, por su funcionamiento, o por el movimiento vertical de que va dotado en ocasiones, ejerce a la vez una mayor o menor precompactación de la mezcla (fig. 4.41).

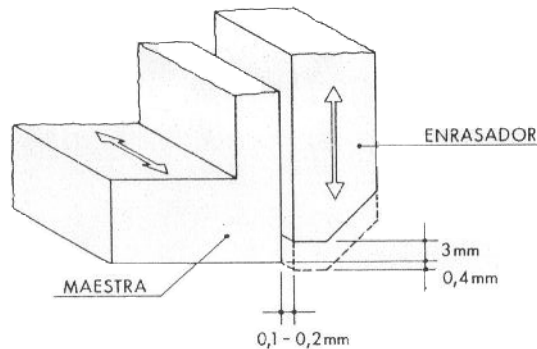


Fig. 4.41 ESQUEMA DEL MOVIMIENTO DEL ENRASADOR Y MAESTRA

El borde inferior del enrasador debe sobrepasar ligeramente el borde de ataque de la maestra; no debe presentar desgastes diferenciales, y conservar su forma. Al desgastarse, o al no sobrepasar debidamente el borde de ataque de la maestra, no ejerce bien su acción enrasadora, la maestra arrastra la mezcla, y sobre todo a los áridos más gruesos, dejando detrás de ellos huecos provocados por el arrastre.

Cuando el dispositivo enrasador sobrepasa excesivamente el borde de ataque de la maestra, aparte de impedir la acción de planchado de ésta en todo su ancho, hace que se vaya acumulando en su superficie la pasta más fina de la mezcla, la cual se desprende ocasionalmente, dejando acumulaciones de mortero en la superficie.

Para el adecuado funcionamiento, es preciso también que la separación entre el enrasador y el borde de ataque de la maestra sea correcta; ni excesiva, que haga que se interponga pasta fina del material y dificulte el movimiento del enrasador; ni poca, porque el roce crea virutas y protuberancias en el borde de la maestra, que afectan al acabado de la superficie.

Cuando las irregularidades son mayores, o es necesario realizar una mayor corrección del perfil de la carretera, se puede recurrir a actuar manualmente sobre los mecanismos de que va provista la maestra a ambos extremos, variando el ángulo de ataque de la misma o, mejor, automáticamente, por medio de extendidoras dotadas de mecanismos de control automático de la pendiente longitudinal y transversal.

En las extendidoras dotadas de dispositivo de nivelación automático, (fig.4.42), el perfil a seguir se materializa mediante una línea de referencia sobre la que se apoya un palpador que actuando electrónicamente sobre un sistema hidráulico o un servomotor puede, o bien variar el ángulo de ataque o, lo que es mejor, mantener paralela la maestra a la línea de referencia, elevando o bajando el punto de arrastre de la misma.

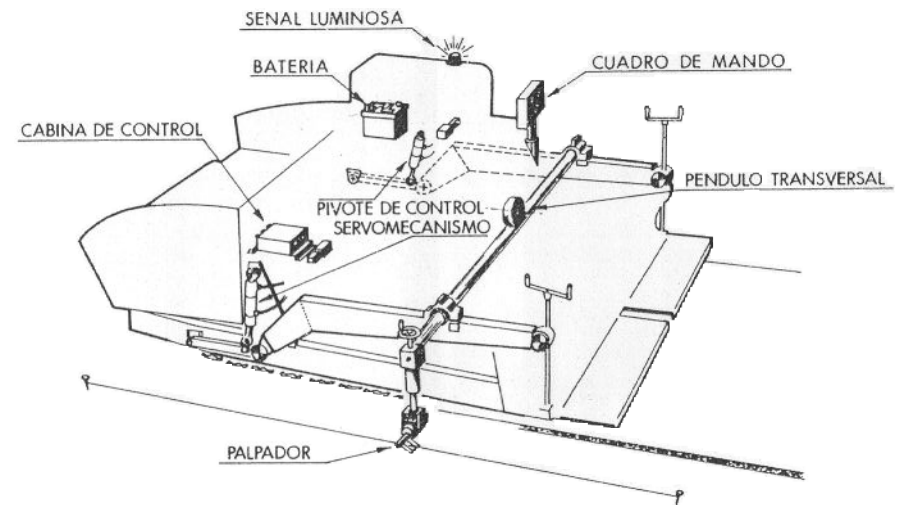


Fig. 4.42 DISPOSITIVO DE NIVELACION AUTOMATICO

Así mismo las máquinas van dotadas de un péndulo situado en posición central que permite mantener también automáticamente las diferencias de altura necesarias entre los dos extremos de la maestra para conseguir la pendiente transversal prevista.

El establecimiento del hilo de referencia es una operación laboriosa y delicada, pues apoyándose en una cuidadosa topografía han de fijarse clavos de referencia entre 5 y 10 m, teniendo en cuenta el espesor de la capa y su

compactación. El hilo de acero ha de ir bien tensado, porque de otro modo su propio peso, o la presión del palpador, producirá una serie de ondas entre los apoyos rígidos del hilo.

Sobre capas ya extendidas electrónicamente, o cuando las irregularidades son menores, se puede y deben emplear referencias móviles de mayor o menor longitud, que son arrastradas paralelamente a la extendedora y permiten conseguir el perfil. Las referencias de tipo patín tienden a dejar capas más gruesas y las de ruedas en los extremos capas más delgadas. Por último el empleo de patines cortos como referencia, sobre capas ya niveladas, permite realizar una buena nivelación transversal entre capas contiguas.

Como regla general la nivelación con hilo deberá hacerse en las capas de base o regularización; en las intermedias deberán emplearse las referencias móviles, y en las capas de rodadura deberá dejarse trabajar a la extendedora sin regulación automática, es decir, a espesor constante.

El Equipo de Control comprobará el buen funcionamiento de la propia máquina; los desgastes y alturas de la enrasadora y maestra, así como la alineación de piezas suplementarias; el funcionamiento de los calentadores y de los vibradores, cuando la maestra vaya provista de ellos; la alineación de la maestra o el bombeo central, caso de ser necesario, en las dotadas de dispositivo electrónico y el funcionamiento correcto del palpador y del péndulo, así como de los reguladores de altura de la mezcla delante de la maestra, de que también van dotadas estas máquinas.

4.2.4 Inspección de la maquinaria de compactación

Deberán utilizarse compactadores autopropulsados de cilindros metálicos, estáticos o vibrantes, triciclos o tándem, de neumáticos o mixtos. El equipo de compactación será aprobado por el Director a la vista de los resultados obtenidos en el tramo de prueba.

Todos los tipos de compactadores estarán dotados de dispositivos para la limpieza de las llantas o neumáticos durante la compactación y para mantenerlos húmedos en caso necesario, así como de inversores de marcha suaves.

Los compactadores de llanta metálica no deberán presentar surcos ni irregularidades en las mismas. Los compactadores vibrantes dispondrán de dispositivos para eliminar la vibración al invertir la marcha, siendo aconsejable que el dispositivo sea automático. Los de neumáticos tendrán ruedas lisas, en número, tamaño y disposición tales que permitan el solape de las huellas de las delanteras y traseras, y, en caso necesario, faldones de lona protectores contra el enfriamiento de los neumáticos.

Las presiones lineales, estáticas o dinámicas, y las presiones de contacto de los diversos tipos de compactadores, serán las necesarias para conseguir la compacidad adecuada y homogénea de la mezcla en todo su espesor, pero sin producir roturas del árido, ni arrollamientos de la mezcla a las temperaturas de compactación.

La operación final de la construcción de una capa bituminosa consiste en lograr densificar la mezcla mediante el proceso de apisonado, a fin de que alcance la compacidad necesaria prevista en su proyecto, a la cual presenta sus mejores características mecánicas y estructurales para resistir el tráfico y los factores climatológicos, todo ello conservando la geometría superficial dada por la extendedora.

Para conseguir esta densificación hay que aportar una energía, uniformemente distribuida, por medio del equipo de compactación, lo cual debe ensayarse previamente en tramos experimentales.

Para la organización de este equipo de apisonado se dispone de: apisonadoras estáticas de rodillos metálicos lisos, triciclos, tándem de dos rodillos o de tres; compactadores de neumáticos; compactadores de rodillos metálicos vibrantes; y por último compactadores mixtos neumáticos-vibrantes.

Las apisonadoras estáticas de rodillos metálicos están caracterizadas por una presión lineal teórica sobre la generatriz de los rodillos, función del peso, distribución y ancho de las ruedas, variables entre ciertos límites, fundamentalmente por el lastrado. Esta presión varía normalmente entre 20-50 kgf/cm (2 a 5 N/m) para los ejes delanteros y entre 30-80 kgf/cm (3 a 8 N/m) para los traseros motores (figuras 4.43 y 4.44).

Estas presiones ejercidas son variables durante el proceso de compactación por el hundimiento de las llantas en la mezcla plástica. Por ello los rodillos metálicos ejercen presiones más débiles al comienzo de la compactación junto con un mayor efecto de amasado, aumentando esta presión a medida que progresa el apisonado, al tiempo que disminuye su efecto en profundidad, por lo que en principio son más aptos para un apisonado inicial, o bien final de eliminación de marcas y para el trabajo en bordes y juntas; son menos eficaces en capas gruesas. Generalmente se emplean los triciclos en apisonado inicial, bordes y juntas, y los tandem de dos, o mejor de tres ejes, en el apisonado final. Los pesos varían normalmente entre 5 y 20 toneladas.

Las características de los compactadores de neumáticos están fijadas por tres factores principales: carga total por rueda, presión del neumático y rigidez y otras características del mismo. Para los distintos valores de estos factores se

produce en una superficie determinada una presión de contacto que determina el efecto compactador de la máquina. El efecto compactador en profundidad es mayor que el de los rodillos metálicos y, para la misma presión de contacto, aumenta con la superficie de contacto, es decir, con el mayor diámetro y balón. El efecto de amasado y en profundidad es grande. Por ello son máquinas más versátiles, susceptibles de emplearse a bajas cargas y presiones como compactador inicial y a altas presiones y cargas como compactador principal. Con dispositivos adecuados pueden emplearse apisonando en caliente o bien en húmedo (fig. 4.45).

Las apisonadoras vibrantes emplean rodillos metálicos y suelen ser de menor peso, debiendo su efecto compactador a la energía dinámica que produce su vibración, caracterizada por una determinada amplitud y frecuencia, en muchos casos regulables. Las frecuencias y amplitudes varían entre 1.500 y 400 ciclos por minuto y de 0,4 a 1,0 respectivamente, su efecto es grande en profundidad y también son eficaces en capas delgadas. Para capas gruesas suelen emplearse amplitudes altas y frecuencias bajas y para las delgadas al contrario.

Los rodillos mixtos neumáticos-vibrantes reúnen las ventajas de ambos métodos y son en la actualidad muy utilizados (fig. 4.46).

El Equipo de Control deberá comprobar el perfecto funcionamiento de la maquinaria y que el cambio de sentido de marcha se realice de forma suave para que no se produzcan arrollamientos de la mezcla. En el caso de los rodillos vibrantes debe desconectarse la vibración al invertir la marcha.

En las apisonadoras metálicas deberá comprobarse el estado de los rodillos en cuanto a marcas y defectos y el sistema de limpieza y rociado de agua. Se pesarán y lastrarán de acuerdo con las necesidades de la compactación.

En los de neumáticos se comprobará el estado de las ruedas, su presión, el peso total y el lastre necesario, además del buen funcionamiento de la máquina. Si es necesario estarán dotados de dispositivos de limpieza y mojado, o bien de faldones y calentadores para el apisonado en caliente.

En los vibrantes se comprobará el estado de los rodillos, rascadores y rociadores y el dispositivo de inversión suave y desconexión de la vibración. Asimismo, si disponen de ellos, el buen funcionamiento de los variadores de amplitud y frecuencia de vibración.

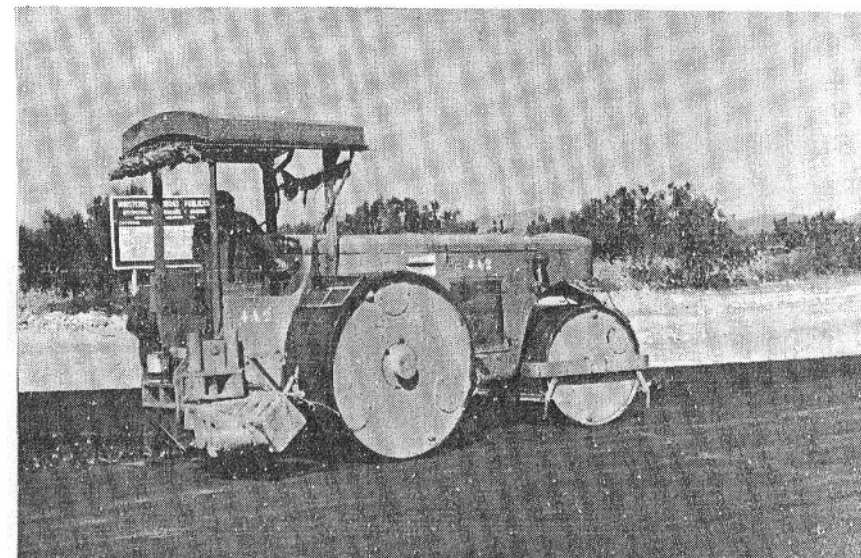


Fig. 4.43 APISONADORA TRICICLO ESTATICA

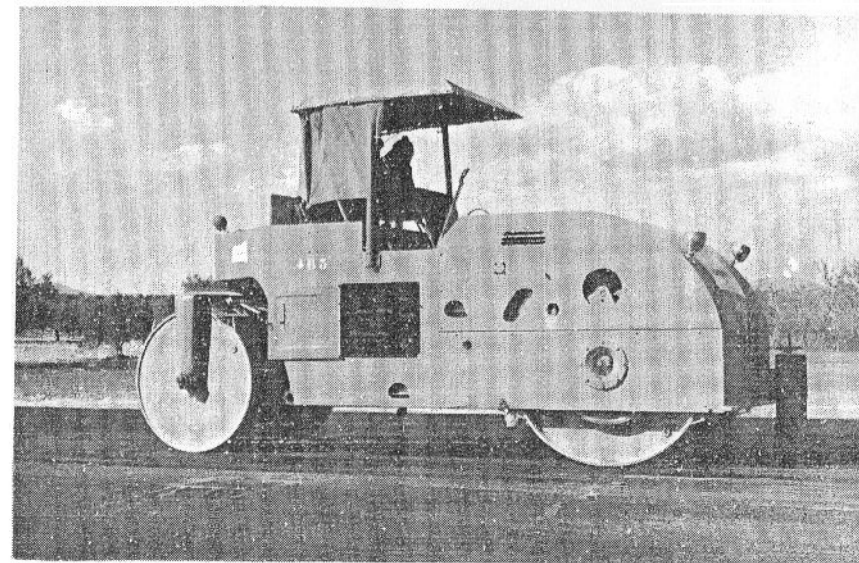


Fig. 4.44 APISONADORA TANDEM ESTATICA

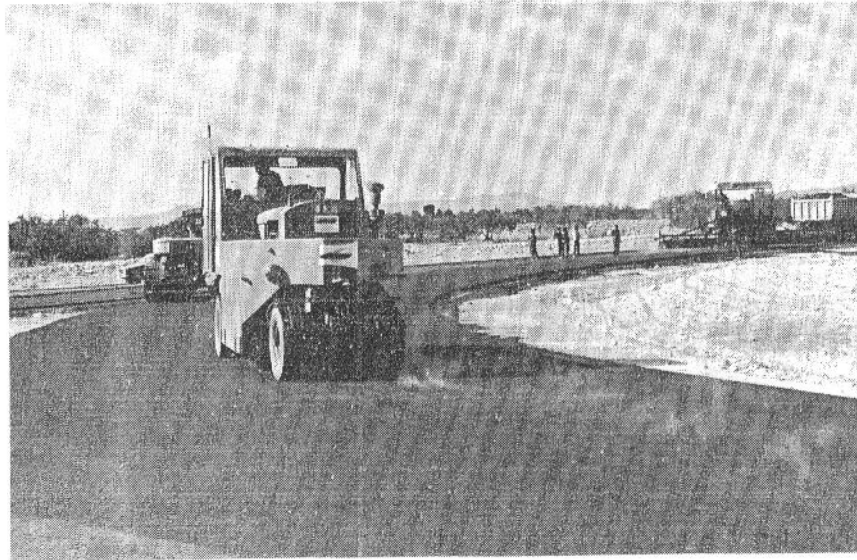


Fig. 4.45 APISONADORA DE NEUMATICOS



Fig. 4.46 APISONADORA MIXTA NEUMATICOS-VIBRANTE

5. SUPERVISION DE LA PUESTA A PUNTO DE LA INSTALACION Y OBTENCION DE LA FORMULA DE TRABAJO

5.1 CONSIDERACIONES GENERALES

La dosificación proyectada en laboratorio es la base para la obtención de la fórmula de trabajo con la que se ha de fabricar la mezcla que se extenderá y compactará en obra.

La ejecución de la mezcla no deberá iniciarse hasta que se haya estudiado y aprobado su correspondiente fórmula de trabajo.

Dicha fórmula señalará:

- *La granulometría de los áridos combinados, por los cedazos y tamices: 40; 25; 20; 12,5; 10; 5; 2,5; 0,63; 0,32; 0,16; y 0,080 UNE.*
- *El tanto por ciento (%), en peso del total de la mezcla de áridos, de ligante bituminoso a emplear.*

La puesta a punto de la instalación de fabricación de la mezcla bituminosa es una de las operaciones de mayor importancia que deberá supervisar el Equipo de Control, ya que de ella depende el buen funcionamiento posterior que permitirá conseguir una mezcla de buena calidad a la vez que un rendimiento adecuado de la instalación disponible.

Es por tanto imprescindible que para la obtención de la fórmula de trabajo se preste la debida atención a todos los factores que intervienen en el proceso, empleando el tiempo necesario en conseguir, desde el principio, un ajuste lo más perfecto posible que ahorrará tener que realizar correcciones importantes durante la fabricación normal, con la consiguiente pérdida de tiempo y de calidad. Si la puesta a punto se ha realizado en estas condiciones, el proceso de fabricación de la mezcla bituminosa se desarrollará normalmente sin alteraciones importantes y el control se limitará a las comprobaciones periódicas exigidas para garantizar la buena calidad de la mezcla.

Debe prestarse especial atención al plan general de control de calidad y al de toma de muestras para evitar errores sistemáticos que falsearían los resultados de control.

Generalmente, debido a las posibles variaciones entre la granulometría de los áridos existentes en los acopios y las que sirvieron de base para la dosificación

en laboratorio, y a que la dosificación definitiva de la mezcla ha de hacerse con los áridos cribados por la instalación de fabricación, no se puede reproducir exactamente la dosificación proyectada.

Es necesario por tanto obtener, con la instalación de que se dispone, una fórmula de trabajo lo más semejante a la dosificación proyectada en laboratorio. Una vez conseguida ésta, sus características son las que servirán de base para el control durante todo el proceso de fabricación de la mezcla.

Las tolerancias admisibles, respecto a la fórmula de trabajo, serán las siguientes:

ARIDOS Y FILLER	% EN PESO DEL TOTAL DE ARIDOS	
	MEZCLAS EN CALIENTE	MEZCLAS EN FRIO
Tamices superiores al 2,5 UNE	± 4	± 6
Tamices comprendidos entre 2,5 UNE y 0,16 UNE, ambos inclusive.	± 3	± 3
Tamiz 0,080 UNE		
LIGANTE		
Ligante	± 0,3	

Cuando el resultado de un ensayo de control sobrepase las tolerancias, se intensificará el control para constatar el resultado o rectificarlo. En el primer caso, si existe una desviación sistemática, se procederá a reajustar la dosificación de los materiales para encajar la producción dentro de la fórmula de trabajo.

Si la marcha de las obras lo aconseja, el Director podrá corregir la fórmula de trabajo, con objeto de mejorar la calidad de la mezcla bituminosa, justificándolo debidamente mediante un nuevo estudio y los ensayos oportunos.

Como se ha indicado anteriormente la obtención de la fórmula de trabajo debe simultanearse con la puesta a punto de la instalación de fabricación. Las fases necesarias para realizar correctamente esta operación, son las siguientes:

- Comparación entre las granulometrías medias de los áridos acopiados y los empleados en el estudio de laboratorio.

- Calibrado de la alimentación en frío.
- Ajuste de la alimentación en frío.
- Comprobación de la granulometría de los áridos combinados.
- Granulometría del polvo recuperado por el colector y de los áridos clasificados en caliente.
- Ajuste de la proporción de los áridos clasificados en caliente, del filler recuperado y/o de aportación.
- Ajuste de la proporción de ligante.
- Ajuste de la temperatura de fabricación y tiempo de mezclado.
- Fabricación de la mezcla y determinación de sus características.
- Realización de tramos de prueba.
- Establecimiento de la fórmula de trabajo y de las condiciones de funcionamiento de la planta.

El conjunto de fases que constituyen la fabricación de una mezcla bituminosa es en sí un proceso equilibrado en el que los componentes que entran en el sistema en las proporciones precisas, lo abandonan transformados en el producto final a través de un flujo continuo y controlado en el que interviene como variable principal el tiempo. Por tanto, en la programación del equilibrio del proceso hay que tener en cuenta una serie de pasos preliminares a los que se debe prestar la máxima atención.

Este equilibrio no se podría mantener si se tiende, como es frecuente, a forzar la producción de la instalación por encima de su producción nominal y sin tener en cuenta las limitaciones impuestas por las características de cada mezcla.

5.2 DOSIFICACION EN FRIO

La fase correspondiente a la dosificación de los áridos antes de la entrada en el secador, es la parte más importante de la operación de puesta a punto de la instalación, ya que la precisión con que se haya ajustado, será el factor decisivo para el correcto desarrollo del proceso de fabricación de la mezcla.

Para ello hay que tener en cuenta, como se detallará más adelante, todas las características de la instalación que tienen influencia en el volumen de producción de la planta durante su funcionamiento normal. Por tanto habrá que estimar, para la instalación disponible, la capacidad de las tolvas de dosificación y su alimentación, la eficacia y capacidad del secador, así como la eficacia de las cribas de clasificación y capacidad de las tolvas en caliente para la granulometría considerada. Todo esto, unido a la determinación del tiempo de mezclado de acuerdo con la capacidad y eficacia del mezclador y características de la mezcla, servirá de base para fijar la producción necesaria para fabricar la mezcla de acuerdo con la fórmula de trabajo en las condiciones óptimas de calidad y rendimiento.

5.2.1 Comparación entre las granulometrías medias de los áridos acopiados y las empleadas en el estudio de laboratorio

Antes de realizar las operaciones de calibrado y dosificación hay que comparar las granulometrías de los áridos acopiados y controlados, como se indica en el apartado 4.1.1, con las que sirvieron de base para la dosificación de laboratorio y estudiar en su caso las correcciones a introducir con el fin de reproducir la granulometría proyectada.

Si se dispone de las medias móviles, u otro tipo de control estadístico, se tomarán éstas preferentemente para hacer la comparación. De lo contrario se realizará una toma de muestras representativa de cada uno de los áridos acopiados determinando su granulometría.

Se dibujan en un gráfico las granulometrías medias de los acopios y se comparan con las granulometrías de los áridos que sirvieron de base para hacer la dosificación de laboratorio. Si las variaciones no son importantes se puede pasar a poner a punto la instalación.

Si las granulometrías medias de los áridos acopiados se diferencian apreciablemente de las que sirvieron de base para hacer la dosificación proyectada, se vuelve a encajar la granulometría total, siguiendo el procedimiento descrito en el apartado 3.3, hasta obtener los porcentajes de cada árido que reproduzca la fórmula de laboratorio.

Por otra parte, si se dispone de las medias móviles, y éstas se han realizado tomando como base unos límites establecidos de acuerdo con las desviaciones máximas que en cada caso permite el PG 3 para la fórmula de trabajo, puede asegurarse que con las granulometrías de los áridos acopiados, será posible reproducir la dosificación de laboratorio dentro de unos límites aceptables, sin necesidad de realizar otros estudios adicionales sobre la influencia de la variabilidad de los áridos.

5.2.2 Calibrado de la alimentación

Una vez establecidas las proporciones necesarias de cada árido para realizar la dosificación, la primera fase de la puesta a punto de la instalación es el calibrado de las correspondientes tolvas de alimentación en frío.

Se procede a cargar cada tolva con el árido correspondiente y a continuación se realiza el calibrado de cada una de ellas, que consiste en determinar la curva del caudal suministrado por cada material para las distintas regulaciones del dispositivo alimentador, lo cual permite en cada caso conocer la abertura correspondiente para el caudal que se precise.

Existen diferentes formas de realizar el calibrado de las tolvas, que dependen fundamentalmente de las características de los dispositivos de alimentación. En cualquier caso la abertura de la compuerta para el árido grueso no será menor de 2,5 a 3 veces su tamaño máximo y no menor de 25 mm para la arena; por otra parte la abertura de la compuerta para el árido grueso no será mayor de 10 a 12 veces su tamaño máximo, pues si no se producirían derrames continuos de material alterando la dosificación, debiéndose disponer de dos silos en el caso de necesitarse un caudal tan grande que precise abrir la compuerta más de este valor.

Si el dispositivo de alimentación permite variar, bien la velocidad de la cinta, la amplitud del vaivén o la frecuencia de la vibración, según el sistema de que se trate, se ajustará aproximadamente al valor medio de la correspondiente variable, y se realizará la calibración en estas condiciones, lo cual permitirá aumentar o disminuir el caudal de alimentación sin tener que hacer posteriores calibraciones de las compuertas (fig. 5.1).

Se realiza el calibrado para varias aberturas de compuerta hasta obtener 4 ó 5 puntos de la curva, repitiendo todo el proceso para cada una de las tolvas.

Cada determinación debe hacerse al menos por triplicado. La tolva deberá estar llena por encima de un nivel mínimo, correspondiente por lo general a los 3/4 de su capacidad.

Para llevar a cabo estas determinaciones, se pone en marcha el dispositivo de alimentación de una de las tolvas y se deja salir el material hasta que el dispositivo se ponga a régimen. Se procede a continuación, bien a recoger directamente en un recipiente tarado el material suministrado en un tiempo determinado, medido con un cronómetro y pesándolo a continuación, o bien, conociendo la velocidad de la cinta de recogida, a parar ésta y a pesar el material existente en una longitud determinada. El peso del material, en este caso

dividido por la longitud de la sección tomada y multiplicado por la velocidad de la cinta, dará la cantidad de material suministrado en la unidad de tiempo para la abertura considerada.

Para obtener suficiente precisión en el calibrado, el peso de material tomado para cada determinación no debe ser inferior a 100 kg. Para tomar la muestra se utilizará una canaleta u otro dispositivo adecuado que conectado a la descarga del material lo vierta en una bandeja o recipiente apropiado. El conjunto se pesa en una báscula de plataforma de unos 500 kg de capacidad, colocada al pie de los alimentadores (fig. 5.2).

Como la humedad del árido tiende a compactarlo y todos estos sistemas de dosificación son volumétricos, las variaciones de humedad de un día para otro, o dentro del mismo día, tienden a variar la cantidad suministrada, sobre todo en los áridos más finos, lo cual habrá de tenerse en cuenta para hacer las correcciones necesarias.

Con los datos del calibrado se dibujan una serie de gráficos (fig. 5.3), que permiten seleccionar el ajuste de cada dispositivo alimentador para obtener el caudal necesario en cada caso.

5.2.3 Ajuste de la alimentación

Una vez realizado el calibrado de la alimentación, se está en condiciones de ajustar la dosificación de los áridos en frío para una producción previamente determinada mediante la aplicación de los criterios que se exponen a continuación.

5.2.3.1 Estimación de la producción

El principal factor limitante de la producción es la clasificación de los áridos en caliente, por lo que habrá que determinar correctamente la abertura y disposición de las cribas. Para ello habrá que partir de la granulometría de la dosificación propuesta y del porcentaje de la misma que va a distribuirse en cada tolva de acuerdo con su capacidad relativa.

Para cuatro tamaños de áridos, que es lo más corriente, las capacidades relativas de las tolvas en caliente suelen ser: 40 % para la tolva de la arena y 20 % para cada una de las otras tres, pero teniendo en cuenta que cada criba retiene una proporción aproximada del 20% del material inferior que irá a parar a las siguientes, se tomará en principio, para el cálculo de las capacidades relativas de las tolvas, un 44% para la de la arena y un 16% para la del árido más grueso, respetando el 20% para las intermedias por la compensación.

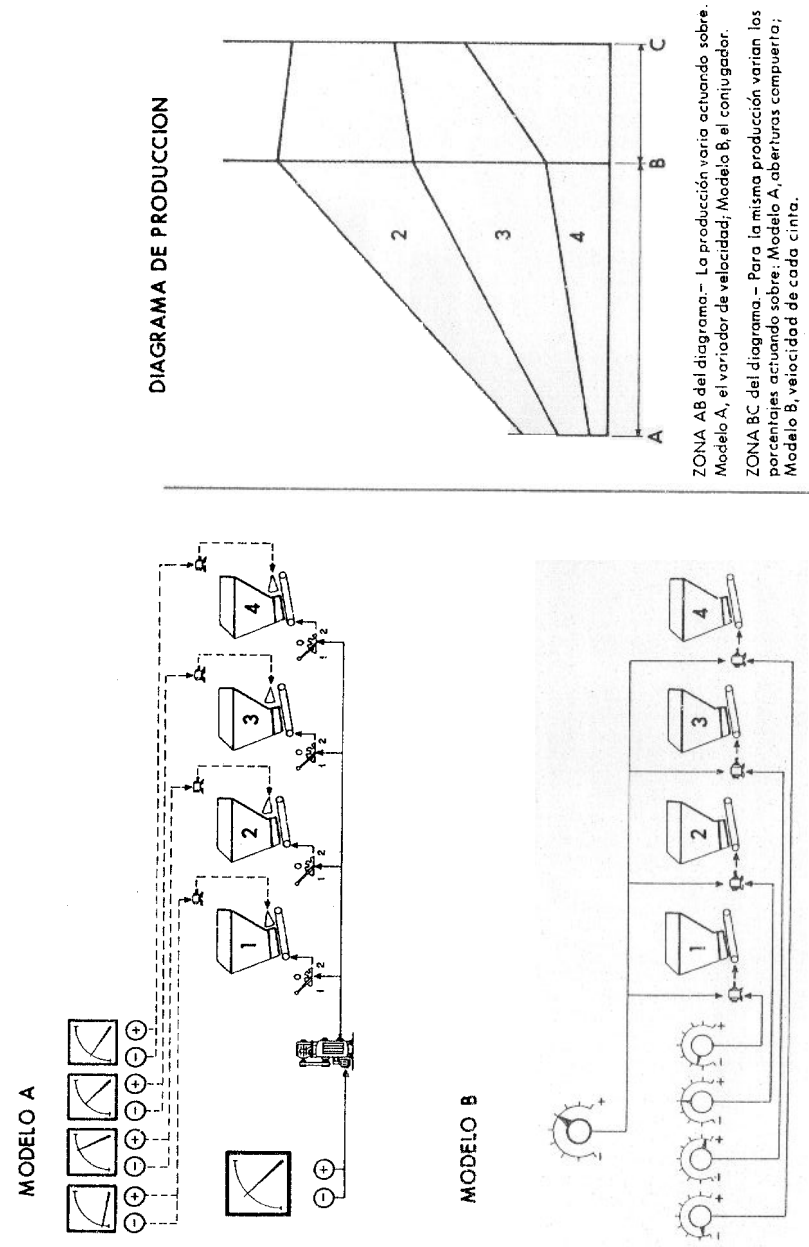


Fig. 5.1. SISTEMAS DE ALIMENTACION EN FRIO CON VARIACION DE VELOCIDAD INDIVIDUAL Y GENERAL A DISTANCIA

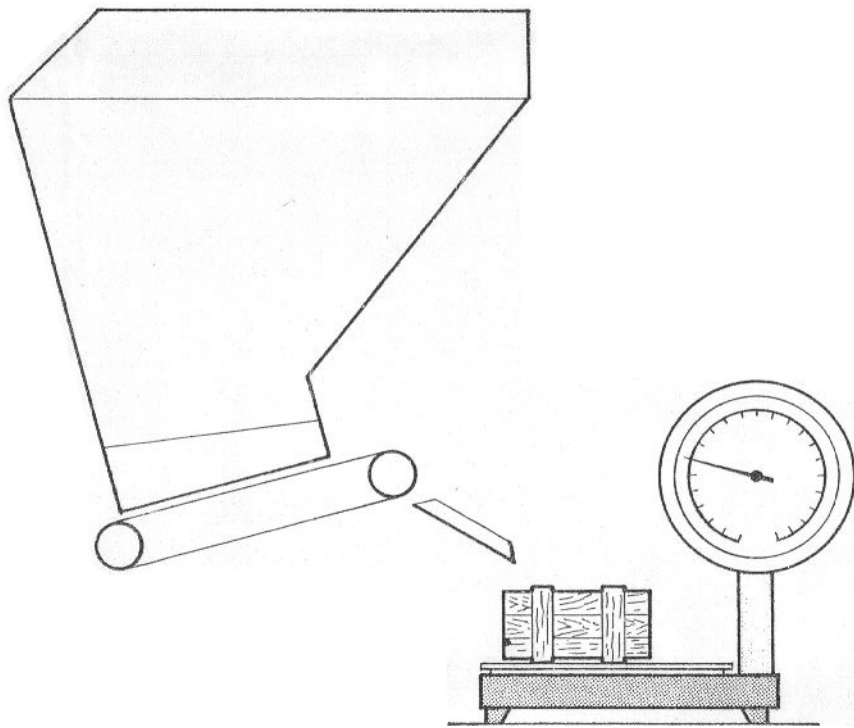


Fig. 5.2 TOMA DE MUESTRAS PARA CONTROL DE LA DOSIFICACION EN FRIO

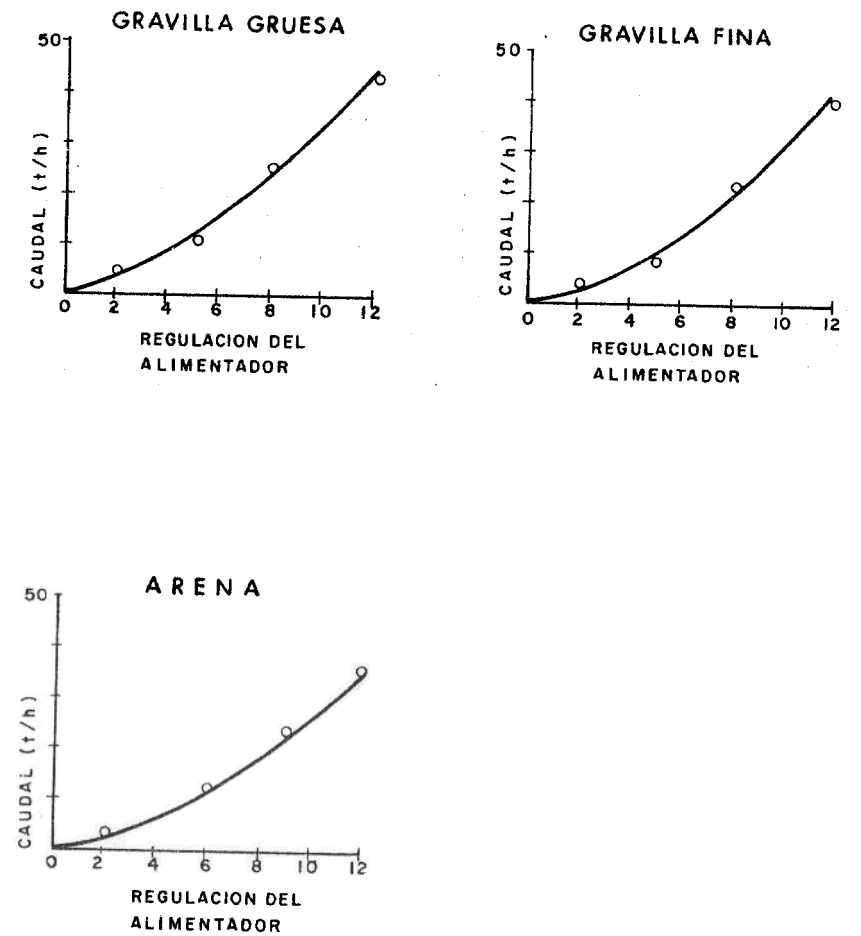


Fig. 5.3 CALIBRADO DE LOS ALIMENTADORES EN FRIO

Los puntos de intersección de la curva granulométrica de los áridos sin filler con los porcentajes correspondientes a la capacidad de las tolvas, dan las aberturas teóricas de la malla que habría que emplear para la clasificación de los áridos en caliente, buscando a continuación la abertura equivalente que les corresponde de acuerdo con la figura 5.4.

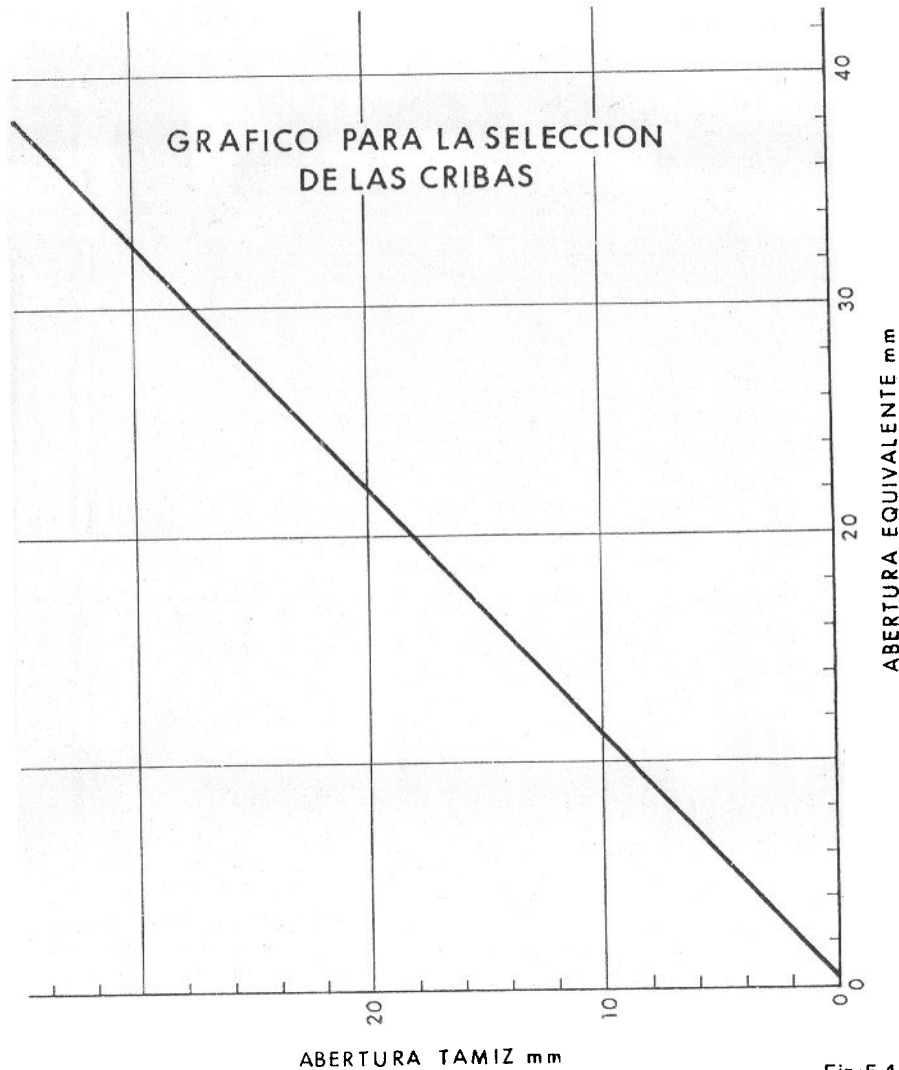


Fig. 5.4

Por medio de la figura 5.5, que proporciona las t/hm^2 para cada abertura de malla, se estima la producción teórica que corresponde a las cribas elegidas de acuerdo con su abertura y dimensiones, las cuales suministrarán unos áridos en caliente clasificados con arreglo a los tamaños fijados. Esta clasificación no se considerará definitiva a pesar de las correcciones introducidas, hasta que se compruebe con la planta en funcionamiento, mediante el análisis granulométrico del material de cada depósito, la repercusión que pueda tener en la obtención de la granulometría prevista y se hagan las correcciones oportunas.

La producción calculada teniendo en cuenta el proceso de clasificación de los áridos en caliente puede verse disminuida por la influencia del secador, ya que éste es otro factor limitante de gran importancia debido a que tiene que secar los áridos y calentarlos a una temperatura determinada, lo cual depende, para cada caudal que se suministre, de la granulometría, condiciones ambientales, y grado de humedad de los áridos, con la consiguiente influencia en la eficacia teórica del secador que posea la instalación.

Como datos orientativos, puede decirse que la capacidad de secado aumenta aproximadamente un 30% con el aumento de un 50% de la velocidad del aire en el interior del secador, si bien hay que tener en cuenta que ésta no debe ser superior a unos 275 m por minuto, debido a que se arrastraría un exceso de finos por la chimenea. La humedad de los áridos disminuye la producción aproximadamente un 15% por cada 1% de humedad.

La producción teórica fijada aplicando todos estos conceptos tiene fundamentalmente un sentido práctico, a fin de ajustar la alimentación de los áridos en frío para que todo el conjunto funcione normalmente sin alteraciones importantes que puedan repercutir en la calidad de la mezcla y rendimiento óptimo de la instalación.

Ahora bien, como posteriormente entran a formar parte de la mezcla el filler y el ligante, la producción real de la planta se define mejor finalmente por la capacidad del mezclador y el tiempo de mezclado, una vez ajustada totalmente la instalación y funcionando a un régimen normal.

Para la granulometría propuesta de la mezcla de áridos sin filler, las aberturas de malla teóricas de los tamices correspondientes, teniendo en cuenta las capacidades relativas corregidas de las tolvas en caliente serán, según se indica en la figura 5.6:

- 4,5 mm para la arena
- 9,0 mm para la gravilla fina
- 19,0 mm para la gravilla media
- 25,5 mm para la gravilla gruesa

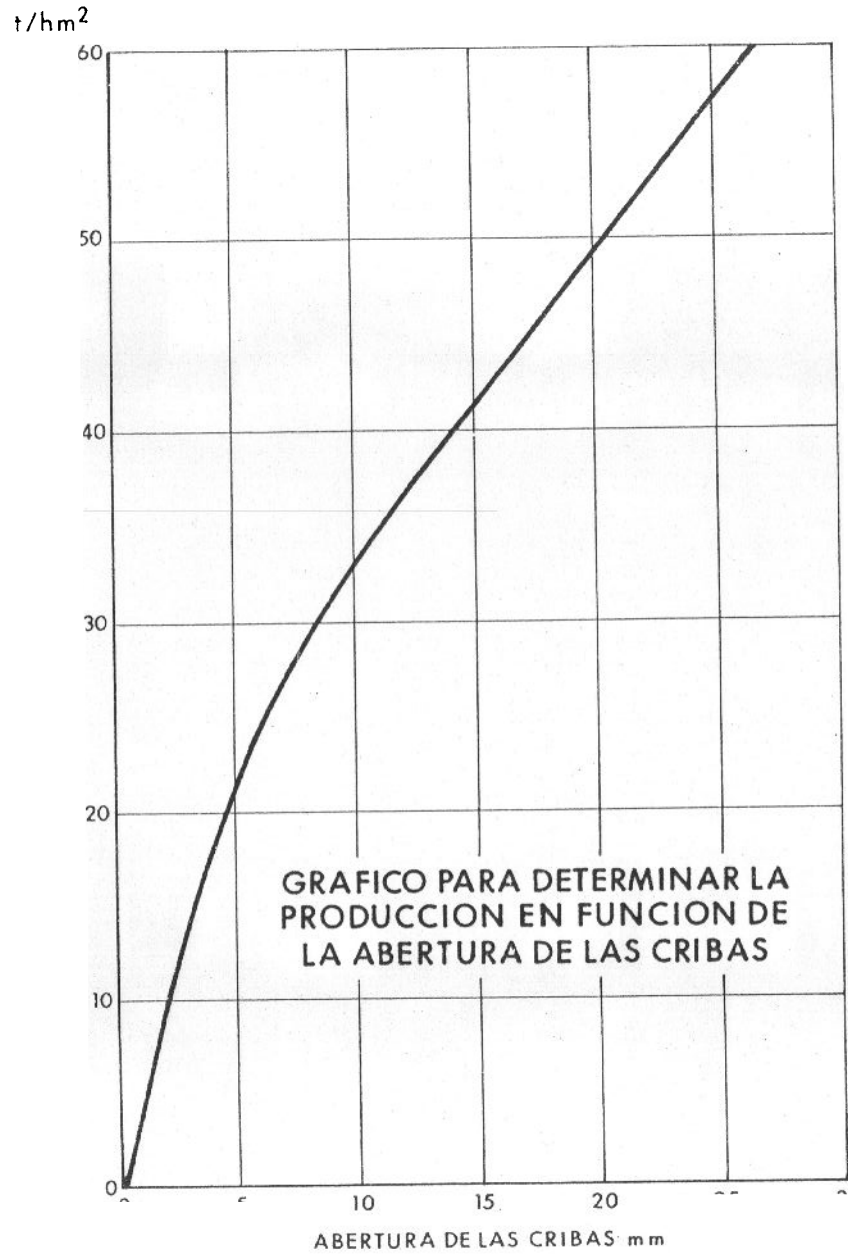


Fig. 5.5

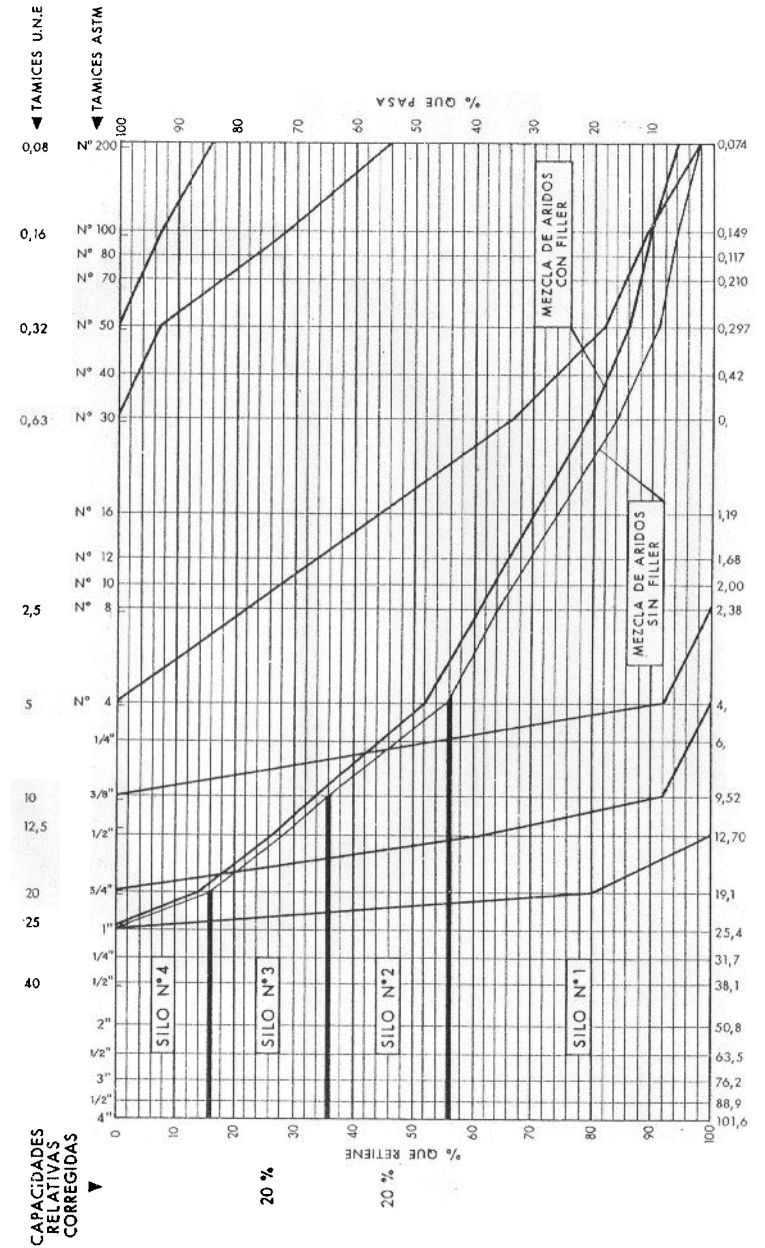


Fig. 5.6 DETERMINACION DE LAS CRIBAS NECESARIAS Y GRANULOMETRIA DE LOS ARIDOS CLASIFICADOS

Con ayuda del gráfico de la figura 5.4 se buscan las aberturas equivalentes aproximadas de las cribas correspondientes a estas aberturas teóricas, que serán:

- 5,0 mm para la arena
- 10,0 mm para la gravilla fina
- 22,0 mm para la gravilla media
- 28,0 mm para la gravilla gruesa

Supongamos que la disposición y dimensiones de las cribas para la planta considerada son las que se indican en el esquema de la figura 5.7.

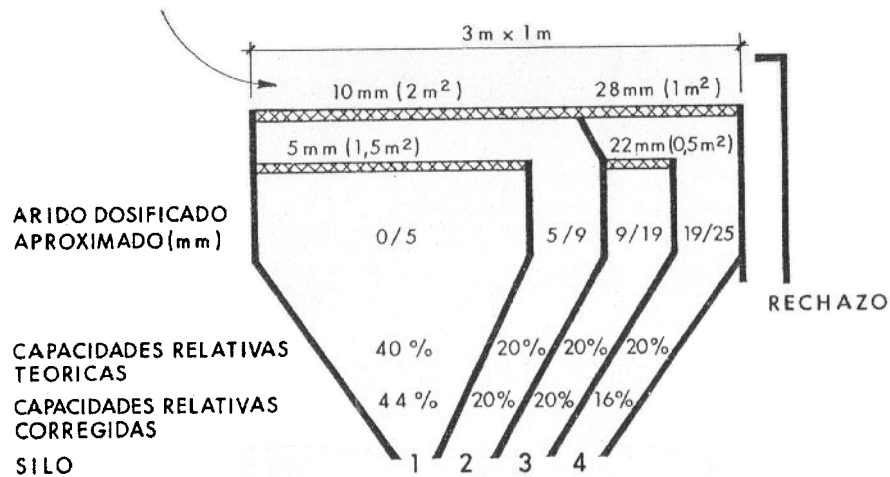


Fig. 5.7 ESQUEMA DE LA DISPOSICION DE LAS CRIBAS

Con ayuda del gráfico de la figura 5.5 que da las t/hm² para cada abertura de criba, se calcula la cantidad máxima teórica que son capaces de tamizar las cribas elegidas de acuerdo con sus aberturas y dimensiones.

Como la criba que limita fundamentalmente la producción suele ser, como en este caso, la del árido fino, los cálculos se pueden realizar solamente para este árido.

Criba de 5 mm de abertura y 1,5 m² 31,5 t/h

Con este dato y el de la capacidad relativa de la tolva del árido fino que se ha tomado como base de partida, se puede calcular la producción de la siguiente manera:

$$\frac{31,5}{40} \times 100 = 78,8 \approx 80 \text{ t/h}$$

Esta sería la producción que en principio se puede fijar para ajustar la alimentación en frío.

También se podría hacer un cálculo semejante para las cribas restantes con objeto de comprobar que son capaces de soportar esta producción.

5.2.3.2 Dosificación de los áridos en frío y comprobación de la granulometría de los áridos combinados.

Elegida la producción de acuerdo con los criterios expuestos anteriormente, y teniendo en cuenta la proporción de cada árido en el estudio de la dosificación de laboratorio, se fijan, sirviéndose de los gráficos de calibrado previamente obtenidos, las regulaciones de los dispositivos de alimentación de cada una de las tolvas.

Considerando que la producción de la instalación es de 80 t/h se calcula la cantidad necesaria para cada tipo de árido que entra en la dosificación en frío, descartando proporcionalmente el filler de aportación que se dosifica posteriormente de forma independiente.

Gravilla gruesa	$80 \times \frac{29}{95} = 24,4 \text{ t/h}$
Gravilla fina	$80 \times \frac{25}{95} = 21,1 \text{ t/h}$
Arena	$80 \times \frac{41}{95} = 34,5 \text{ t/h}$

Los puntos correspondientes del sistema de regulación según las curvas de calibrado serán:

Gravilla gruesa	24,4 t/h — 8,0
Gravilla fina	21,1 t/h — 7,5
Arena de machaqueo	34,5 t/h — 12,0

Se pone en marcha toda la instalación de alimentación en frío y, una vez a régimen, se procede a la toma de muestras para comprobación de la granulometría del conjunto. La muestra puede tomarse al final de la cinta en la descarga a la tolva de alimentación del elevador de cangilones. La cantidad de

muestra tomada debe ser lo suficientemente grande para que sea representativa del conjunto de la mezcla de áridos.

Se cuarteo la muestra y se realiza un análisis granulométrico que se compara con la curva correspondiente a la dosificación prevista sin incluir el filler de aportación. Si no se ha podido reproducir la curva proyectada, se hacen las correcciones necesarias en la regulación de los dispositivos de alimentación, hasta conseguir que las desviaciones encontradas no rebasen ciertas tolerancias, las cuales están directamente relacionadas con las tolerancias especificadas para la fórmula de trabajo (apartado 5.1).

Para hacer estas correcciones es muy útil tener un gráfico en el que estén representadas las granulometrías de los áridos acopiados y la granulometría proyectada y en el que, al representar la granulometría obtenida, se ve rápidamente el árido o áridos que influyen en la desviación.

Como los análisis granulométricos que sirven de base para la dosificación de laboratorio se realizan por lavado y los que se efectúan en obra se hacen normalmente en seco por su mayor facilidad de ejecución y rapidez, conviene disponer de unos factores de transformación para poder conocer en todo momento la granulometría de la mezcla de áridos en húmedo a partir de la granulometría en seco.

Los factores de transformación se determinan para cada tamiz dividiendo el tanto por ciento que pasa por lavado por el tanto por ciento que pasa en seco. Una vez calculados estos factores, para conocer la cantidad que pasa por lavado por un tamiz determinado se multiplica el tanto por ciento que pasa en seco por cada tamiz por su factor correspondiente. De todas formas, estos factores se deben comprobar periódicamente por si ha habido algún cambio en el suministro o granulometría de los materiales.

Es necesario recalcar que para conseguir un buen funcionamiento de toda la instalación y obtener la mezcla propuesta, hay que mantener la regularidad de la dosificación en frío.

Las alteraciones que pueden ocurrir en la dosificación en frío influyen en el resto del funcionamiento de la instalación de la siguiente manera:

- Una alimentación en frío excesiva para la producción fijada disminuye la temperatura de los áridos, sobrecarga las cribas y hace que los tamaños más finos se pasen a las tolvas en caliente de los tamaños más gruesos, alterando su granulometría. El colector del polvo se sobrecarga con lo que varía la proporción y composición del polvo extraído.

Una dosificación escasa de alguno de los tamaños, aparte de variar la granulometría total, influye sobre la de los áridos calientes y puede hacer que uno de los silos se vaya quedando vacío.

- Un cambio brusco en la alimentación de alguno de los áridos, por abertura, cierre u obstrucción de la descarga, influye en la disminución o elevación de la temperatura de los áridos a la salida del secador y altera la granulometría de los áridos cribados, sobrecargando o vaciando uno de los silos.
- Las variaciones de la granulometría debidas a la segregación, por una carga incorrecta del material durante la alimentación de las tolvas, sobre todo en el árido fino, afectan a la granulometría total y la mezcla puede ir teniendo alternativamente exceso o defecto de ligante.

5.3 DOSIFICACION EN CALIENTE

Una vez ajustada la dosificación en frío se procede a realizar una serie de comprobaciones y ajustes con la planta en funcionamiento, hasta conseguir la dosificación definitiva de la mezcla, su fabricación y la determinación de sus características.

5.3.1 Comprobación de la granulometría de los áridos combinados, de la del polvo recuperado por el colector y de la de los áridos clasificados en caliente

Se pone en marcha la totalidad de la instalación, con el mechero en funcionamiento como si se fuera a fabricar la mezcla bituminosa, pero exceptuando los dispositivos de adición del filler de aportación y del ligante.

Según las posibilidades de la planta se procede a continuación a comprobar la granulometría de la mezcla de áridos a la salida del secador o a la entrada en las cribas de clasificación y se determina, asimismo, la granulometría de cada uno de los áridos clasificados en caliente y del polvo recuperado por el colector.

Cuando toda la instalación está a régimen, lo que suele durar de 5 a 15 minutos según su capacidad, se procede a la toma de muestras de los siguientes materiales:

- De la mezcla de áridos a la salida del secador o a la entrada en las cribas de clasificación.
- Del polvo recuperado por el colector.
- De cada uno de los silos de almacenamiento de los áridos cribados en caliente.

La mayoría de las instalaciones tienen dispositivos que permiten la toma de muestras de una forma representativa, siempre que se tenga en cuenta que la bandeja o recipiente con el que se recogen los áridos debe colocarse de forma que corte todo el chorro de material.

La mayor dificultad puede presentarse en la toma de muestras de los áridos clasificados en caliente, por lo compacto de la construcción de la mayor parte de las instalaciones. Por ello, una solución consiste en descargar sucesiva e independientemente el material de cada uno de los dispositivos al mezclador y de éste a un recipiente adecuado o a un camión, realizando por cuarteo la toma de muestra del material correspondiente.

Con estas muestras se determina la granulometría de los áridos clasificados en caliente y la del polvo recuperado por el colector que, junto con el filler de aportación, si es necesario, son los materiales a dosificar para la mezcla proyectada.

Supongamos que en el ejemplo que venimos considerando la granulometría de los áridos clasificados en caliente y la del polvo recuperado por el colector, son las siguientes:

	CERNIDO PONDERAL ACUMULADO (%)										
TAMICES UNE	25	20	12,5	10	5	2,5	0,63	0,32	0,16	0,080	
TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 30	Nº 50	Nº 100	Nº 200	
Depósito nº 4 Gr. Gruesa	100	20	1								
Depósito nº 3 Gr. Media	100	100	38	8							
Depósito nº 2 Gr. Fina	100	100	100	100	8	1					
Depósito nº 1 Arena	100	100	100	100	100	81	33	18	11	2	
Polvo recuperado	100	100	100	100	100	100	100	93	71	53	

con estos materiales y el filler de aportación en nuestro caso, hay que dosificar nuevamente la mezcla para obtener la granulometría propuesta (fig. 5.6).

5.3.2 Ajuste de la proporción de áridos calientes y filler

Conocidas las granulometrías de los áridos clasificados en caliente, la del polvo recuperado por el colector y, en su caso, la del filler de aportación a emplear, se procede a la dosificación definitiva de la mezcla de áridos.

Teóricamente, si se ha conseguido en la dosificación en frío reproducir la granulometría prevista, y no se han producido pérdidas importantes en el sistema de recuperación del polvo, se puede volver a reproducir en caliente la dosificación, combinando de nuevo los áridos cribados y el polvo recuperado.

En la práctica suele presentar dificultades reproducir exactamente la dosificación original por las pérdidas habidas en la recuperación del polvo y por no coincidir las clasificaciones de los áridos suministrados en frío con las de los almacenados en los silos en caliente. Pero si se han elegido correctamente las cribas, la producción y los áridos acopiados no acusan variaciones importantes, estas dificultades deben poder superarse.

De todas formas hay que volver a dosificar las proporciones de la mezcla con los materiales ya secos y clasificados por la instalación, lo cual se realiza de la misma manera que se encaja la dosificación en laboratorio, haciendo los tanteos necesarios hasta conseguir reproducir suficientemente la granulometría de la dosificación proyectada.

Para realizar esta operación es conveniente hacer las siguientes consideraciones:

— Representar gráficamente:

- la curva granulométrica proyectada,
- la curva granulométrica obtenida,
- la granulometría de los áridos clasificados en caliente y la del polvo recuperado, así como la del filler de aportación si lo hubiera.

— Observar las zonas de la curva obtenida donde ésta se aparta de la granulometría proyectada.

— Teniendo en cuenta los áridos cribados en caliente que influyen en cada zona defectuosa, reajustar la dosificación en caliente.

— Como los áridos clasificados por las cribas no tienen en sí una función correctora de la dosificación, para poder mantener el equilibrio de la producción si los ajustes necesarios requieren emplear proporciones

diferentes a las que corresponden a los porcentajes en que se distribuyen los áridos en los diferentes depósitos en caliente es necesario reajustar la dosificación en frío, teniendo en cuenta los áridos acopiados que influyen en los correspondientes áridos en caliente.

Volver a determinar la granulometría de los áridos cribados por la instalación y la del polvo recuperado después del reajuste y, dosificando de nuevo las proporciones de cada uno de ellos, tratar de encajar la curva sin que existan desviaciones inadmisibles respecto a la granulometría proyectada.

En ocasiones hay que repetir estos tanteos varias veces antes de llegar a conseguir la granulometría aceptable. Esta pasará a ser la verdadera fórmula de trabajo.

Con los áridos clasificados en caliente, el polvo recuperado y el filler de aportación que venimos considerando en nuestro ejemplo, se encaja la granulometría que corresponda a la fórmula de trabajo definitiva, como se indica en la tabla que figura a continuación.

	CERNIDO PONDERAL ACUMULADO (%)									
TAMICES UNE	25	20	12,5	10	5	2,5	0,63	0,32	0,16	0,080
TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº8	Nº30	Nº50	Nº100	Nº200
Depósito nº4 Gr. Gruesa	17	3,4	0,2							
Depósito nº3 Gr. Media	18	18,0	6,8	1,4						
Depósito nº2 Gr. Fina	18	18,0	18,0	18,0	1,4					
Depósito nº1 Arena	39	39,0	39,0	39,0	39,0	31,6	12,9	7,0	4,3	0,8
Polvo recuperado	3	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,8	2,1	1,6
Filler de aportación	5	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	4,6	4,2
Granulometría obtenida	100	86,4	72,0	66,4	48,4	39,6	20,9	14,8	11,0	6,6
Granulometría proyectada	100	85	73	67	48	39	21	14	11	6,5

Antes de dar por definitiva la dosificación en caliente es necesario comprobar, durante la primera etapa de fabricación, la constancia de:

- la granulometría de los áridos clasificados en caliente,
- la granulometría del polvo recuperado,
- la proporción polvo recuperado-filler de aportación.

Ajustadas las básculas de dosificación como se indica más adelante, se procede a realizar varias mezclas en seco del conjunto de los áridos, tomando las muestras necesarias y comprobando su granulometría. En el caso de que no sea la correcta, se retocan los pesos y se vuelve a comprobar.

5.3.3 Ajuste de la proporción de ligante

Si la fórmula de trabajo coincide prácticamente con la que se dosificó en laboratorio se puede ajustar inmediatamente la proporción de ligante resultante de dicho estudio.

Si no ha sido posible reproducir la granulometría proyectada, o si la marcha de las obras aconseja la corrección de la fórmula de trabajo, de acuerdo con lo dicho en el apartado 5.1, hay que repetir el estudio de la dosificación del ligante con la nueva granulometría obtenida en la instalación.

En cualquier caso hay que ajustar la alimentación del ligante, de forma que se obtenga el porcentaje fijado.

Para ello según el tipo de instalación disponible, se procede como se indica a continuación:

5.3.3.1 Instalaciones de tipo discontinuo

Los pesos de cada uno de los áridos que componen el amasijo se deducen aplicando al peso de éste (función de la producción establecida y del tiempo entre amasijos sucesivos) las proporciones determinadas para la fórmula de trabajo.

Supongamos que la capacidad del mezclador de la planta, de acuerdo con la producción fijada, es de 800 kg; las cantidades de cada árido que entran en el mezclador serán:

Gravilla gruesa	$800 \times 0,17 = 136$ kg
Gravilla media	$800 \times 0,18 = 144$ kg
Gravilla fina	$800 \times 0,18 = 144$ kg
Arena de machaqueo	$800 \times 0,39 = 312$ kg
Polvo recuperado	$800 \times 0,03 = 24$ kg
Filler de aportación	$800 \times 0,05 = 40$ kg

Si la instalación no dispone de dos sistemas independientes de alimentación del filler, se procederá a una alimentación volumétrica del polvo recuperado y del filler de aportación de acuerdo con sus proporciones y densidades aparentes.

A partir de este momento falta solamente ajustar la proporción de ligante de acuerdo con el sistema que posea la instalación:

- a) Dosificación por peso. Cuando el ligante se pesa en un recipiente previamente a la incorporación a los áridos, hay que tener en cuenta que inicialmente debe hacerse una pequeña corrección por exceso, para compensar la cantidad de ligante que queda adherida al recipiente.
- b) Dosificación por volumen. En este caso se calcula el volumen de ligante por amasijo, de acuerdo con la proporción adoptada, dividiendo el peso necesario por la densidad del ligante. Como la densidad varía con la temperatura, es necesario buscar la densidad correspondiente a la temperatura de mezcla en las tablas del apéndice 3.

Una vez calculado el volumen por amasijo, se ajusta la capacidad de la bomba o dispositivo de que esté provista la instalación, por medio del calibrado correspondiente.

Si la dosificación se hace en peso, la cantidad de betún necesaria por amasijo se determina directamente. En este caso sería:

$$\frac{800 \times 4,6}{100} = 36,8 \text{ kg. de betún.}$$

En el caso de que la dosificación sea volumétrica es preciso pasar los kilogramos necesarios a litros a la temperatura fijada para la mezcla.

Para el betún empleado, tipo B40/50, la temperatura correspondiente a la viscosidad necesaria de mezcla que es de 170 ± 20 cSt, será de 160°C . En este caso, el volumen de betún correspondiente será el cociente de dividir su volumen a 25°C por el factor de corrección a 160°C , es decir:

$$\frac{36,8/1,03}{0,9176} = 39,0 \text{ litros de betún.}$$

5.3.3.2 Instalaciones de tipo continuo

En este caso hay que proceder, como en el de los alimentadores en frío, a calibrar cada uno de los dispositivos de salida de las tolvas de los áridos clasificados en caliente.

Como las cintas transportadoras del mecanismo de alimentación de todas las tolvas de los áridos cribados están sincronizadas, el calibrado ha de hacerse variando la abertura de las compuertas. Como en el caso de la alimentación primaria, se pone en marcha la instalación y se recoge el material suministrado para un número determinado de vueltas del mecanismo para cada abertura y árido. Dividiendo estas cantidades por el número de vueltas se obtiene el suministro de árido por vuelta para las distintas aberturas, representando estos datos gráficamente.

Con estos gráficos, si se considera cada vuelta como un amasijo, el cálculo de los pesos necesarios para cada uno de los áridos, del filler y del ligante, se puede realizar de una manera similar a como se hizo para una instalación de tipo discontinuo.

Las instalaciones de tipo continuo dosifican generalmente el ligante en volumen, por medio de bombas rotatorias o de engranajes.

Fijada la producción de la instalación, se escoge entre los engranajes que sincronizan la alimentación de áridos y del ligante, aquel que hace dar a la bomba el número necesario de revoluciones para obtener con mayor aproximación el caudal preciso. Ajustada exactamente la proporción de ligante, se varía el caudal total de áridos en caliente, manteniendo sus proporciones relativas.

Como en los casos anteriores, el volumen de ligante hay que calcularlo para la temperatura de mezcla, debido a la variación de la densidad con la temperatura.

De los gráficos de calibrado se obtienen las aberturas de compuertas adecuadas para suministrar la cantidad de material necesario de cada depósito.

Para determinar el caudal de ligante necesario para la dosificación se procede de la forma siguiente:

$$80 \text{ t/h} \times 0,046 \text{ kg de ligante} = 3,68 \text{ t/h, de donde}$$
$$3,68 \text{ t/h} = \frac{3,68 \times 1000}{60} = 61,3 \text{ kg/min.}$$

Como el ligante se va a medir en volumen, se divide este peso por el factor correspondiente a la temperatura de mezcla (0,9176 a 160°C) y suponiendo su densidad a 25°C igual a 1,03 resulta:

$$\frac{61,3}{0,9176 \times 1,03} = 64,9 \approx 65 \text{ l/min.}$$

En las condiciones de trabajo este caudal se puede obtener aproximadamente funcionando la alimentación a 12 vueltas por minuto, por un engranaje que suministra 5,4 litros por vuelta, según se deduce de los datos previos del calibrado realizado en la planta considerada.

Como la proporción en peso de ligante respecto a la de los áridos es el 4,6%, la cantidad total de áridos a suministrar por los alimentadores se calculará de la siguiente forma:

5,4 litros de betún/vuelta: $5,4 \times 0,9176 \times 1,03 = 5,1$ kg/vuelta
y de aquí la cantidad de áridos será:

$$\frac{100 \times 5,1}{4,6} = 110,8 \approx 111 \text{ kg de mezcla de áridos y filler/vuelta}$$

Teniendo en cuenta las proporciones calculadas para conseguir la granulometría de la fórmula de trabajo adoptada, el suministro de cada uno de los áridos cribados en caliente será el siguiente:

Gravilla gruesa	$0,17 \times 111 = 18,9$ kg/vuelta
Gravilla media	$0,18 \times 111 = 20,0$ kg/vuelta
Gravilla fina	$0,18 \times 111 = 20,0$ kg/vuelta
Arena de machaqueo	$0,39 \times 111 = 43,3$ kg/vuelta
Polvo recuperado	$0,03 \times 111 = 3,3$ kg/vuelta
Filler de aportación	$0,05 \times 111 = 5,5$ kg/vuelta
	<u>1,00</u> 111,0 kg/vuelta

y la producción:

$$\frac{111 \times 12 \times 60}{1000} = 80 \text{ t/h}$$

Realizada esta operación, se pone la instalación en marcha y se procede a comprobar la granulometría total de la mezcla de áridos. Se hacen los pequeños retoques, si son precisos, y se pasa a la fase siguiente de fabricar la mezcla bituminosa y comprobar sus características.

5.4 AJUSTE DE LAS TEMPERATURAS

Para el buen funcionamiento de la instalación durante el proceso de fabricación de la mezcla bituminosa, así como su correcta puesta en obra, es preciso fijar una serie de temperaturas que habrán de controlarse de una forma periódica.

Deberán señalarse en la fórmula de trabajo las temperaturas máxima y mínima de calentamiento de los áridos y ligante.

Las temperaturas máxima y mínima al salir del mezclador.

La temperatura mínima de la mezcla en la descarga de los elementos de transporte.

La temperatura mínima de la mezcla al iniciarse la compactación.

La determinación de esta serie de temperaturas está condicionada fundamentalmente por dos factores: la temperatura más apropiada para conseguir una envuelta perfecta de los áridos por el ligante y, una vez fabricada la mezcla, la temperatura más adecuada para conseguir una buena extensión y compactación en obra.

El primer factor, la temperatura más adecuada para la fabricación de la mezcla, depende de:

- tipo y consistencia del ligante,
- tipo de mezcla,
- características de la instalación.

En cuanto al segundo factor, la temperatura más adecuada para una correcta puesta en obra depende de:

- tipo y consistencia del ligante,
- tipo de mezcla,
- condiciones climatológicas, en especial temperatura y viento,

- espesor de la capa,
- equipo de compactación a emplear.

De una forma indirecta también interviene en la determinación de estas temperaturas:

- la posibilidad de almacenamiento de la mezcla,
- las características de los equipos de transporte,
- la distancia de transporte.

La determinación de esta serie de temperaturas está a su vez condicionada por dos temperaturas extremas: la máxima a que es posible calentar los áridos y el ligante, sin que este último pueda alterarse o descolgarse durante el almacenamiento y transporte, y la mínima a la cual no es posible realizar la necesaria compactación de la mezcla.

Debido a la naturaleza termoplástica de los ligantes bituminosos, y condicionada por los factores ya indicados, la viscosidad más adecuada para una perfecta envuelta se considera en principio que debe estar comprendida entre 150 y 300 cSt (75 - 150 SSF) para las mezclas de tipo más denso y entre 300 y 1000 cSt (150-500 SSF) para las mezclas de tipo más abierto.

Este margen de viscosidades condiciona, según el tipo y naturaleza del ligante de acuerdo con el diagrama viscosidad-temperatura de los ligantes bituminosos (fig. 5.8), el margen de temperaturas más indicado para el calentamiento de los ligantes a fin de conseguir la buena envuelta de los áridos.

Como los áridos constituyen el mayor porcentaje de la mezcla, su temperatura de calentamiento debe ser lo más aproximada a la del ligante, y debido a la mayor dificultad práctica de mantener su temperatura dentro de un intervalo, dado que no es conveniente su disminución, se permite una tolerancia de 10°C por encima de la temperatura de calentamiento del ligante.

Normalmente el límite máximo para el calentamiento de áridos y ligante, función del tipo de ligante y de la mezcla, será de 15°C por encima de la temperatura máxima del ligante para la envuelta, deducida de su viscosidad.

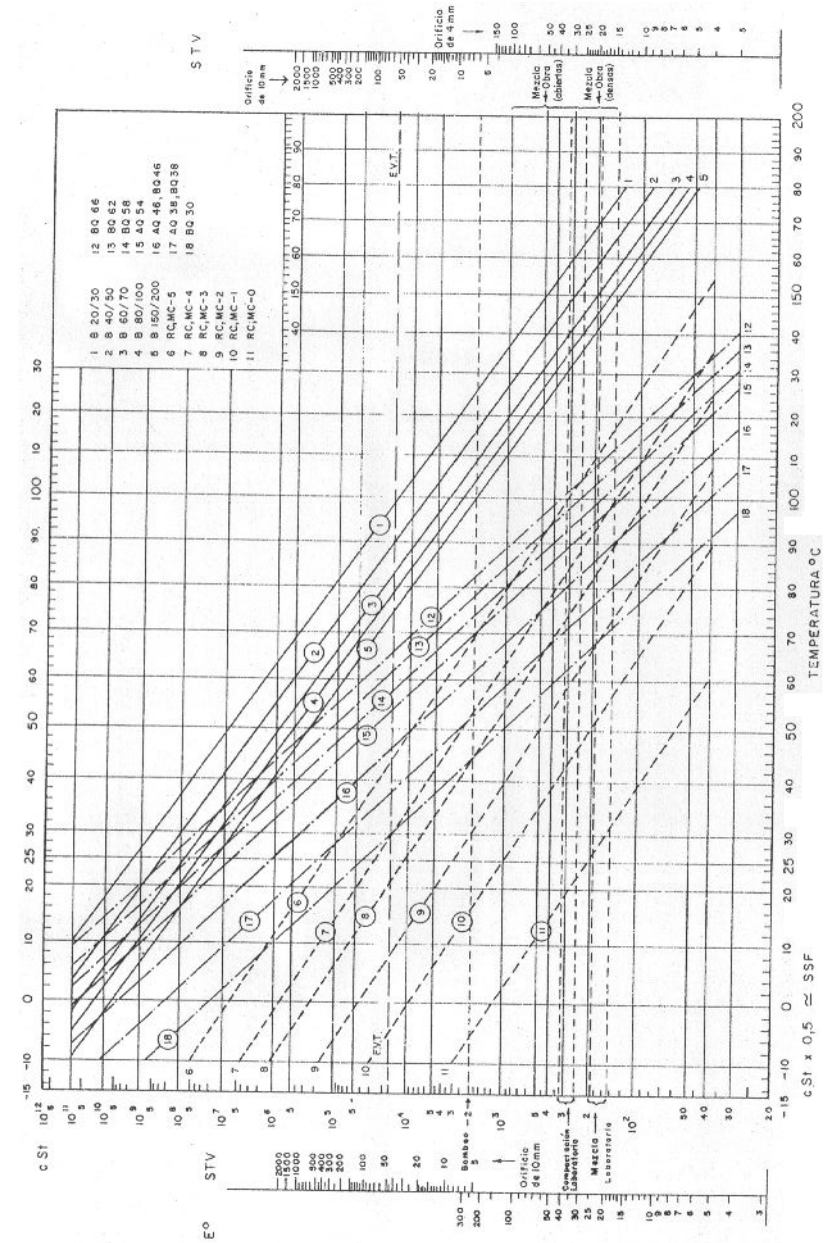


Fig. 5.8 DIAGRAMA VISCOSIDAD -- TEMPERATURA DE LIGANTES BITUMINOSOS

La temperatura más adecuada de extensión y compactación, función de los factores anteriormente indicados, no puede establecerse a priori, por lo que es necesario hacerlo en las condiciones de la obra, mediante la ejecución de los correspondientes tramos de prueba.

Como regla general, se considera que para la ejecución del apisonado principal la suma de la temperatura de la mezcla y la temperatura ambiente a la sombra debe estar comprendida entre 150°C y 190°C. Se tenderá hacia el límite más alto cuando se trabaje en condiciones más desfavorables: ligante viscoso, mezcla cerrada, tiempo frío o ventoso, capa delgada, equipo de compactación ligero, etc; y por el contrario hacia el límite inferior cuando se trabaje en buenas condiciones.

Dentro de estos límites, temperatura de mezcla y temperatura de compactación, se establecerá en el tramo de prueba el resto de las temperaturas a vigilar, tales como la de carga de los camiones en la instalación y la de descarga en la extendidora.

De acuerdo con estos criterios, se recogen a continuación las temperaturas aconsejables y los límites máximos de calentamiento para los betunes asfálticos más utilizados actualmente en función del tipo de betún y del tipo de mezcla.

– En mezclas tipo D,S y G y, en general, en todas aquellas que tengan menos de un 10% de huecos:

	<u>B 40/50</u>	<u>B 60/70</u>	<u>B 80/100</u>
Temperaturas de envuelta			
ligante	150 – 165°C	140 – 160°C	135 – 150°C
áridos *	150 – 165°C	140 – 160°C	135 – 150°C
calentamiento máximo	180°C	175°C	165°C

– En mezclas tipo A y, en general, en las abiertas con más de un 10% de huecos:

	<u>B 40/50</u>	<u>B 60/70</u>	<u>B 80/100</u>
Temperaturas de envuelta			
ligante	130 – 150°C	120 – 140°C	115 – 135°C
áridos*	130 – 150°C	120 – 140°C	115 – 135°C
calentamiento máximo	165°C	155°C	150°C

* la temperatura de los áridos se aproximara lo más posible a la del ligante, con una tolerancia de +10°C.

Para el betún B 40/50 la temperatura de mezcla, deducida de la figura 5.8 estará comprendida entre 150 y 165°C. Tomando 158°C como temperatura media de trabajo, los áridos no podrán entrar en el mezclador a más de:

$$158 + 10 = 168^{\circ}\text{C}$$

En cualquier caso, aun cuando se reúnan las peores condiciones de trabajo, el calentamiento máximo de áridos y ligantes será de:

$$165 + 15 = 180^{\circ}\text{C}$$

La mezcla podría cargarse directamente en los elementos de transporte o almacenarse en un silo, donde su pérdida de temperatura es generalmente pequeña en un proceso normal de fabricación. La temperatura mínima para el vertido en la extendidora y la extensión, estará fijada por la necesaria para el proceso de compactación, función del clima, espesor de la capa y medios disponibles para su realización. Estos factores, junto con la distancia de transporte, harán que en cada caso y a lo largo de la obra, se fijen las temperaturas más adecuadas teniendo en cuenta los datos obtenidos durante la ejecución del tramo o tramos de prueba.

En función de la temperatura ambiente, la temperatura de la mezcla para la ejecución del apisonado principal puede establecerse dentro de los siguientes límites:

Temperatura Ambiente	Temperatura mezcla
10°C	170 a 180°C
25°C	140 a 150°C
40°C	110 a 120°C

Establecidos los criterios para las temperaturas de mezcla y compactación, se establecerán en el tramo de prueba el resto de las temperaturas a vigilar tales como la de carga de los camiones en la instalación y la de descarga en la extendidora.

5.5 AJUSTE DEL TIEMPO DE MEZCLADO

El tiempo necesario para la perfecta envuelta de los áridos y el filler por el ligante tiene una influencia importante, tanto en la calidad de la misma como en la producción real de la instalación.

Deberán señalarse, para el caso en que la fabricación de la mezcla se realice en instalaciones de tipo discontinuo, los tiempos a exigir para la mezcla de los áridos en seco y para la mezcla de los áridos con el ligante; y para el caso en que la fabricación de la mezcla se realice en instalaciones de tipo continuo, el tiempo teórico de mezcla.

Para que la mezcla se considere aceptable, debe conseguirse que el ligante haya envuelto completamente todos los áridos. A igualdad de las demás circunstancias (forma y capacidad del mezclador, disposición de las paletas, velocidad de giro de éstas, etc), la envuelta depende del tiempo de mezcla.

El tiempo de mezcla y la capacidad del mezclador definen la producción real de la instalación. Cuando ésta es de tipo discontinuo, la capacidad se fija previamente como la máxima admisible, y queda por determinar el tiempo. Si la instalación es de tipo continuo, la producción horaria puede fijarse de antemano dentro de ciertos límites, y el tiempo teórico de mezcla depende de la capacidad del mezclador.

$$\text{Tiempo teórico de mezcla} = \frac{\text{peso de mezcla en el mezclador}}{\text{producción}}$$

En las instalaciones de tipo continuo, la capacidad del mezclador se regula mediante la compuerta de salida, facilitando los constructores los datos necesarios para los cálculos (figuras 5.9 y 5.10).

$$\text{Densidad de la mezcla en el mezclador} = 2,02 \text{ t/m}^3$$

$$\text{Contenido del mezclador: } 0,191 \times 2,02 = 0,386 \text{ t}$$

$$\text{Producción horaria fijada: mezcla áridos (80t/h), filler (5\%) y ligante (4,6\%), total 88t/h} = 1,47 \text{ t/min}$$

$$\text{Tiempo teórico de mezclado} = \frac{0,386}{1,47} = 0,26 \text{ min} = 15,6 \text{ s}$$

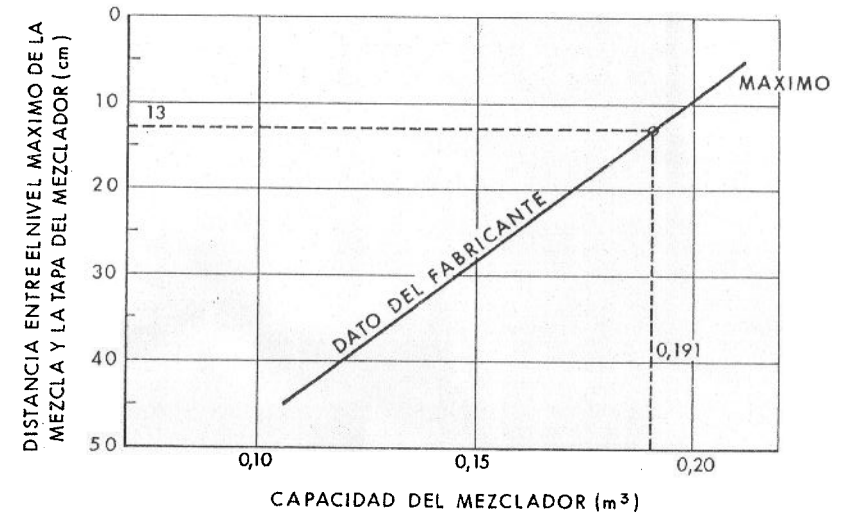


Fig. 5.9

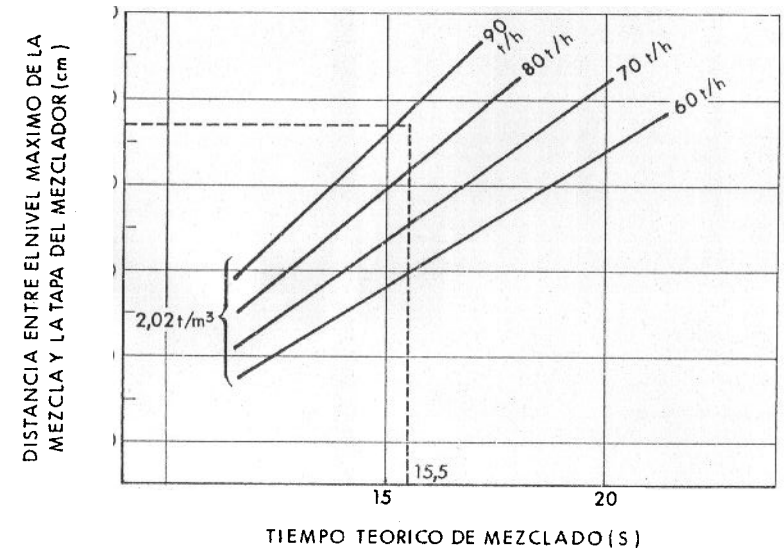


Fig. 5.10

El tiempo mínimo de mezclado se puede determinar empíricamente de varias formas. Una de las que parece que gozan de más prestigio es la Cuenta de Ross. En este método se determinan experimentalmente en la instalación las partículas de árido superior a 10 mm (tamiz 10 UNE), que presentan algún punto descubierto, y se expresa su porcentaje ponderal en función de los tiempos de mezclado. Se suele exigir un máximo del 10% de partículas con puntos descubiertos (fig. 5.11).

Las conclusiones que se puedan derivar teniendo en cuenta los tiempos mínimos de mezclado pueden obligar a corregir la producción de la instalación.

El tiempo mínimo de mezclado deducido de la Cuenta de Ross puede afectar a la producción.

a) Instalación de tipo discontinuo

Suponiendo que además de los 19 segundos del mezclado, hay que contar, por término medio, 5 segundos para descarga del mezclador y otros 5 segundos para su carga, el ciclo será de 29 segundos, y como la capacidad del mezclador es de 800 kg, la producción máxima será:

$$\frac{800}{29} \times \frac{3.600}{1000} = 93,3 \text{ t/h}$$

que es superior a las 88 t/h, previstas para la mezcla total, luego el tiempo de mezcla para la amasada real (árido más ligante), será:

$$\frac{(800 + 36,8) \times 3.600}{88 \times 1000} = 34,2 \text{ segundos}$$

lo que nos indica que el tiempo de mezcla previsto, 34,2 segundos, es suficiente por ser superior al mínimo exigido por la Cuenta Ross.

b) Instalación de tipo continuo

Para un tiempo teórico de mezclado de 19 segundos, la capacidad del mezclador debe ser:

$$\frac{88}{3600} \times 19 = 0,464 \text{ t} \text{ o sea } \frac{0,464}{2,02} = 0,230 \text{ m}^3$$

En la figura 5.9, se aprecia que la capacidad máxima del mezclador para la instalación considerada es de 0,212 m³. Luego habrá que limitar la producción a

$$\frac{0,212}{0,230} \times 88 = 81 \text{ t/h}$$

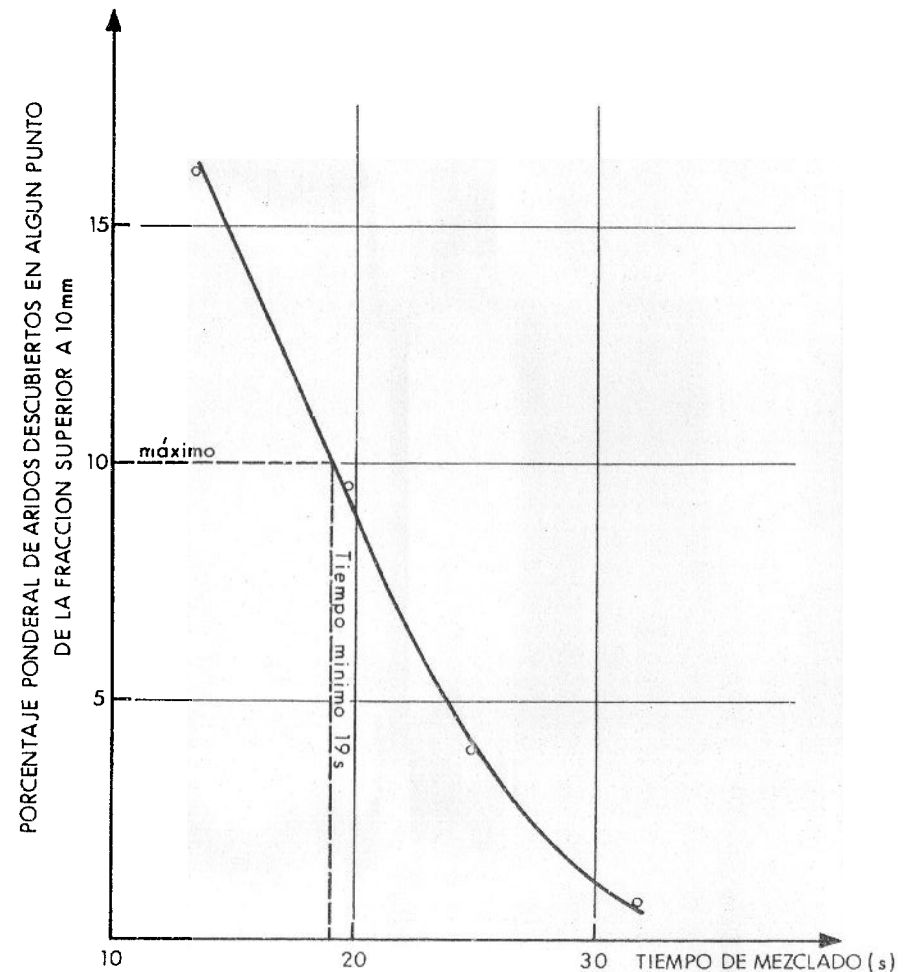


Fig. 5.11

5.6 FABRICACION DE LA MEZCLA BITUMINOSA Y DETERMINACION DE SUS CARACTERISTICAS

Una vez puesta a punto la granulometría y la proporción de ligante y ajustadas las temperaturas de fabricación y tiempo de mezclado, sólo queda comenzar la fabricación de la mezcla bituminosa y obtener sus características para compararlas con las de la mezcla proyectada.

Para ello, se pone en marcha la instalación completa en las condiciones en que ha sido ajustada y se procede a la toma de muestras para la determinación de la granulometría y proporción de ligante y a la fabricación de probetas, con objeto de determinar la estabilidad, deformación y análisis de huecos.

Si la granulometría y proporción de ligante son correctos, dentro de las tolerancias establecidas, se compara el resto de los resultados obtenidos con los correspondientes a la dosificación proyectada.

Como las condiciones de fabricación de la mezcla en obra son diferentes a las de laboratorio, puede haber algunas diferencias en sus características.

Cuando estas diferencias sean pequeñas y se cumplan las tolerancias exigidas, la puesta a punto de la instalación puede darse por terminada.

Cuando siendo correcta la granulometría y proporción de ligante, los ensayos de las características de la mezcla no concuerden con los de la dosificación proyectada; habrá que pensar primeramente en una mala toma de muestras, en una deficiente fabricación de las probetas o en una mala ejecución del ensayo. Si todo esto se ha hecho correctamente, la causa puede estar en una temperatura inadecuada de fabricación o un tiempo de envuelta escaso.

5.7 MEZCLAS EN FRIO

La puesta a punto de la instalación y obtención de la fórmula de trabajo en el caso de mezclas bituminosas en frío es similar a la de las mezclas en caliente, salvo las diferencias correspondientes a las características de la instalación empleada, de acuerdo con lo indicado a este respecto en el capítulo 4, y el tipo de ligante utilizado.

5.8 TRAMOS DE PRUEBA

Al iniciarse los trabajos, el Contratista de las obras construirá una o varias secciones de ensayo, del ancho y longitud adecuados, de acuerdo con las condiciones establecidas anteriormente, y en ellas se probará el equipo y el plan de compactación.

Se tomarán muestras de la mezcla y se ensayarán para determinar su conformidad con las condiciones especificadas de densidad, granulometría, contenido de ligante y demás requisitos. En el caso de que los ensayos indicasen que la mezcla no se ajusta a dichas condiciones, deberán hacerse inmediatamente las necesarias correcciones en la instalación de fabricación y sistemas de extensión y compactación o, si ello es necesario, se modificará la fórmula de trabajo, repitiendo la ejecución de las secciones de ensayo una vez efectuadas las correcciones.

Una vez ajustada la fórmula de trabajo y la instalación de fabricación, se procederá a la realización de los tramos de prueba con el fin de establecer el plan de extensión y de compactación más adecuado y, mediante el análisis de las características de la mezcla, realizar las últimas correcciones antes del comienzo de la puesta en obra.

Durante la ejecución de los tramos de prueba, la extensión de la mezcla se realizará, a ser posible, en las mismas condiciones que en la futura puesta en obra en cuanto a ancho y espesor de la capa y a la velocidad de extendido, función de los dos factores anteriores y de la producción de la planta.

Teniendo en cuenta el equipo de compactación disponible, a fin de no multiplicar los tramos de prueba, se establecerán las variables a ensayar.

En un primer ensayo será aconsejable escoger, basadas en la experiencia, las condiciones que se crean más apropiadas y realizar los tramos de prueba variando tan sólo el orden del tren de apisonado y número de pasadas, fijando la carga lineal para los rodillos metálicos, la carga y presión de inflado para los de neumáticos y la frecuencia y amplitud de vibración para los vibratorios, si disponen de estas posibilidades.

El orden del tren de apisonado dependerá en principio de la maquinaria puesta a disposición de la obra, teniendo en cuenta qué máquinas pueden ser encargadas del apisonado inicial, el principal y el de acabado.

En cuanto al número de pasadas y la zona de actuación de cada compactador será función de su capacidad y de la velocidad de extendido teniendo en cuenta que, fijada la velocidad de extendido, el número de pasadas máximo y mínimo, dependerá de la velocidad del compactador. El número teórico de pasadas para una cobertura de la superficie extendida, vendría dado por la relación:

$$\frac{\text{ancho} \times \text{velocidad del compactador}}{\text{ancho} \times \text{velocidad de la extendidora}}$$

Naturalmente el número real de pasadas será mayor debido a los solapes.

Calculadas las posibles pasadas de cada una de las máquinas y para cada orden de compactación se planificarán los tramos de ensayo a realizar, en función del número de pasadas de cada una de las máquinas.

Durante la realización de cada uno de los tramos, se medirán las temperaturas de mezcla a la entrada y salida de las distintas máquinas y se observará el efecto de las mismas.

Durante la ejecución se tomarán muestras de la capa extendida sin compactar para determinar las posibles segregaciones durante el transporte y la extensión. Al terminar los tramos, se determinarán mediante testigos las densidades alcanzadas y el espesor de la capa compactada. Si se prevé el empleo de aparatos nucleares para el control de las densidades en obra, se aprovecharán los tramos de prueba para realizar las medidas con dichos aparatos y comprobar la correlación con los testigos de sondeo extraídos en el mismo sitio donde se realizaron las medidas con los aparatos nucleares.

Fijada la temperatura más adecuada para el apisonado se establecerán, teniendo en cuenta lo indicado en el apartado 5.4, las temperaturas mínimas de la mezcla a su llegada a obra, a la salida de la instalación y de fabricación.

Todos los datos así obtenidos nos darán las condiciones más adecuadas para la realización de la puesta en obra de la mezcla, de acuerdo con las exigencias de los Pliegos de Prescripciones Técnicas y las condiciones propias. Al mismo tiempo se obtendrán datos sobre la influencia del transporte y extensión en la homogeneidad y características de la mezcla, lo que permitirá hacer los reajustes necesarios.

Durante la ejecución de los tramos de ensayo no existe en principio el problema de la longitud máxima de compactación en función de la temperatura de la mezcla. En la obra real habrá de determinarse, durante las primeras jornadas de trabajo, el tiempo de enfriamiento en minutos de la capa extendida hasta llegar a temperaturas entre 90 y 110 °C según el tipo de mezcla, por debajo de las cuales el efecto de la compactación principal es dudoso. Este tiempo es función principalmente de la temperatura de la mezcla recién extendida, de la temperatura de la capa sobre la que se apoya, del viento, etc.

Fijada esta longitud, es necesario ordenar el tren de apisonado de manera que cada uno de los compactadores se mueva dentro de la zona apropiada sin

interferencias con el resto de las máquinas. Esta ordenación puede facilitarse por medio de señales arrastradas por la extendedora.

En función de este tiempo máximo y del número de pasadas necesarias de cada máquina, se reajustarán las velocidades con el fin de conseguir la compactación deseada, estableciendo definitivamente el plan de compactación.

Durante toda esta operación, para la que es imposible dar reglas fijas por la infinidad de variables implicadas, habrán de tenerse en cuenta los siguientes conceptos:

Lo ideal es que la extendedora no se detenga nunca, para lo cual habrá de escogerse la velocidad de trabajo apropiada.

A igualdad de producción y condiciones ambientales, el tiempo útil de compactación es mayor conforme es mayor el espesor de la capa, haciendo menos crítico el apisonado.

La presión de contacto de los rodillos lisos es función del peso y geometría de las ruedas. A igualdad de peso, los rodillos más estrechos y de menor diámetro producen una mayor presión, pero pueden originar desplazamiento de la mezcla. Para la compactación inicial convendrá rodillos poco cargados, anchos y de gran diámetro. Para la principal lo contrario. El efecto en profundidad de estos rodillos es pequeño.

En los compactadores de neumáticos puede jugarse con la carga total y la presión de inflado para lograr los efectos deseados. En las compactaciones iniciales, sobre todo trabajando en caliente, convendrán presiones de inflado bajas y cargas mayor o menor según la capa sea más o menos gruesa. Para la compactación principal serán necesarios una mayor presión de contacto y carga total.

Las apisonadoras vibrantes pueden realizar la compactación inicial sin vibrar y la principal vibrando, jugando con la amplitud y frecuencia más apropiadas según el espesor de la capa cuando éste sea posible.

Hay que disponer de una máquina auxiliar de rodillos lisos para la compactación de bordes, juntas y corte de los bordes.

La compactación con neumáticos, en general, es más eficaz y versátil.

La compactación principal de capas gruesas deberá realizarse con compactador de neumáticos, vibrante o mixto.

6. CRITERIOS PARA TOMA DE MUESTRAS, ENSAYOS A REALIZAR Y TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Todos los materiales empleados en la fabricación de la mezcla bituminosa, así como la propia mezcla, deberán ser sometidos a ensayos con el fin de asegurarse de que cumplan las especificaciones señaladas en los Pliegos de Prescripciones Técnicas.

Para ello es necesario efectuar las correspondientes tomas de muestras representativas con las que han de realizarse los ensayos. Los resultados de estos ensayos serán la base para que el Director de las obras tome la decisión de aceptar o rechazar los distintos materiales o la obra realizada.

La toma de muestras constituye por ello una operación de la mayor importancia dentro de la misión del Equipo de Control, cuya realización ha de seguir unas normas bien establecidas.

De acuerdo con el apartado 1.3.1 se considera que la fabricación y puesta en obra de una mezcla bituminosa constituye un proceso industrial y este proceso se considera como una producción sucesiva de lotes, es decir, de cantidades de material de la misma procedencia, cuya producción se supone uniforme y en la que no intervienen más que factores aleatorios.

El concepto de lote se fija aplicando distintos criterios tales como jornada de trabajo, determinado número de toneladas, número de horas de trabajo, número de metros cuadrados de capa bituminosa puesta en obra, etc..

Estadísticamente, una muestra se define como una porción de una población escogida de tal forma que represente la población total. La población se refiere en nuestro caso a un lote definido como anteriormente se ha indicado.

Para que la muestra sea representativa de la población a la que pertenece ha de ser tomada de una forma aleatoria, de modo que todas sus posibles localizaciones dentro del lote tengan en principio la misma probabilidad de ser escogidas.

La toma de muestras, los ensayos y la valoración de los distintos materiales que intervienen en la fabricación de la mezcla bituminosa se realizarán, normalmente, antes y durante el proceso de fabricación.

La mezcla se valorará a la salida de la instalación y después de extendida para asegurarse de la calidad de la producción y de la puesta en obra.

La calidad de los materiales deberá controlarse antes de entrar en el proceso de producción.

La granulometría de los áridos en frío, áridos en caliente y filler recuperado, así como de la mezcla de áridos, podrá controlarse en diferentes puntos a lo largo del proceso de fabricación.

Para valorar la mezcla se separan los tres procesos implicados y las muestras se tomarán:

- a) a la salida de la instalación para comprobar el proceso de fabricación (composición y características de la mezcla),
- b) detrás de la extendidora para comprobar las alteraciones producidas durante el transporte y extensión (composición),
- c) después de la compactación para asegurar la calidad del proceso de extensión y apisonado (espesor y densidad).

6.1 CRITERIOS A SEGUIR PARA LA TOMA DE MUESTRAS

La toma de muestras se realizará aplicando las siguientes definiciones y criterios:

Lote.- Una cantidad de material que se desea controlar. Puede definirse por la producción de un día, un número de toneladas determinado, un cierto número de camiones, un período de tiempo durante el proceso de fabricación, etc.

Muestra.- Una parte del lote escogida para representar el total del lote. Puede estar constituida por un determinado número de muestras parciales.

Muestra parcial.- Una porción de la muestra, tomada de una unidad del lote, tal como una tonelada determinada, un determinado camión, una superficie especificada.

Muestra unitaria.- Una porción de la muestra parcial tomada de una unidad del lote y combinada con una o más muestras unitarias para constituir una muestra parcial (fig. 6.1).

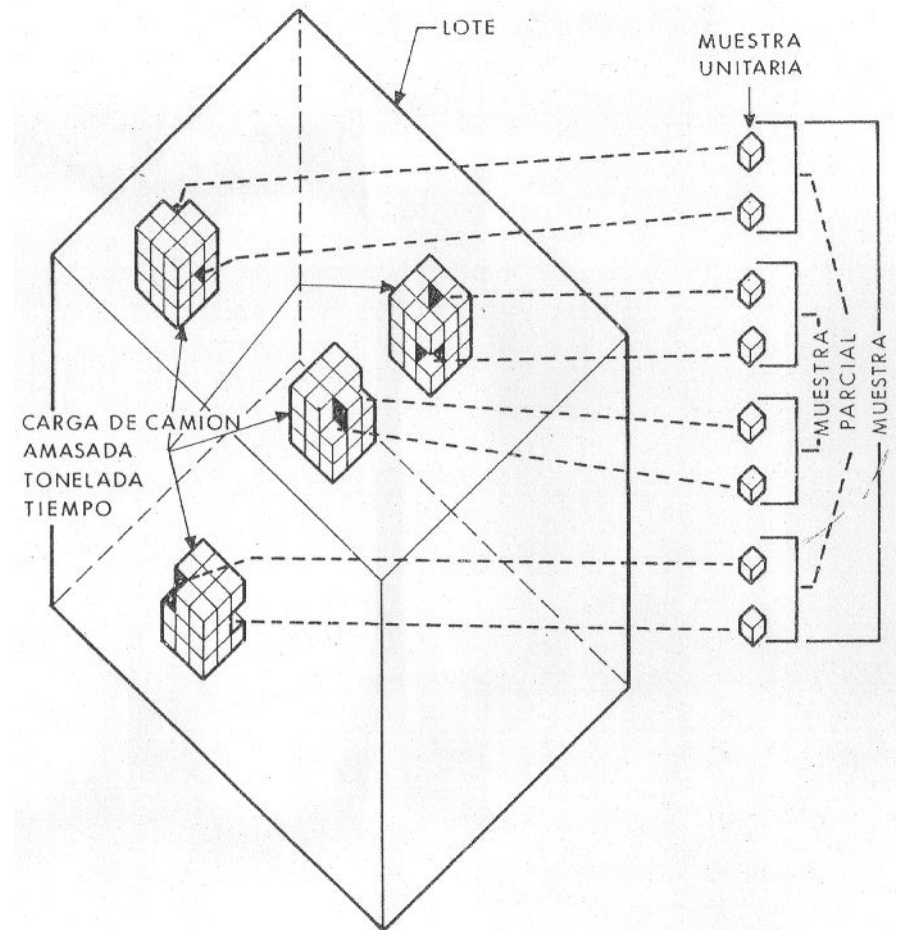


Fig. 6.1 DIAGRAMA ESQUEMATICO REPRESENTANDO, LOTE, MUESTRAS PARCIALES Y MUESTRAS UNITARIAS

Aceptados estos criterios, es necesario establecer los siguientes pasos a fin de elegir las localizaciones para la realización del muestreo.

- a) Elegir el lote en términos de día de producción, tonelaje fabricado, número de camiones, metros cuadrados de capa bituminosa o período de tiempo.
- b) Elegir el número de muestras del lote. Se recomienda una muestra por lote compuesta de cuatro muestras parciales.
- c) Elegir la localización para la toma de muestras parciales dentro del lote.
- d) Elegir el número y la localización de la toma de las muestras unitarias de que se componen las muestras parciales. Se recomiendan dos muestras unitarias por muestra parcial.
- e) Las muestras unitarias se mezclan cuidadosamente para formar las muestras parciales.
- f) Cuando el objeto del control sea la determinación de las características medias del material, se mezclarán cuidadosamente todas las muestras parciales y por cuarteo se reducirá la mezcla para obtener la muestra de ensayo.
- g) Cuando el objeto del control sea, además, determinar las variaciones de las características del material durante el proceso para comprobar su uniformidad, se ensayarán por separado las muestras parciales, obteniendo de ellas por cuarteo las correspondientes muestras para ensayo. En este caso, las características de la muestra total serán las medias de las correspondientes a las muestras parciales ensayadas.

6.2 TOMA DE MUESTRAS DE CAMIONES

La localización de la toma de muestras de camiones, bien de suministro de materiales o de mezcla fabricada, se realizará de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- 1) Asignar, al comienzo de la jornada de control, un número a cada camión de suministro de materiales y de mezcla fabricada, comenzando por el número 1 y dándoles a continuación números sucesivos. Determinar los camiones para la realización del muestreo por el siguiente procedimiento:

- a) Colocar en un recipiente tantos cartones con números consecutivos como camiones componen el lote y mezclarlos.
 - b) Sacar del recipiente un número de cartones igual al de muestras parciales deseadas. Los números de los cartones serán los de los camiones en los que se realizará el muestreo.
- 2) Escoger para cada muestra parcial la localización de la toma de muestras unitarias por el siguiente procedimiento:
- a) Dividir la superficie del camión en cuatro cuadrantes iguales y numerarlos del 1 al 4 con una secuencia determinada.
 - b) Introducir en un recipiente cuatro cartones numerados del 1 al 4 y agitarlos.
 - c) Sacar del recipiente el número de cartones igual al número de muestras unitarias a tomar del camión. Los números sacados nos darán los cuadrantes donde se tomarán las muestras.
 - d) Las muestras unitarias se tomarán en el centro del cuadrante eliminando los primeros veinticinco centímetros de material.
 - e) Las muestras unitarias se mezclarán cuidadosamente para componer cada una de las muestras parciales.

Ejemplo:

Tamaño del lote = 60 camiones

Número de muestras por lote = 1

Número de muestras parciales = 4

Número de muestras unitarias por muestra parcial = 2

Sacar 4 números del recipiente para determinar los camiones en que se ha de realizar el muestreo. Supongamos sean 6, 15, 38 y 52 de donde se tomarán las muestras parciales.

Dividir la superficie del camión en 4 cuadrantes y numerarlos en una secuencia determinada.

1	2
4	3

Sacar del recipiente con los 4 números, sucesivamente dos a dos para determinar la localización de los puntos para la toma de las muestras unitarias en cada camión. Sean: 4 y 2; 1 y 2; 3 y 1 y 4 y 1.

El plan de toma de muestras será el siguiente:

Núm. del camión	Localización del cuadrante Muestras unitarias	Muestra parcial N°
6	4 y 2	1
16	1 y 2	2
38	3 y 1	3
52	4 y 1	4

Las muestras unitarias se mezclan para obtener la muestra parcial correspondiente, de la cual mediante cuarteo se obtendrá la muestra para ensayo.

6.3 TOMA DE MUESTRAS EN LA INSTALACION

La localización de la toma de muestras en la instalación, áridos en frío, mezcla de áridos, filler de recuperación, áridos en caliente o mezcla se realizará según el siguiente procedimiento:

1) Asignar a cada período de 1/4 de hora de la jornada de trabajo un número empezando por el 1 al comienzo de la fabricación y dando a los períodos siguientes números sucesivos. Determinar el momento de realizar la toma de muestras mediante el siguiente procedimiento:

Colocar los cartones numerados igual al número de cuartos de hora en un recipiente. Agitarlos. Sacar el número de cartones igual al número de muestras parciales deseadas del lote que nos indicarán los momentos en que éstas han de tomarse.

2) Una vez determinado el momento de la toma de muestras parciales, la toma de las muestras unitarias se realizará por el siguiente procedimiento:

- Se divide el cuarto de hora en períodos de 3 minutos y se introducen en un recipiente 5 cartones numerados del 1 al 5.
- Se sacan para cada muestra parcial dos cartones. La operación se repite para cada muestra. En los períodos determinados se tomarán las muestras unitarias.
- Las muestras unitarias se tomarán cortando el flujo total del material por medio de un recipiente apropiado.

Ejemplo:

Tamaño del lote = 10 horas

Número de muestras = 1

Número de muestras parciales por muestra = 4

Número de muestras unitarias por muestra parcial = 2

Sacar 4 cartones de los 40 metidos en el recipiente: sean los 4, 16, 27 y 37 que nos darán los períodos de tiempo en que hay que realizar las tomas de las muestras parciales.

Sacar del recipiente 2 cartones de los 5 para determinar el momento de la toma de las muestras unitarias: sean estos 1-2, 2-5, 5-3 y 2-4.

El plan de toma de muestras será el siguiente:

Muestra parcial Núm.	Período de tiempo		Localización	
	Núm.	Hora	Núm.	Minutos
1	4	8,45-9,0	1-2	8,45/ 8,48- 8,48/ 8,51
2	16	11,45-12,0	2-5	11,48/11,51-11,57/12,0
3	27	14,30-14,45	3-5	14,36/14,39-14,42/14,45
4	37	17,0 -17,15	2-4	17,03/17,06-17,09/17,12

Las muestras unitarias se mezclan para formar las parciales, de las que se obtendrá por cuarteo la muestra de ensayo.

6.4 TOMA DE MUESTRAS DE LA CAPA EXTENDIDA SIN COMPACTAR

La localización de la toma de muestras se realizará detrás de la extendidora en la capa extendida antes de compactar, de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- La toma de muestras parciales se realizará, normalmente, siguiendo el mismo procedimiento empleado para la toma de muestras en la instalación, dividiendo la jornada de trabajo en períodos de 1/4 de hora.
- Determinado el momento para la realización de la toma de muestras, la localización, en la superficie de la capa, del punto de donde tomar las muestras unitarias se realizará mediante el siguiente procedimiento:

- a) Colocar dentro de un recipiente tantos cartones como metros de ancho de extensión de la capa multiplicado por 4, numerándolos sucesivamente a partir de 1.
- b) Sacar tantos cartones como muestras unitarias van a componer la muestra parcial, generalmente 2. Los números sacados representan la distancia en fracciones de 25 cm respecto al borde derecho en donde deberá localizarse la toma de la mezcla asfáltica.

La operación se repite para cada muestra parcial.

- c) En caso de emplear varias extendedoras el proceso completo a) y b) se repite para cada una de ellas.
- d) Longitudinalmente, los puntos para la toma de muestras unitarias estarán situados a un metro detrás de la extendidora; para la primera muestra en el momento inicial del período correspondiente, y para la segunda muestra en el momento de terminación de la toma de la primera.
- e) Las muestras se tomarán en todo el espesor de la capa, en una superficie determinada, de acuerdo con la cantidad necesaria.

Ejemplo:

Tamaño del lote = 10 horas

Número de muestras por lote = 1

Número de muestras parciales por muestra = 4

Número de muestras unitarias por muestra parcial = 2

Sacar 4 números de los 40 metidos en el recipiente que representan los 40 períodos de 1/4 de hora sucesivos. Sean estos el 4, 17, 29 y 32 los que nos indicarán los momentos a realizar la toma de las muestras parciales.

Suponiendo un ancho de extendido de 3,50 m introducir en el recipiente $3,50 \times 4 = 14$ cartones numerados correlativamente del 1 al 14. Sacar dos cartones para la primera muestra parcial y repetir la operación para las otras tres muestras parciales. Sean los números obtenidos 3 y 7, 12 y 2, 10 y 13 y 8 y 4.

El plan de toma de muestras será el siguiente:

Muestra parcial	Periodo de tiempo		Localización	
	Núm.	Núm. Hora	Núm.	Distancia borde (cm)
1	4	8,45– 9,0	3 y 7	0,50/0,75 y 1,50/1,75
2	17	12,0 –12,15	12 y 2	2,75/3,00 y 0,25/0,50
3	29	15,0 –15,15	10 y 13	2,25/2,50 y 3,00/3,25
4	32	15,45–16,0	8 y 4	1,75/2,00 y 0,75/1,00

Las muestras unitarias de cada muestra parcial se mezclan para tomar por cuarteo la muestra para ensayo.

6.5 TOMA DE MUESTRAS DE LA CAPA COMPACTADA

La localización de la toma de muestras de la capa compactada, generalmente por medio de testigos de sondeo, se efectuará sobre la obra realizada el día anterior de acuerdo con el siguiente procedimiento:

1) Asignar un número a cada 10 m de longitud de la capa extendida en la anterior jornada de trabajo. A los primeros 10 m se les asignará el número 1 y a los siguientes los correspondientes números correlativos, determinando la posición de la zona de toma de muestras como sigue:

- a) Colocar en un recipiente tantos cartones numerados como tramos de 10 m componen la zona en que se va a realizar el muestreo.
- b) Sacar del recipiente un número de cartones igual al de muestras parciales deseadas. Los números correspondientes definen las zonas en que se realizará el muestreo.

2) Escoger para cada muestra parcial la localización de la toma de muestras unitarias de la siguiente forma:

- a) Colocar en un recipiente tantos cartones como metros de ancho de la capa multiplicados por 4, numerándolos sucesivamente a partir del 1.
- b) Sacar tantos cartones como muestras unitarias van a componer la muestra parcial, generalmente dos. Los números sacados representan la distancia en fracciones de 0,25 m respecto al borde derecho en donde deberá localizarse la toma de muestras unitarias. La operación se repite para cada muestra parcial.

- c) Los testigos se sacarán sobre una de las diagonales del rectángulo a muestrear. La diagonal a escoger será función de la localización de la primera muestra unitaria sacada del recipiente. Si está más próxima al borde exterior la diagonal comenzará en éste y en caso contrario en el borde interior.
- d) Los testigos serán de 10 cm de diámetro cuando se empleen para la determinación de espesores y densidad y de 15 cm de diámetro cuando se vayan a emplear en la determinación de la composición de la mezcla.

Ejemplo:

Tamaño del lote = 1.150 m

Número de muestras por lote = 1

Número de muestras parciales por muestra = 4

Número de muestras unitarias por muestra parcial = 2

Ancho de la capa = 3,50 m

Sacar 4 números de los 115 cartones metidos en el recipiente que representan las zonas de muestreo. Sean estos el 7, 52, 61 y 94.

Para los 3,50 m de ancho de la capa, introducir $3,50 \times 4 = 14$ cartones numerados correlativamente. Sacar dos cartones para la primera muestra parcial y repetir la operación para las otras tres muestras parciales. Sean los números obtenidos, 4 y 7, 9 y 2, 6 y 5 y 7 y 12.

El plan de toma de muestras será el siguiente:

Muestra parcial	Distancia al origen		Localización			
	Núm.	m	Núm.	Distancia	Borde (cm)	Diagonal
1	7	70-80	4 y 7	0,75/1,0	y 1,50/1,75	borde exterior
2	52	520-530	9 y 2	2,0 /2,25	y 0,25/0,50	borde interior
3	61	610-620	6 y 5	1,25/1,50	y 1,0 /1,25	borde exterior
4	94	940-950	7 y 12	1,50/1,75	y 2,75/3,0	borde exterior

De cada zona se toman dos testigos de 10 cm. de diámetro por muestra unitaria para determinar espesor de la capa y densidad de la mezcla (fig. 6.2).

6.6 TOMA DE MUESTRAS DE LOS SUMINISTROS EN CISTERNAS

La toma de muestras del suministro de materiales en cisternas, ligantes bituminosos o filler comercial, se realizará durante la descarga a los silos o tanques de almacenamiento, por medio de los dispositivos para la toma de muestras, situados en la conducción de descarga, evitando la toma al comienzo o final de la misma.

La toma se podrá realizar de una forma continua hasta completar la cantidad de muestra deseada o de forma intermitente a lo largo de un período de tiempo.

Cuando la cisterna de ligante bituminoso posea boca superior, podrá tomarse la muestra de acuerdo con la norma NLT-121/72.

6.7 PLAN GENERAL DE MUESTREO. FRECUENCIA, TAMAÑO Y RECOMENDACIONES PARA LA TOMA DE MUESTRAS

El plan general de control durante la fabricación y puesta en obra de las mezclas bituminosas se establecerá, de acuerdo con la obra, las instalaciones, las posibilidades del Equipo de Control y las instrucciones del Director de las obras, teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- 1) En principio los materiales a controlar, el lote, la frecuencia de ensayos, el tamaño de la muestra unitaria y los ensayos a realizar serán los indicados en las tablas 6.1 y 6.2.
- 2) Las muestras unitarias obtenidas de los camiones se tomarán en el centro del cuadrante, removiendo los 25 primeros centímetros de material superficial.
- 3) Las muestras unitarias tomadas de una corriente de material se realizarán cortando el flujo completo del mismo por medio de bandejas o recipientes adecuados.
- 4) Las muestras unitarias tomadas en acopios se compondrán tomando muestras iguales, a unos 20 cm de profundidad, de las partes bajas, medias y altas del mismo.
- 5) Las muestras unitarias de montones cónicos se tomarán por medio de un cogedor rascando desde la parte baja hasta la superior, en dos puntos del montón situados a 180°. Si el montón es pequeño será mejor reducir la muestra por cuarteo.

6) Las muestras unitarias de cisternas se tomarán por medio de los dispositivos para la toma en la tubería de descarga a los tanques o silos de almacenamiento, o por la boca superior.

7) Las muestras en la capa extendida sin compactar se tomarán en una superficie determinada y en todo el espesor de la capa.

8) Los testigos para determinar la composición granulométrica serán preferentemente de 15 cm de diámetro.

9) La muestra para ensayo se tomará por cuarteo de la muestra parcial después de mezclar cuidadosamente las muestras unitarias, calentando en caso necesario. Se empleará preferentemente un cuarteador de abertura apropiada al tamaño máximo del árido.

10) Para evitar la segregación durante la toma de muestras de áridos y mezcla en acopios, montones o camiones se recomienda emplear un cogedor de tipo cilíndrico, de unos 10 cm de diámetro, que puede construirse con una pala de punta dándole la forma de tubo.

11) Las Normas NLT-148/72 y NLT-121/72 dan detalles complementarios para la realización de las tomas de muestras de los áridos, filler y ligantes.

6.8 VALORACION Y TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Como ya se ha indicado, cada muestra representativa del lote se compondrá de cuatro muestras parciales, las cuales a su vez se componen de dos muestras unitarias.

Las muestras unitarias se mezclarán en todos los casos para formar las muestras parciales.

Las muestras parciales pueden ensayarse aisladamente o mezclarse cuidadosamente para componer la muestra total.

Los ensayos se realizarán sobre muestras del tamaño indicado en la Norma de Ensayo NLT correspondiente, obtenidas por cuarteo cuidadoso de las muestras parciales, o de la muestra total.

Cuando se pretende controlar las características medias del lote, la muestra para ensayo se tomará por cuarteo de la mezcla total.

Cuando se ensaya cada muestra parcial por separado, los resultados parciales nos indicarán la uniformidad de la fabricación. La media aritmética de los resultados obtenidos con las muestras parciales nos indicará las características medias de la muestra total y por tanto del lote controlado.

Las características medias del lote deberán cumplir las tolerancias del Pliego de Prescripciones Técnicas, aun cuando alguna de las muestras parciales sobrepase dichas tolerancias.

En general, resulta conveniente tratar todos los resultados de los ensayos por medio del procedimiento de las medias móviles que nos dan una mayor información de las características de un suministro o de una fabricación.

Para ello se determina la media de los cinco primeros resultados y a continuación se irá sustituyendo el más antiguo por el recién terminado (apéndice 4). Las medias móviles así halladas nos darán la información sobre la tendencia de la variable controlada, pudiendo admitirse resultados aislados fuera de los límites establecidos, si la variable vuelve a cumplir las tolerancias.

Además, marcando límites de alerta, es posible actuar sobre el proceso con un mejor criterio para corregir o rectificar las posibles causas de las desviaciones respecto al valor deseado de la variable. Estos límites deberán establecerse previamente al comienzo del control.

La representación gráfica de los resultados con las tolerancias, límites de alerta y de actuación facilita esta labor.

Con los resultados del análisis de las muestras obtenidos por medio de este procedimiento, se puede además realizar, si se desea, un tratamiento estadístico más completo para definir los límites de confianza para cada nivel de probabilidad deseado de las distintas variables.

TABLA 6.1
PLAN GENERAL DE CONTROL

Material	Lote	Frecuencia (Nº de muestras)	Tamaño (M. unitaria)	Ensayos	Métodos de ensayo
Suministro de áridos	jornada	1	Tabla 6.2	granulometría equivalente arena	NLT 150/72 NLT 113/72
Suministro de filler	cisterna	1	1 kg	granulometría densidad aparente en tolueno	NLT 151/72
Suministro de ligante	cisterna	1	1 l.	penetración	NLT 178/74 NLT 124/72
Alimentación áridos en frío	jornada	1	Tabla 6.2	granulometría equivalente arena	NLT 150/72 NLT 113/72
Mezcla áridos	jornada	1	Tabla 6.2	granulometría	NLT 150/72
Filler de recuperación	jornada	1 ó 2	1 kg	granulometría densidad aparente en tolueno	NLT 151/72 NLT 178/72
Áridos en caliente	jornada o cada tres jornadas	1	Tabla 6.2	granulometría	NLT 150/72
Mezcla fabricada	jornada	1	10 kg	extracción Marshall	NLT 184 NLT 159/73
Mezcla sin compactar	jornada	1	8 kg	extracción	NLT 184
Mezcla compactada	jornada	1	2 testigos 1 testigo	espesor densidad composición	— NLT 183 NLT 184 y 185
Temperatura áridos	jornada	horaria			
Temperatura ligante	jornada	horaria			
Temperatura salida planta	jornada	cada camión			
Temperatura extendido	jornada	cada camión			

NOTA: Este plan de control se ha previsto para instalaciones con producción comprendida entre 100 y 150 t/h. En el caso de que las producciones sean netamente superiores o inferiores las frecuencias de control se aumentarán o reducirán proporcionalmente.

TABLA 6.2

TAMAÑO DE LAS MUESTRAS UNITARIAS

Tamaño máximo del árido mm	Peso mínimo kg
0,08	1
2,0	2
5,0	3
10,0	4
12,5	6
20,0	8
25,0	10

7. CONTROL DE LA FABRICACION DE LA MEZCLA BITUMINOSA Y DEL SUMINISTRO DE LOS MATERIALES

La fabricación de la mezcla comenzará una vez puesta a punto la instalación, definida la fórmula de trabajo definitiva y realizados los tramos de prueba correspondientes.

Comenzará entonces la verdadera misión del Equipo de Control, ya que su cometido consiste esencialmente en lograr que la mezcla fabricada sea homogénea a lo largo de la jornada y días sucesivos, y que su extensión y compactación se lleven a cabo correctamente. Para lograr lo primero, durante la fabricación, el Equipo de Control irá realizando, de una forma aleatoria, una serie de ensayos y controles, para comprobar la buena fabricación y puesta en obra de la mezcla dentro de las tolerancias permitidas y, con la ayuda de los datos que se van obteniendo, colaborar a las rectificaciones necesarias.

Con este control se tendrá una garantía de que la mezcla sale de la instalación de fabricación en las condiciones necesarias para conseguir una buena extensión y compactación de la misma, objetivo final de su misión.

El control de la fabricación comprende una serie de misiones complementarias y elementos a controlar, que pueden agruparse en la forma que se expone a continuación.

7.1 CONTROL DEL SUMINISTRO DE MATERIALES DURANTE LA FABRICACION

Una vez aceptados los acopios previos de los materiales que intervienen en la mezcla bituminosa, tal como se indica en el capítulo 4, se seguirá controlando su suministro durante la fabricación, de acuerdo con los siguientes criterios para cada uno de los materiales.

7.1.1 Control de los áridos y del filler

El control de estos materiales es de la mayor importancia, ya que la corrección de irregularidades de los mismos, antes de entrar en el ciclo de fabricación, es fundamental para el fin perseguido.

Cuando se detecten anomalías en el suministro de los áridos, se acopiarán por separado, hasta confirmar su aceptabilidad. Esta misma medida se aplicará cuando se autorice el cambio de procedencia de un árido.

La toma de muestras, los ensayos a realizar y el tratamiento de los resultados obtenidos, se hará de acuerdo con los criterios indicados en el capítulo 6.

Cuando por cualquier causa, aumentara la dispersión de los resultados, se intensificará la toma de muestras y se realizará el número de ensayos necesarios hasta averiguar la causa de la dispersión, que pudiera obedecer a que las condiciones medias hayan variado. En este caso se deberá realizar un nuevo acopio, separado del precedente, o rechazar el árido, según sea admisible o no la variación.

Asimismo, y de manera general, se mantendrá la vigilancia necesaria con objeto de que en los acopios no se produzcan segregaciones.

En el caso del filler, y siguiendo igualmente los criterios establecidos en el capítulo 6, se tomarán muestras para comprobar la uniformidad y características del material.

7.1.2 Control del ligante

7.1.2.1 Transporte y almacenamiento en bidones

Los bidones empleados para el transporte del ligante estarán constituidos por una virola de una sola pieza; no presentarán desperfectos ni fugas, sus sistemas de cierre serán herméticos, y se conservarán en buen estado, lo mismo que la unión de la virola con el fondo.

Se evitará la utilización, para emulsiones aniónicas, de bidones que hayan contenido emulsiones catiónicas, y viceversa; para lo cual los bidones deberán ir debidamente marcados por el fabricante.

A la recepción en obra de cada partida, el Director de las obras inspeccionará el estado de los bidones, y procederá a dar su conformidad para que se pase a controlar el material, o a rechazarlos.

Los bidones empleados para el transporte de ligante se almacenarán en instalaciones donde queden adecuadamente protegidos de la humedad, lluvia, calor excesivo, y de la zona de influencia de motores, máquinas, fuegos o llamas.

Los bidones empleados para el transporte de betún asfáltico fluidificado se colocarán preferentemente tumbados; y se extremará la vigilancia de estas condiciones cuando se tema que la temperatura ambiente pueda alcanzar valores cercanos al punto de inflamación del betún asfáltico fluidificado.

Los bidones empleados para el transporte de emulsiones asfálticas se almacenarán protegidos de las heladas, ya que estas últimas pueden producir la rotura de la emulsión.

El Director de las obras comprobará, con la frecuencia que crea necesaria, que del trato dado a los bidones durante su descarga no se siguen desperfectos que puedan afectar a la calidad del material; y de no ser así impondrá el sistema de descarga que estime más conveniente.

7.1.2.2 Transporte y almacenamiento a granel

Cuando el sistema de transporte sea a granel, el contratista comunicará al Director, con la debida antelación, el sistema que va a utilizar, con objeto de obtener la aprobación correspondiente.

Las cisternas empleadas para el transporte de ligante estarán dotadas de medios mecánicos para el trasiego rápido de su contenido a los depósitos de almacenamiento; y con tal fin serán preferibles las bombas de tipo rotativo a las centrífugas. Dichas bombas deberán estar calefactadas y/o poderse limpiar perfectamente después de cada utilización.

Los betunes asfálticos, los betunes asfálticos fluidificados RC-3 a RC-5 y MC-3 a MC-5, y los alquitranes AQ-46, AQ-54, BQ-46, BQ-58, BQ-62 y BQ-66, se transportarán siempre en caliente; para lo cual las cisternas a emplear estarán perfectamente calorifugadas y provistas de termómetros situados en puntos bien visibles. Será conveniente que estén dotadas de su propio sistema de calefacción, para evitar que, por cualquier accidente, la temperatura del producto baje excesivamente.

Los betunes asfálticos fluidificados RC-0 a RC-2 y MC-0 a MC-2, las emulsiones asfálticas y los alquitranes AQ-38, BQ-30 y BQ-38, podrán transportarse en cisternas ordinarias, sin aislamiento ni sistema de calefacción; incluso en las empleadas corrientemente para el transporte de otros líquidos, siempre que el Director pueda comprobar que se ha empleado una cisterna completamente limpia.

El ligante transportado en cisternas se almacenará en uno o varios tanques adecuadamente aislados entre sí, que deberán estar provistos de boca de ventilación para evitar que trabaje a presión; y que contarán con los aparatos de medida y seguridad necesarios para el perfecto funcionamiento de la instalación, situados en puntos de fácil acceso.

Todas las tuberías a través de las cuales ha de pasar un ligante que se transporta en caliente, desde el elemento de transporte al tanque de almacenamiento, deberán estar dotadas de calefacción y/o estar aisladas.

A la vista de las condiciones indicadas en los párrafos anteriores, así como de aquellas otras que, referentes a la capacidad de la cisterna, rendimiento del suministro, peligro de inflamación, etc., estime necesarias el Director, procederá éste a aprobar o a rechazar el sistema de transporte y almacenamiento presentado.

El Director comprobará con la frecuencia que crea necesaria, que durante el vaciado de las cisternas no se lleven a cabo manipulaciones que puedan afectar a la calidad del material; y de no ser así, suspenderá la operación hasta que se tomen las medidas necesarias para que aquella se realice de acuerdo con sus exigencias.

7.1.2.3 Recepción

Para controlar el suministro del ligante se tomarán muestras de cada partida de acuerdo con lo indicado en el capítulo 6.

A la recepción en obra de cada partida, y siempre que el sistema de transporte y la instalación de almacenamiento cuenten con la aprobación del Director, se llevará a cabo una toma de muestras; y sobre ellas se procederá a medir las características correspondientes a cada tipo de ligante.

En el caso de betunes asfálticos se medirá su penetración. En los betunes asfálticos fluidificados se medirá su viscosidad y se realizará el ensayo de destilación. En las emulsiones asfálticas se identificará el tipo de la misma, aniónica o catiónica, se medirá su contenido de agua, y su penetración sobre el residuo de destilación. En los alquitranes se medirá su viscosidad y se realizará el ensayo de destilación, midiendo el punto de reblandecimiento del residuo de ésta.

Con independencia de lo anteriormente establecido, cuando el Director lo estime conveniente, se llevarán a cabo las series de ensayos que considere necesarias para la comprobación de las demás características reseñadas en los cuadros de especificaciones correspondientes (apéndice 2).

Si la partida es identificable, y el contratista presenta una hoja de ensayos, redactada por un laboratorio dependiente del Ministerio de Obras Públicas, se efectuarán únicamente los ensayos que sean precisos para completar dichas series; bien entendido que la presentación de dicha hoja no afectará en ningún caso a la realización ineludible de los ensayos indicados anteriormente para la recepción en obra de cada partida.

7.2 CONTROL DE LA FABRICACION DE LA MEZCLA BITUMINOSA

Aparte de la inspección general descrita en el capítulo 4 para aceptar la maquinaria, durante la fabricación de la mezcla es necesario comprobar y controlar ciertos elementos y procesos que tienen influencia directa en la misma y sus condiciones de funcionamiento.

7.2.1 Tolvas o silos de alimentación en frío

Para el buen funcionamiento de la instalación es necesario prestar la debida atención a todos los factores que influyen en la alimentación en frío y que sirvieron de base para establecer la fórmula de trabajo durante la puesta a punto de la instalación.

La carga de los silos en frío se realizará de forma que éstos estén siempre llenos entre el cincuenta por ciento (50%) y el cien por ciento (100%) de su capacidad, sin rebosar. En las operaciones de carga se tomarán las precauciones necesarias para evitar segregaciones o contaminaciones.

Las aberturas de las salidas de los silos se regularán de forma que la mezcla de todos los áridos se ajuste a la fórmula de obra de la alimentación en frío. El caudal total de esta mezcla de áridos en frío se regulará de acuerdo con la producción prevista, no debiendo ser ni superior ni inferior, lo que permitirá mantener el nivel de llenado de los silos en caliente a la altura de calibrado.

Estos extremos deberán ser comprobados por el Equipo de Control tantas veces como se crea necesario.

7.2.2 Secador y colector del polvo

En el caso de mezclas bituminosas en caliente los áridos se calentarán y secarán antes de su mezcla con el ligante como ya se ha indicado en los capítulos anteriores.

El secador se regulará de forma que la combustión sea completa, indicada por la ausencia de humo negro en el escape de la chimenea. Si el polvo recogido en los colectores cumple las condiciones exigidas al filler, y está prevista su utilización en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, se podrá introducir en la mezcla; en caso contrario deberá eliminarse. El tiro de aire en el secador, deberá regularse de forma adecuada, para que la cantidad y la granulometría del filler recuperado sean uniformes.

7.2.3 Clasificación en caliente

El estado de las cribas se comprobará periódicamente, como mínimo una vez por semana, para vigilar la rotura o colmatación de las mallas.

Deberá comprobarse que la unidad clasificadora proporciona a los silos en caliente áridos homogéneos; en caso contrario, se tomarán las medidas oportunas para corregir la heterogeneidad. Los silos en caliente de las plantas continuas deberán mantenerse por encima de su nivel mínimo de calibrado sin rebosar.

7.2.4 Dosificación de áridos y filler

Las básculas y elementos de dosificación de estos materiales deberán comprobarse periódicamente (de semanal a mensualmente) para estar seguros de su correcto funcionamiento, de la forma ya indicada en los capítulos 4 y 5.

Asimismo será necesario hacer esta comprobación cuando las alteraciones de la mezcla indiquen que estos elementos son los responsables de las anomalías.

La dosificación del filler de recuperación y/o el de aportación se hará de forma independiente de los áridos y entre sí.

7.2.5 Dosificación del ligante

El dispositivo de dosificación del ligante se comprobará de forma periódica (al menos semanalmente) y siempre que las circunstancias lo aconsejen, de acuerdo con lo indicado en los capítulos 4 y 5.

7.2.6 Fabricación de la mezcla

Una vez comprobados todos los elementos que influyen en la fabricación de la mezcla, y de acuerdo con los datos obtenidos durante la puesta a punto de la instalación para la obtención de la fórmula de trabajo, se procederá también al control de la fabricación de la mezcla.

Los áridos preparados como se ha indicado anteriormente y eventualmente el filler seco, se pesarán o medirán exactamente y se transportarán al mezclador en las proporciones determinadas en la fórmula de trabajo.

Si la instalación de fabricación de la mezcla es de tipo continuo, se introducirá en el mezclador, al mismo tiempo, la cantidad de ligante requerida, manteniendo la compuerta de salida a la altura que proporcione el tiempo teórico de mezcla especificado. La tolva de descarga se abrirá intermitentemente para evitar segregaciones en la caída de la mezcla al camión.

Si la instalación es de tipo discontinuo, después de haber introducido en el mezclador los áridos y el filler, se agregará automáticamente el material bituminoso calculado para cada amasijo y se continuará la operación de mezcla durante el tiempo especificado.

En ningún caso se introducirá en el mezclador el árido caliente a una temperatura superior en quince grados centígrados (15° C) a la temperatura del ligante.

En el caso de mezclas bituminosas en frío, cuando el ligante empleado sea una emulsión bituminosa y el árido sea absorbente y esté seco, conviene añadir al árido en el mezclador una pequeña cantidad de agua, que facilite la dispersión de la emulsión. Cuando se emplee betún asfáltico fluidificado, y el árido, al llegar al mezclador, tenga humedad libre, se exigirá la aplicación de activantes.

El tiempo de mezcla se comprobará periódicamente y se dispondrán las medidas necesarias para asegurarse que en todo momento es el previsto.

En mezcladores de ejes gemelos, el volumen de los áridos, del filler y del ligante no será tan grande que sobrepase los extremos de las paletas, cuando éstas se encuentren en posición vertical.

La capacidad del mezclador, la buena envuelta y temperatura adecuada de la mezcla, condicionarán la alimentación en frío y funcionamiento del secador.

Se rechazarán todas las mezclas heterogéneas, carbonizadas o sobrecalentadas, las mezclas con espuma, o las que presenten indicios de humedad. En este último caso, se retirarán los áridos de los correspondientes silos en caliente. También se rechazarán aquellas en que la envuelta no sea perfecta.

En el caso de que se utilicen procedimientos de fabricación especiales, el Director deberá aprobar previamente las normas y especificaciones correspondientes.

7.2.7 Termómetros y control de temperaturas

Siendo parte importante de la fabricación el que las temperaturas se mantengan dentro de las prescripciones establecidas, los termómetros de que van dotados los depósitos de ligante, secador y áridos clasificados en caliente, se contrastarán periódicamente, tomando temperaturas de forma simultánea con un termómetro de referencia de garantía.

Horariamente se realizará una inspección de la temperatura del ligante y de los áridos a la salida del secador o en los silos de almacenamiento en caliente.

En cada uno de los camiones de mezcla se tomará la temperatura antes de su salida al extendido (fig. 7.1).

Estas temperaturas se registrarán en el impreso correspondiente anotando la hora y, en el caso de los camiones, su identificación (capítulo 9).

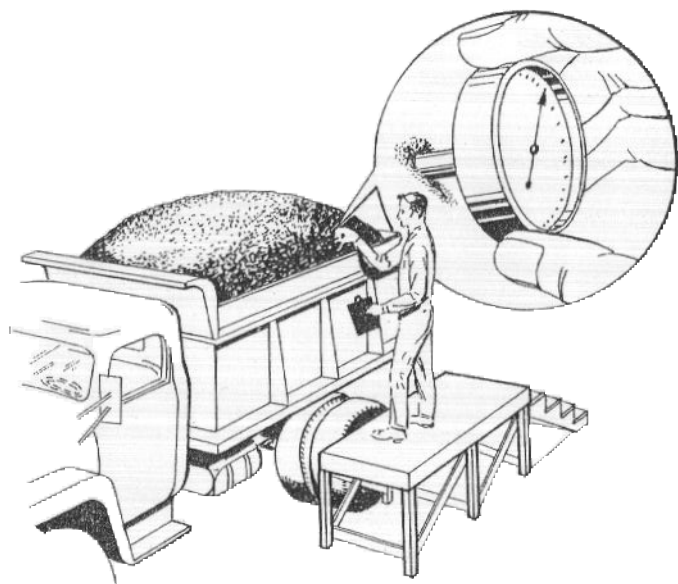


Fig. 7.1 MEDIDA DE LA TEMPERATURA EN CAMIONES

7.2.8 Inspección visual de la mezcla

La inspección visual no sólo tiene importancia desde el punto de vista de valorar la calidad de la mezcla sino que es un factor importante en el control general de las mezclas bituminosas.

Como se ha indicado anteriormente, el control de temperatura se debe acentuar en todas las fases de la fabricación de la mezcla bituminosa, ya que es uno de los principales factores en el control de calidad. El Equipo de Control debe estar familiarizado, por tanto, con el aspecto que tiene la mezcla a su

temperatura adecuada, para poder reconocer visualmente si la mezcla no está a la temperatura correcta. El desprendimiento de humo azulado de la mezcla cuando está en el camión, es a menudo un índice de sobrecalentamiento. Por el contrario, si la mezcla está falta de temperatura puede presentar cierta inercia al depositarse en el camión, acusando también una distribución no uniforme del ligante. Una vez cargado el camión, si se observa que la mezcla conserva una forma cónica anormal, puede indicar también una temperatura insuficiente, lo que deberá comprobarse.

Si por observación visual se deduce que la temperatura no es la correcta, se contrastará ésta con un termómetro de garantía en la forma que ya se ha indicado anteriormente.

Antes de iniciar la fabricación, el Equipo de Control deberá estar familiarizado con el aspecto y características físicas de la mezcla que se va a fabricar. Esto se puede conseguir observando detenidamente la mezcla durante la puesta a punto de la instalación, una vez conseguida la fórmula de trabajo definitiva y al realizar los tramos de prueba.

No debe haber una segregación excesiva cuando la mezcla se descargue en los camiones. La segregación puede ser debida a que:

- la abertura de descarga del mezclador está demasiado alta con relación a la caja del camión,
- cuando la mezcla se descarga en camiones muy grandes, el material forma un cono que favorece la segregación. En este caso, se deberá mover el camión durante la carga,
- la abertura de descarga del mezclador no se abre correctamente, lo que puede ser debido a que no lo hace con la rapidez necesaria o en su totalidad.

Una segregación anormal de la mezcla produce una distribución no uniforme del material una vez extendido, que se puede apreciar en la superficie terminada del mismo.

A continuación se indican algunas condiciones insatisfactorias de la mezcla que pueden ser reconocidas fácilmente:

- Aspecto que indica falta de uniformidad.
- Mezcla pobre o seca, normalmente apreciable por un color marrón.

- Mezcla rica en ligante, normalmente apreciable por un aspecto brillante y untuoso.
- Aspecto fluido de la mezcla debido al efecto de humedad ocluida.

El aspecto untuoso de una mezcla no es rechazable necesariamente en todos los casos. Las mezclas proyectadas con cantidades mínimas de árido fino pueden tener normalmente un aspecto más rico que las mezclas de tipo denso, inclusive estando bien dosificadas.

7.3 CONTROL DE LA DOSIFICACION DE ARIDOS

7.3.1 Toma de muestras

Debe tenerse en cuenta que los resultados de los ensayos pueden estar influidos por la forma de realizar la toma de muestras.

Esta operación es, como ya se ha indicado en el capítulo 6, la más delicada y difícil, ya que en todo momento hay que tener la seguridad de que la muestra tomada es verdaderamente representativa. Por mucho cuidado que se tenga en esta operación, nunca resulta excesivo, ya que los resultados de los ensayos obtenidos de una muestra mal tomada, y por tanto no representativa, llevan a confusiones difíciles de subsanar.

Los lugares mejores para realizar la toma son aquellos en que sea posible abarcar la totalidad de una corriente continua de material, tal como la caída de una cinta transportadora, la descarga de una tolva, etc. En cada instalación deberán escogerse los puntos más apropiados.

Hay que evitar la pérdida de materiales, sobre todo finos, durante la toma. A este respecto, mejor que los áridos secos son los áridos húmedos o mezclados con el ligante, como se hace en la mezcla completa.

Los criterios a adoptar para la toma de muestras, así como las correspondientes normas a seguir en cada caso, serán los indicados en el capítulo 6.

La muestra principal ha de dividirse siempre por cuarteo hasta el tamaño necesario para el ensayo. El empleo de cuarteador o de otros dispositivos similares es preferible al cuarteo manual formando un cono con el material.

7.3.2 Granulometría del polvo recuperado por el colector y de los áridos cribados en caliente

Normalmente, deberá comprobarse la granulometría del polvo recuperado y la de los áridos cribados en caliente, con objeto de asegurarse de su constancia y de que se corresponden con las establecidas al fijar la fórmula de trabajo durante la puesta a punto de la instalación.

La frecuencia puede ser variable, según la instalación y homogeneidad de la mezcla fabricada. En el caso de que ésta sea uniforme, los áridos pueden comprobarse una o dos veces por semana y diariamente la del polvo recuperado.

Asimismo, estos ensayos se realizarán siempre que se observen en la mezcla variaciones que no puedan ser atribuidas a la dosificación en frío.

7.3.3 Granulometría de la dosificación

La toma de muestras para controlar la granulometría de la mezcla de áridos se realizará, según el tipo de instalación, en los puntos que se indican por orden de preferencia, siempre y cuando la toma de muestras se pueda realizar con la máxima garantía y teniendo en cuenta las diferencias naturales en la granulometría según el lugar en que se tomen las muestras:

- A la descarga en el mezclador.
- A la descarga en las cribas de clasificación.
- A la descarga de la dosificación en frío.
- A la salida del secador.

Con objeto de realizar el ensayo lo más rápidamente posible, el tamizado se efectuará en seco y la comparación se hará con la curva granulométrica de la fórmula de trabajo, tamizada en las mismas condiciones. Si se desea conocer la granulometría por lavado se pueden aplicar los factores de corrección indicados para este fin en el capítulo 5.

Las desviaciones máximas permisibles de la curva granulométrica respecto a la fórmula de trabajo exigidas en el PG 3 e indicadas en el capítulo 5, se deben aplicar únicamente a la curva granulométrica correspondiente a los áridos extraídos de la mezcla asfáltica. En el caso de la mezcla de áridos estas limitaciones sólo son a título orientativo, sin tener, por tanto, ningún valor desde el punto de vista de aceptación o rechazo de la mezcla definitiva.

7.4 CONTROL DE LAS CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA BITUMINOSA

7.4.1 Toma de muestras

Además de todos los requisitos indicados para la dosificación de los áridos, hay que tener en cuenta que en el análisis de la mezcla bituminosa los resultados obtenidos son los que van a servir de base para su aceptación o rechazo, a la vez que para conocer las propiedades reales de la mezcla que se va a poner en obra.

Por tanto, es de la mayor importancia que las muestras se tomen de forma que sean verdaderamente representativas, evitando segregaciones o contaminaciones que pudieran alterar los resultados.

Por otra parte, en la fabricación de probetas para el ensayo Marshall, es necesario tomar las debidas precauciones para que la mezcla no se enfríe debido a la gran repercusión que tiene este factor en los resultados del ensayo.

Como en el caso de la dosificación de los áridos, los criterios a adoptar para la toma de muestras de la mezcla bituminosa, así como las correspondientes normas de ensayo a seguir en cada caso, serán los indicados en el capítulo 6.

7.4.2 Granulometría y proporción de ligante

El control de la proporción de ligante y la granulometría de los áridos recuperados servirán de base para juzgar si la mezcla bituminosa reúne las características exigidas respecto a las desviaciones máximas fijadas para la fórmula de trabajo en el PG 3 e indicadas en el capítulo 5.

La comparación de ambos resultados servirá además para juzgar el funcionamiento de la instalación y la buena realización del ensayo de extracción, aplicando los siguientes criterios:

a) Proporción de ligante correcta.

Si la granulometría de los áridos recuperados es también correcta, la instalación funciona bien, y la toma de muestras y los ensayos han sido asimismo correctamente ejecutados.

b) Proporción de ligante alta.

Si la granulometría es correcta hay exceso de ligante por mal funcionamiento de la instalación.

Si la granulometría tiene exceso de finos puede deberse a una muestra mal tomada con exceso de mortero.

Si la granulometría es correcta excepto un contenido más bajo de filler, puede deberse a un defecto de realización del ensayo.

c) Proporción de ligante baja.

Si la granulometría es correcta, hay defecto de ligante por mal funcionamiento de la instalación.

Si la granulometría es correcta pero el árido tiene color oscuro, sobre todo en las fracciones más finas, el defecto de ligante puede deberse a un mal lavado con el disolvente en el ensayo.

Si la granulometría tiene defecto de finos, puede deberse a una muestra mal tomada con exceso de gruesos.

d) Granulometría incorrecta y proporción de ligante correcta.

Si la granulometría de la dosificación primaria en frío es correcta, puede deberse a defectos de la clasificación en caliente o de la dosificación de los áridos clasificados.

En todo caso, durante el control se tendrá muy en cuenta la tendencia general de los ensayos anteriores y en caso de cambios bruscos es conveniente la repetición del ensayo.

7.4.3 Densidad y análisis de huecos

De acuerdo con lo que se establece en el capítulo 6, de cada muestra parcial se fabricarán tres probetas, se determinará su densidad y se realizará el análisis de huecos siguiendo la norma correspondiente.

Con los resultados individuales de cada una de las probetas de la serie ensayada se calculará el valor medio, y con el correspondiente a todas las muestras parciales el valor medio de la muestra total.

Para juzgar la fiabilidad de los ensayos se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

a) Ensayo de extracción correcto.

El exceso o defecto de huecos pueden ser debidos a una mala toma de muestras con exceso o defecto de fracciones gruesas del árido. Puede comprobarse por extracción de las propias probetas.

El exceso o defecto de huecos puede deberse a una temperatura incorrecta de fabricación por exceso o defecto de temperatura. Puede igualmente comprobarse por extracción de las mismas probetas.

b) Ensayo de extracción no correcto.

Cuando el ensayo de extracción no sea correcto, el análisis de huecos debe seguir las mismas tendencias, es decir dar más huecos con defectos de finos o de ligante o por el contrario menor contenido de huecos con exceso de finos o de ligante, lo que indicaría o bien una mala toma de muestras o el mal funcionamiento de la instalación.

Cuando los huecos no siguen la misma tendencia de las variaciones en la mezcla en cuanto a granulometría o ligante, es difícil juzgar las causas de estas variaciones y lo más correcto será el replantear la puesta a punto de toda la instalación, siguiendo los criterios recogidos en el capítulo 6 respecto al análisis de los resultados.

7.4.4 Características mecánicas de la mezcla

Después de calculada la densidad de las probetas se determinará su estabilidad y deformación de acuerdo con el método Marshall.

Al juzgar los resultados del ensayo de estabilidad hay que tener en cuenta que las exigidas por el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales son cifras mínimas y que los valores a conseguir son los obtenidos con la fórmula de trabajo y la mezcla fabricada en obra.

Asimismo hay que tener en cuenta que la estabilidad y la deformación son muy sensibles a la temperatura y forma de fabricar las probetas. La fabricación de las probetas, de no ser mecánica, puede estar influida por el operador.

Es corriente también que las estabilidades y deformaciones se vean afectadas por el procedimiento operativo. No es lo mismo romper en una prensa mecánica de gran precisión, que en otra de tipo corriente o manual como suelen ser las disponibles en los laboratorios de obra (apartado 3.3.2).

En general, y como criterio más aconsejable, las estabilidades y deformaciones deben mantenerse alrededor de la media obtenida en la puesta a punto de la fórmula de trabajo.

Dependiendo de la magnitud de los valores encontrados y de los criterios indicados en el capítulo 6, respecto a la interpretación de los resultados, el Director de la obra podrá juzgar si es necesario hacer alguna corrección en la fórmula de trabajo.

8. CONTROL DEL TRANSPORTE, EXTENSION Y COMPACTACION

Las fases que comprende la puesta en obra de la mezcla bituminosa, es decir: su transporte desde la instalación de fabricación al tajo, su extensión y su compactación, son de una importancia decisiva para el buen comportamiento de la capa bituminosa en servicio.

Aunque es evidente que si la mezcla no cumple los requisitos previstos a la salida de la instalación de fabricación, la puesta en obra no podrá corregir los defectos, también es evidente que una fabricación de buena calidad puede dar lugar a una capa deficiente por una mala realización de la puesta en obra.

Establecido el plan de extensión y compactación, la misión del Equipo de Control durante la puesta en obra tendrá los cometidos que se indican a continuación.

8.1 INSPECCION DEL EQUIPO

Una vez aceptado por el Director de las obras el equipo a emplear en el transporte, extensión y compactación, será misión del Equipo de Control vigilar continuamente su estado y correcto empleo, de acuerdo con las instrucciones recibidas y las dadas en el capítulo 4.

En especial prestará atención a:

- la limpieza de la caja de los camiones,
- el empleo adecuado de las lonas de cubrición de las mezclas,
- el correcto funcionamiento del dispositivo enrasador y de la maestra, así como su perfecta alineación o bombeo,
- la vibración o calefacción de la maestra,
- el correcto funcionamiento del equipo de nivelación automático,
- el peso, lastrado y presión de los neumáticos,
- el funcionamiento de los dispositivos de limpieza de los rodillos de los compactadores.

Las anomalías observadas serán comunicadas al Director para su corrección.

8.2 COMPROBACION DE LA SUPERFICIE A PAVIMENTAR

Si la extensión de la mezcla requiere la previa ejecución de riegos de imprimación o de adherencia, éstos se realizarán de acuerdo con los capítulos correspondientes del Pliego.

Se comprobará que ha transcurrido el plazo de curado de estos riegos, no debiendo quedar vestigios de fluidificantes o agua en la superficie; asimismo, si ha transcurrido mucho tiempo desde la aplicación de los riegos, se comprobará que la capacidad de unión de éstos con la mezcla no haya disminuido en forma perjudicial; en caso contrario, el Director podrá ordenar la ejecución de un riego adicional de adherencia.

La superficie a pavimentar antes de la ejecución de los riegos de imprimación o adherencia deberá presentar las condiciones adecuadas, es decir, estar libre de materiales sueltos y materias extrañas.

Cuando la capa se vaya a extender sobre otra antigua ya existente se vigilará, antes de realizar el riego de adherencia, si existen zonas con exceso de ligante bituminoso, corrigiéndolas en caso necesario. Asimismo los baches deberán rellenarse y compactarse previamente a los riegos y a la extensión de la mezcla.

Los riegos se harán sobre estas superficies, vigilando su ejecución en las condiciones establecidas.

8.3 TRANSPORTE Y RECEPCION DE LA MEZCLA

La mezcla se transportará al lugar de empleo en camiones, de modo que, en el momento de descargar aquella en la extendedora, su temperatura no sea inferior a la especificada en el estudio de la mezcla. En condiciones meteorológicas adversas, o cuando exista riesgo de un enfriamiento excesivo de la mezcla, ésta deberá protegerse durante el transporte mediante lonas u otros cobertores adecuados.

Sin perjuicio de que a la salida de la instalación de fabricación se examine la mezcla para aceptarla o rechazarla, ahorrando así transportes inútiles, a su llegada al tajo, el Equipo de Control deberá aceptar la mezcla antes de su descarga a la tolva de la extendedora (fig. 8.1 y cuadro 8.1).

En estos controles se observará especialmente el aspecto, uniformidad de envuelta, contaminaciones y temperatura de la mezcla.

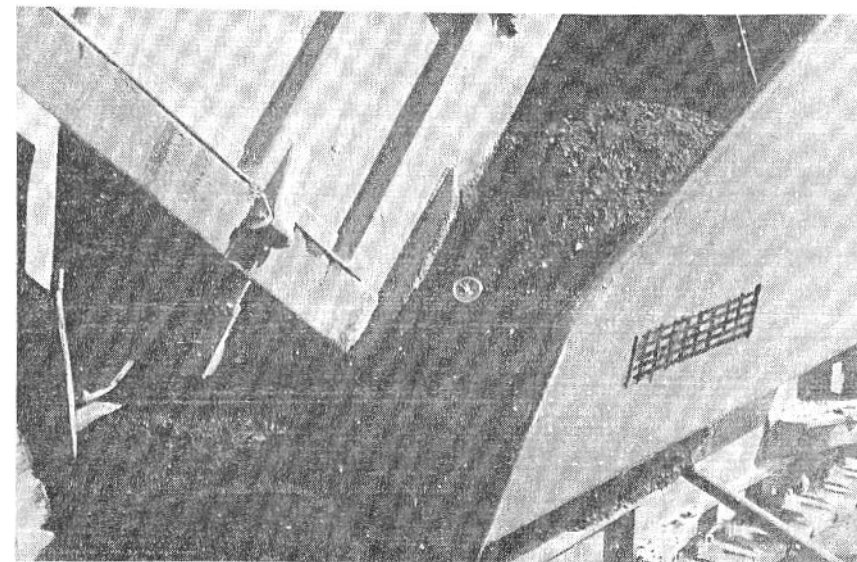


Fig. 8.1 CONTROL DE LA MEZCLA AL DESCARGAR EN LA EXTENDEDORA

La temperatura y observaciones relativas a cada camión se consignarán en el correspondiente parte.

Hay que tener en cuenta que la temperatura del interior de la masa es superior a la superficial y que en caso de duda puede verterse parcialmente el camión en la tolva de la extendedora y volver a medir la temperatura en distintos puntos.

Las razones que motivan el rechazo de una mezcla son:

a) Temperatura alta.

Cuando de la mezcla se desprende un humo azulado, generalmente se debe a un sobrecalentamiento. En este caso se recomienda comprobar inmediatamente la temperatura.

b) Temperatura baja.

Cuando se aprecia en la mezcla un aspecto poco fluido, con los áridos gruesos mal cubiertos, es señal de que la mezcla está fría y deberá comprobarse la temperatura inmediatamente.

CUADRO 8.1

POSIBLES CAUSAS DE LOS DEFECTOS EN LA FABRICACION DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE		DEFECTOS QUE PUEDEN PRODUCIRSE EN LA MEZCLA	
T.- TODO TIPO DE INSTALACION	C.- INSTALACION DE TIPO CONTINUO	D.- INSTALACION DE TIPO DISCONTINUO	
POSIBLES CAUSAS DE LOS DEFECTOS DE LA MEZCLA			
Aridos demastado humedados	T		
Mala separación en los acepiers	T		
Mala regulación de las alimentadoras de aridos	T		
Sobrecarga de la capacidad del secador		T	T
Secador demastado inclinado		T	T
Funcionamiento defectuoso del secador		T	T
Temperatura de los aridos demastado alto		T	T
Cribas desgastadas		T	T
Mal funcionamiento de las cribas			
Mal funcionamiento de los rebosaderos de los silos en caliente	T		
Rebose de los silos en los configuros	T		
Segregación de los aridos en los silos	T		
Arcañe de finos por sobrecarga de las cribas		T	T
Balanzas de aridos desgastadas		T	T
Pesado incorrctoe debido al operador	D	D	D
Alimentación no uniforme del filler	T	T	T
Falta de aridos en los silos en caliente	T		
Orden de pesado inadecuado	T		
Falta de ligante	T		
Exceso de ligante	T		
Mala distribución del ligante sobre los aridos	T		
Balanza del ligante defectuosa	T		
Malditor del ligante defectuoso	D	D	D
Amastios escasos o exesivos	D	D	D
Tiempo de mezcla no uniforme	D	D	D
Paletas del mezclador mal regladas o desgastadas	T		
Compuerta de descarga del mezclador defectuosa	T		
Falta de sincronización entre la alimentación de aridos y ligante	C		
Caída brusca del polvo acumulado en los silos	C		
Funcionamiento irregular de la instalación	T		
Toma de muestras defectuosa	T		

c) Exceso de ligante.

El exceso de ligante puede apreciarse fácilmente, pero es buena gufa observar el cono formado en los camiones, sobre todo al llegar al extendido.

Si la carga de un camión asienta o fluye más de lo normal, podrá deberse a un exceso de ligante. En caso de duda puede dejarse extender, tomar una muestra y señalar la zona, para su posterior levantamiento si los análisis confirman el exceso de ligante sobre las tolerancias de la fórmula de trabajo.

d) Defecto de ligante.

El defecto de ligante en la mezcla se nota por la falta de brillo, el recubrimiento imperfecto de los áridos, sobre todo de los gruesos, y el aspecto suelto del material.

Como en el caso anterior se rechazará la mezcla o se extenderá, previa señalización del lugar, pendiente su aceptación de los resultados del laboratorio.

e) Falta de uniformidad.

La falta de uniformidad en la mezcla se aprecia por el distinto aspecto de la misma en diferentes zonas. La mezcla puede rechazarse cuando la falta de uniformidad sea manifiesta.

f) Exceso de árido grueso.

Puede confundirse con un exceso de ligante, ya que un defecto provoca el otro; pero la confirmación se tendrá observando la mezcla y la capa extendida, cuya textura será más gruesa y abierta que las normales.

g) Exceso de árido fino.

Un exceso de finos provoca un defecto de ligante. Se comprobará el exceso de finos mediante la observación de la textura superficial de la mezcla una vez extendida, así como por su comportamiento al compactarla.

h) Exceso de humedad.

Si la mezcla conserva un exceso de humedad se apreciará un desprendimiento de vapor al descargarse. A veces parecerá como si tuviera un exceso de ligante, pero observándola detenidamente se apreciará el desprendimiento de las burbujas de vapor.

i) Segregación de la mezcla.

Las mezclas que al ser extendidas presentan una segregación excesiva de los tamaños gruesos y finos, deben ser rechazadas.

j) Contaminaciones.

Durante el transporte la mezcla puede contaminarse con gas-oil, agua, polvo, restos vegetales, etc. Cuando la contaminación sea excesiva, deberá rechazarse la carga, debiendo tomarse las medidas para evitar que se repitan dichas contaminaciones.

8.4 EXTENSION DE LA MEZCLA

La extendedora se regulará de forma que la superficie de la capa extendida quede lisa y con un espesor tal que, una vez compactada, se ajuste a la sección transversal, rasante y perfiles indicados en los planos, con las tolerancias establecidas en el presente artículo. A menos que se ordene otra cosa, la colocación comenzará a partir del borde de la calzada en las zonas a pavimentar con sección bombeada, o en el lado inferior en las secciones con pendiente en un solo sentido. La mezcla se colocará en franjas del ancho apropiado para realizar el menor número de juntas longitudinales, y para conseguir la mayor continuidad de la operación de extendido, teniendo en cuenta el ancho de la sección, las necesidades del tráfico, las características de la extendedora y la producción de la planta.

Quando sea posible, se realizará la extensión en todo el ancho a pavimentar, bajando si es necesario con dos o más extendedoras ligeramente desfasadas. En caso contrario, después de haber extendido y compactado la primera franja, se extenderá la segunda y siguientes y se ampliará la zona de compactación para que incluya quince centímetros (15 cm) de la primera franja. Las franjas sucesivas se colocarán mientras el borde de la franja contigua se encuentre aún caliente y en condiciones de ser compactado fácilmente. De no ser así, se ejecutará una junta longitudinal.

La colocación de la mezcla se realizará con la mayor continuidad posible, vigilando que la extendedora deje la superficie a las cotas previstas con objeto de no tener que corregir la capa extendida. En caso de trabajo intermitente se comprobará que la temperatura de la mezcla que quede sin extender, en la tolva de la extendedora y debajo de ésta, no baja de la prescrita.

Sobre la superficie en que va a extenderse la mezcla se dispondrá una guía longitudinal, paralela al eje de la carretera, que servirá de referencia para el conductor de la extendedora (fig. 8.2).

Se deberá estimar, en cada caso, el espesor de la mezcla sin compactar que debe dejar la extendedora para obtener el espesor previsto. La reducción debida a la compactación oscila normalmente entre el 20 % y el 25 %.

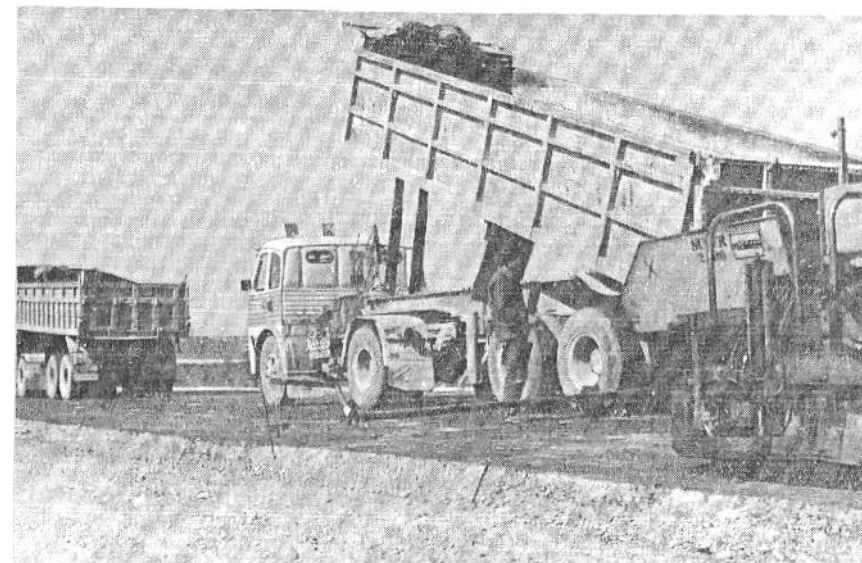


Fig. 8.2 GUIA LONGITUDINAL DE REFERENCIA

Esta estima se realizará al comienzo de la extensión y, una vez fijado el espesor que debe dejar la extendedora, se comprobará frecuentemente mediante un punzón (fig. 8.3).

Quando la extendedora esté equipada con dispositivos de nivelación automática deberá vigilarse su correcto funcionamiento. Situada la referencia, bien sea el hilo o patín, se comprobará el buen ajuste del palpador, midiendo el espesor medio de la capa extendida.

Asimismo se comprobará, en su caso, la pendiente transversal de la capa.

La cantidad de mezcla existente delante y a lo largo de toda la maestra debe ser lo más uniforme y constante posible.

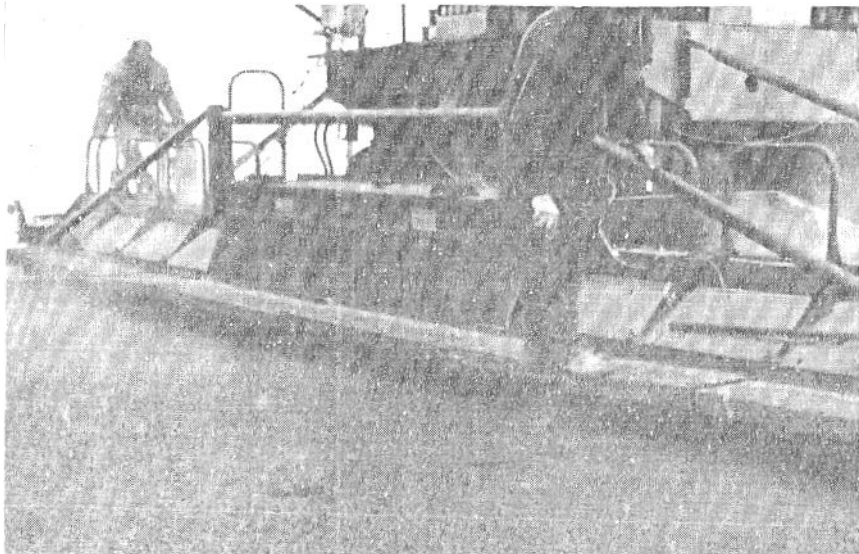


Fig. 8.3 COMPROBACION DEL ESPESOR

Aparte del buen funcionamiento de la extendidora, la correcta extensión depende fundamentalmente de la constancia de la alimentación. Lo ideal es que la extendidora no tenga que pararse por falta de camiones que la aprovisionen; de no ser así, cuando la temperatura de los restos de mezcla que queden sin extender en tolva y distribuidores de la extendidora descienda por debajo de la temperatura límite, deberá ejecutarse una junta transversal.

Habrà de prestarse el máximo cuidado a las alteraciones que se puedan producir durante la descarga del camión en la extendidora. En principio la extendidora en marcha deberá acoplarse suavemente al camión que espera en punto muerto, evitando en todo caso encuentros bruscos (fig. 8.4).

Asimismo, la descarga de la mezcla a la tolva de la extendidora no será brusca y, en ningún momento, la caja del camión o la trampilla tocarán la tolva de la extendidora.

Tras la extendidora deberá disponerse un número suficiente de obreros especializados, añadiendo mezcla caliente y enrasándola, según se precise, con el fin de obtener una capa que, una vez compactada, se ajuste enteramente a las condiciones impuestas en este Artículo. (Art. 542; PG 3).

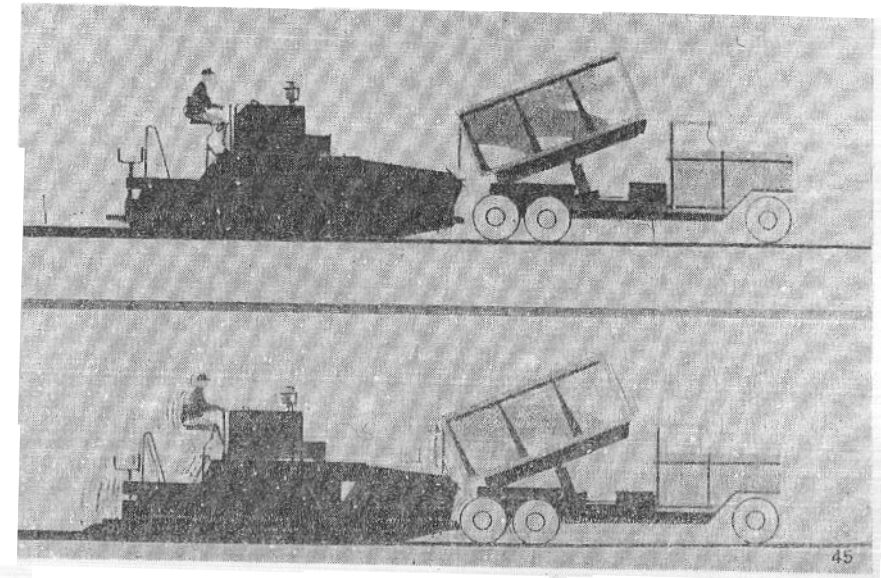


Fig. 8.4 ACOPLAMIENTO ENTRE CAMION Y EXTENDEDORA

Se vigilará la superficie extendida para corregir faltas, defectos de la masa, etc; pero siempre teniendo en cuenta que la superficie dejada por la extendidora debe tocarse lo menos posible.

Donde no es posible, a juicio del Director, el empleo de máquinas extendedoras, la mezcla podrá extenderse a mano. La mezcla se descargará fuera de la zona que se vaya a pavimentar, y se distribuirá en los lugares correspondientes por medio de palas y rastrillos calientes, en una capa uniforme y de un espesor tal que, una vez compactada, se ajuste a los planos con las tolerancias establecidas.

Después de haber extendido y compactado la primera franja, se extenderá la adyacente y después se ampliará la compactación de manera que incluya quince centímetros (15 cm) de la primera franja. Las franjas sucesivas se colocarán mientras el borde adyacente de la franja contigua se encuentra aun caliente y en condiciones de ser compactado fácilmente. De no ser así, se ejecutará una junta longitudinal.

La colocación por franjas adyacentes obliga a que el borde de la capa contigua se halle aún caliente. Para ello hay que emplear tantas extendedoras como franjas tenga el ancho total extendido, con un ligero desfase longitudinal entre unas y otras.

Para trabajar con más de una extendidora o bien con extendedoras capaces de extender todo el ancho necesario, será preciso el disponer de una instalación de fabricación de producción adecuada, a fin de que la ventaja de trabajar sin juntas longitudinales, no sea a costa de las paradas de la o las extendedoras (fig. 8.5).

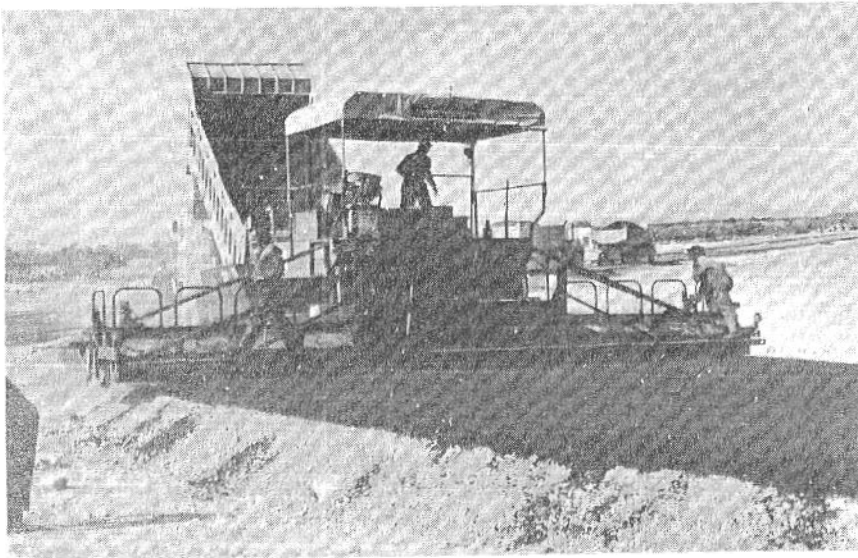


Fig. 8.5 EXTENSION SIN JUNTA LONGITUDINAL

8.5 COMPACTACION DE LA MEZCLA

La compactación deberá comenzar a la temperatura más alta posible tan pronto como se observe que la mezcla puede soportar la carga a que se somete sin que se produzcan desplazamientos indebidos.

Una vez compactadas las juntas transversales, las juntas longitudinales y el borde exterior, la compactación se realizará de acuerdo con un plan propuesto por el Contratista y aprobado por el Director, de acuerdo con los resultados obtenidos en los tramos de prueba realizados previamente al comienzo de la operación. Los rodillos llevarán su rueda motriz del lado cercano a la extendidora; sus cambios de dirección se harán sobre mezcla ya apisonada, y sus cambios de sentido se efectuarán con suavidad.

La compactación se continuará mientras la mezcla se mantenga caliente y en condiciones de ser compactada, hasta que se alcance la densidad especificada.

Esta compactación irá seguida de un apisonado final, que borre las huellas dejadas por los compactadores precedentes. En los lugares inaccesibles para los equipos de compactación normales, la compactación se efectuará mediante máquinas de tamaño y diseño adecuados para la labor que se pretende realizar.

La compactación deberá realizarse de manera continua durante la jornada de trabajo, y se complementará con el trabajo manual necesario para la corrección de todas las irregularidades que se puedan presentar. Se cuidará de que los elementos de compactación estén siempre limpios y, si es preciso, húmedos.

La densidad a obtener vendrá fijada en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares y, en todo caso, deberá ser por lo menos el noventa y siete por ciento (97%) de la obtenida aplicando a la fórmula de trabajo la compactación prevista en el método Marshall, según la Norma NLT-159/75 o, en su defecto, la que indique el Director, debidamente justificada basándose en los resultados conseguidos en los tramos de prueba.

Una vez extendida la mezcla en la carretera con el espesor necesario y con la precompactación dada por la extendidora, ha de realizarse la operación de compactación de la mezcla para conseguir la densidad necesaria, a la cual presenta las cualidades mecánicas que aseguran un buen comportamiento ante el tráfico. Esta densificación ha de realizarse de tal manera que sea lo más uniforme posible y de modo que la superficie final presente la regularidad geométrica exigida.

Una vez establecida en los tramos de prueba la forma de empleo del equipo de compactación, y comprobado su buen funcionamiento, la misión del Equipo de Control durante esta operación será vigilar el mantenimiento de la disciplina del mismo para que el plan de trabajo se realice de acuerdo con lo previsto.

La compactación deberá realizarse a la más alta temperatura posible, siempre que no se produzcan excesivas deformaciones o desplazamientos.

Las máquinas empleadas en cada una de las distintas fases: apisonado inicial, principal y final, deberán tener su tramo de actuación independiente detrás de la extendidora con el mínimo de cruces e interferencias. Estas zonas podrán delimitarse por medio de banderolas o señales arrastradas por la propia extendidora. En el caso de emplear dos máquinas para alguna de las distintas fases deberán trabajar en paralelo.

Estas zonas se acotarán teniendo en cuenta la velocidad del extendido, el ancho y velocidad de la apisonadora y el número de pasadas necesarias.

Las pasadas de las distintas máquinas se efectuarán con el solape necesario para una distribución uniforme, repitiendo el ciclo hasta dar el número previsto en el plan (figuras 8.6 y 8.7).

Una vez compactadas las juntas transversales o longitudinales, si las hubiera, la compactación de la franja se iniciará por la zona más baja progresando hacia la más alta, llevando siempre las ruedas motrices del lado de la extendedora (fig. 8.8) y realizando los cambios de dirección en la zona ya apisonada, evitando el estacionamiento en zonas sin compactar.

La compactación final deberá eliminar todas las marcas o defectos dejados en la superficie por las otras máquinas (fig. 8.9).

Todo el proceso de la compactación deberá realizarse de una forma progresiva y continua a lo largo de la jornada de trabajo.

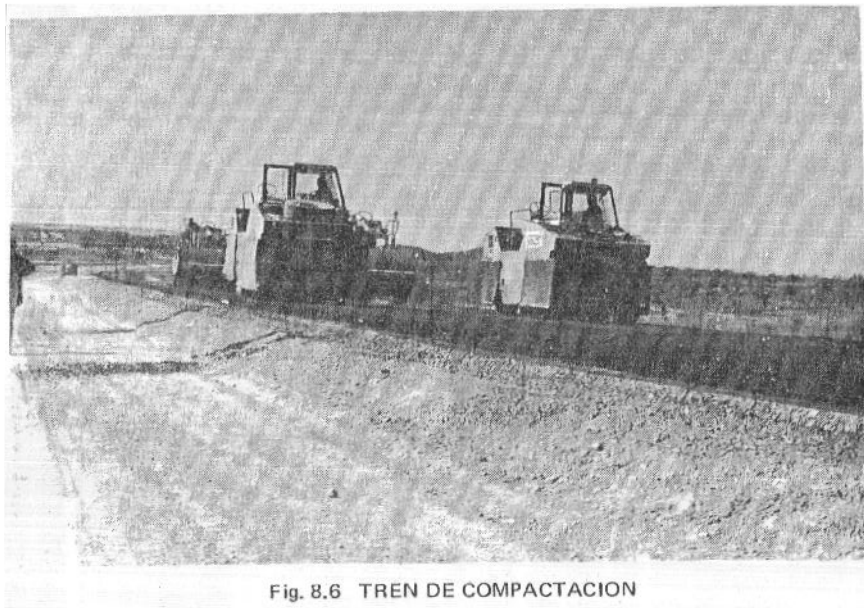


Fig. 8.6 TREN DE COMPACTACION

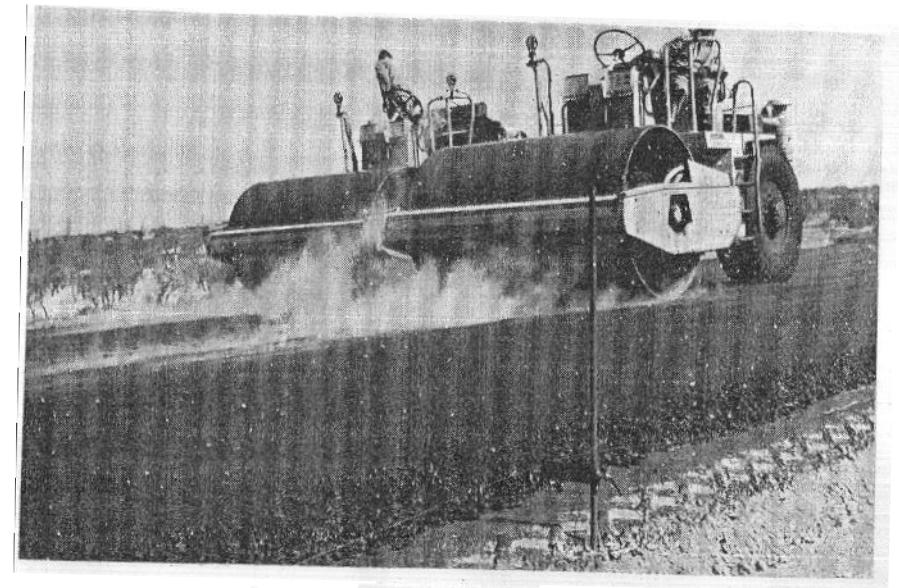


Fig. 8.7 ACTUACION DE LAS APISONADORAS EN PARALELO

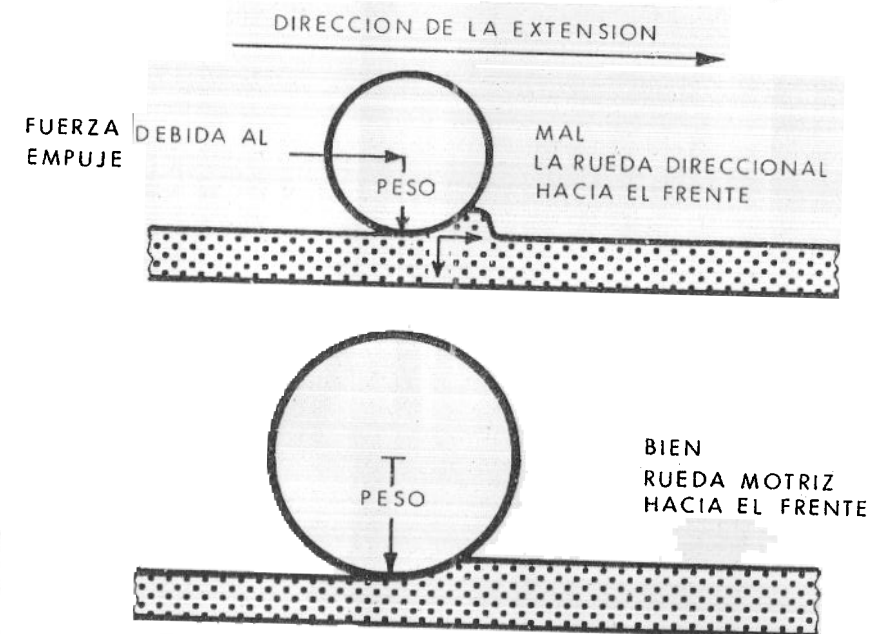


Fig. 8.8 COMPACTACION.- IMPORTANCIA DEL SENTIDO DE AVANCE



Fig. 8.9 MARCAS DEJADAS POR LA COMPACTACION PRINCIPAL. AL FONDO, RODILLOS ELIMINANDO ESTAS MARCAS

Cuando la temperatura ambiente sea baja o haya viento, deberá prestarse la debida atención al enfriamiento de la capa (fig. 8.10), aumentando la velocidad de la compactación, bien con una mayor velocidad de las máquinas o bien incrementando su número, a fin de conseguir el número de pasadas necesario en menor tiempo.

Durante la compactación deberán observarse también los defectos de uniformidad, segregaciones, fisuras o zonas cuarteadas, debidos al mal empleo de la maquinaria, para proceder a su corrección y evitar su repetición (cuadro 8.2).

El control de la extensión y de la compactación se realizará de acuerdo con lo indicado en los apartados 6.4 y 6.5.

8.6 JUNTAS TRANSVERSALES Y LONGITUDINALES

Las juntas presentarán la misma textura, densidad y acabado que el resto de la capa. Las juntas entre pavimentos nuevos y viejos, o entre trabajos realizados en días sucesivos, deberán cuidarse especialmente, a fin de asegurar su perfecta adherencia. A todas las superficies de contacto de franjas construidas con anterioridad se aplicará una capa uniforme y ligera de ligante de adherencia antes de colocar la mezcla nueva, dejándolo curar suficientemente.

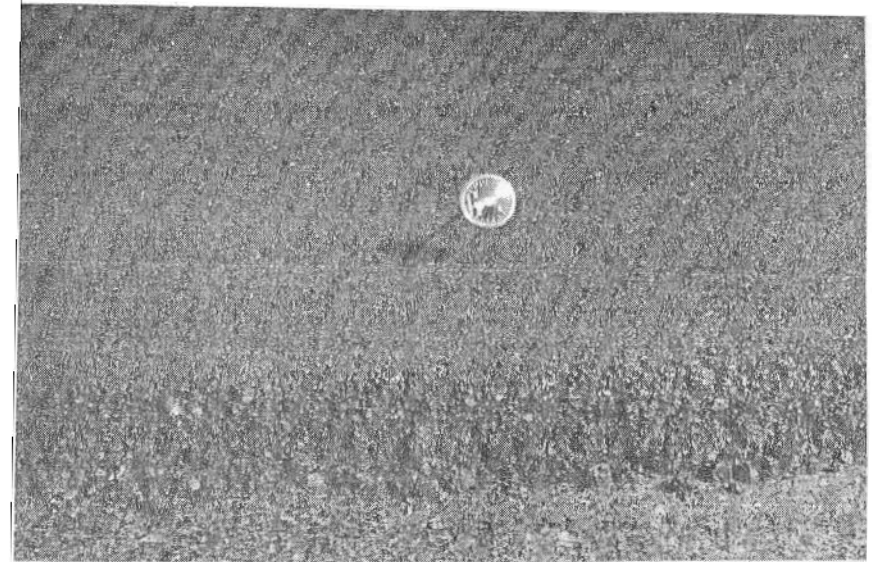


Fig. 8.10 MEDIDA DE TEMPERATURA EN LA CAPA

Excepto en el caso que se utilicen juntas especiales, el borde de la capa extendida con anterioridad se cortará verticalmente, con objeto de dejar al descubierto una superficie plana y vertical en todo su espesor, que se pintará como se ha indicado en el párrafo anterior. La nueva mezcla se extenderá contra la junta y se compactará y alisará con elementos adecuados, calientes, antes de permitir el paso sobre ella del equipo de compactación. Las juntas transversales en la capa de rodadura se compactarán transversalmente.

Cuando los bordes de las juntas longitudinales sean irregulares, presenten huecos, o estén deficientemente compactados, deberán cortarse para dejar al descubierto una superficie lisa y vertical en todo el espesor de la capa. Donde se considere necesario, se añadirá mezcla que, después de colocada y compactada con piones calientes, se compactará mecánicamente.

Se procurará que las juntas transversales de capas superpuestas queden a un mínimo de cinco metros (5m) una de otra, y que las longitudinales queden a un mínimo de quince centímetros (15 cm) una de otra.

CUADRO 8.2

POSIBLES CAUSAS DE LOS DEFECTOS EN LA PUESTA EN OBRA DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE	POSIBLES CAUSAS DE LOS DEFECTOS																			
	DEFECTOS QUE PUEDEN PRODUCIRSE AL EXTENDER LAS MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE																			
Exudación de ligante																				
Aspecto pardo o mate																				
Zonas ricas o con exceso de ligante																				
Mala textura superficial																				
Superficie con acabado bajo o grueso																				
Disgregación o textura muy abierta																				
Junta mal acabada																				
Huellas del compactador																				
Ondulaciones o arrastres																				
Agriotamiento (muchas grietas finas)																				
Agriotamiento (grietas largas y anchas)																				
Grochillas partidas por los compactadores																				
Erosión de la superficie durante la extensión																				
Deslizamiento de la capa sobre la base																				
Regularidad superficial deficiente																				
Riego de imprimación o adherencia sin curar																				
Mezcla demastada gruesa																				
Exceso de finos en la mezcla																				
Falta de ligante																				
Exceso de ligante																				
Mala dosificación de la mezcla																				
Mezclas aisladas defectuosas																				
Exceso de humedad en la mezcla																				
Mezcla demastada caliente o quemada																				
Mezcla demastada fría																				
Mal manejo de la extendidora																				
Extendedora en mal estado																				
Defectuosos compactación																				
Compactación en mal momento																				
Exceso de compactación																				
Mezcla compactada a temperatura demastada alta																				
Mezcla compactada a temperatura demastada baja																				
Estacionamiento del compactador sobre la capa caliente																				
Compactadores demastados patados																				
Vibración del compactador																				
Capo de base inestable																				
Exceso de humedad en el terreno																				
Riego de imprimación o adherencia excesivo																				
Mala terminación manual tras la extensión																				
Exceso de rostrillado																				
Obreros descuidados o inexpertos																				
Exceso segregación durante la extensión																				
Compactación con espesor incorrecto																				
Velocidad de la extendidora demastada rápida																				
Espesor de la capa demastada grueso																				
Capa dada al tráfico demastada caliente																				

El cortado de las juntas de trabajo, transversales o longitudinales, se realizará a ser posible por medios mecánicos y procurando que el corte sea lo más recto posible (fig. 8.11). Es conveniente que las juntas transversales se realicen con una cierta oblicuidad respecto al eje de la carretera.

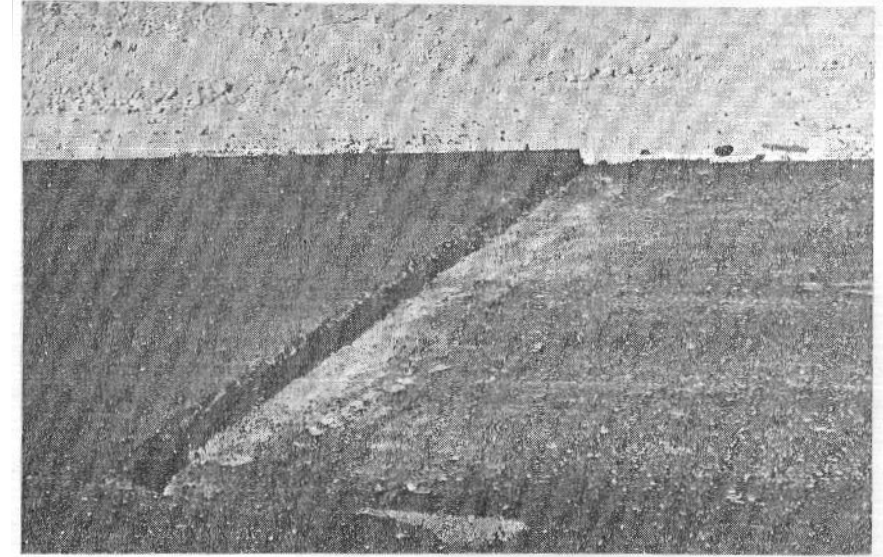


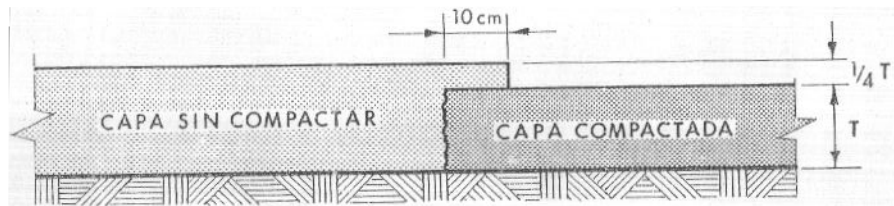
Fig. 8.11 CORTE DE JUNTAS

El espesor de la nueva capa ha de ser el preciso para que al compactarla quede a nivel con la existente.

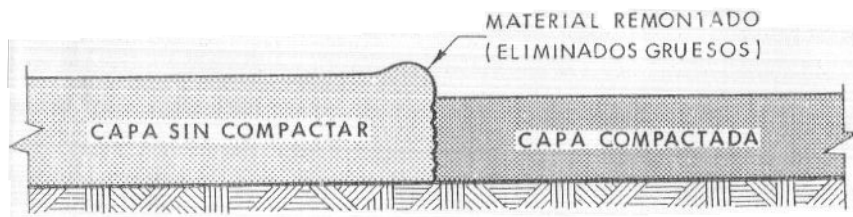
La extensión de la nueva capa se solapará unos 10 cm, retirando el material de solape antes de la compactación por medio de cepillos o rasquetas, acumulándolo sobre el borde sin compactar, como se indica en la figura 8.12, después de eliminar las partículas más gruesas. Este material de solape puede también eliminarse completamente.

El apisonado de la junta se realizará de manera que la mayor parte del rodillo se apoye sobre la capa compactada (figuras 8.13 y 8.14) y de manera que tan sólo unos 25 cm se apoyen sobre la nueva capa, prolongando el apisonado hasta que los bordes de las dos capas queden a nivel.

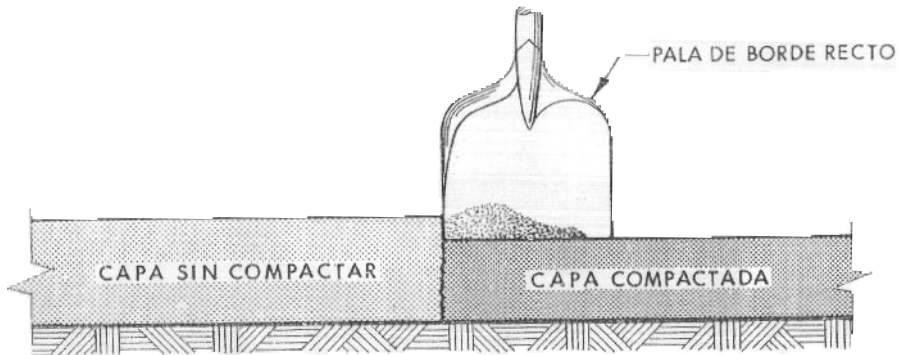
Las juntas longitudinales de las sucesivas capas habrán de desplazarse unos 15 centímetros (fig. 8.15).



a) SOLAPE DE LA CAPA CONTIGUA



b1) SOLAPE REMONTADO LISTO PARA COMPACTACION



b2) JUNTA CORTADA LISTA PARA COMPACTACION

Fig. 8.12 PREPARACION Y CONSTRUCCION DE JUNTAS LONGITUDINALES

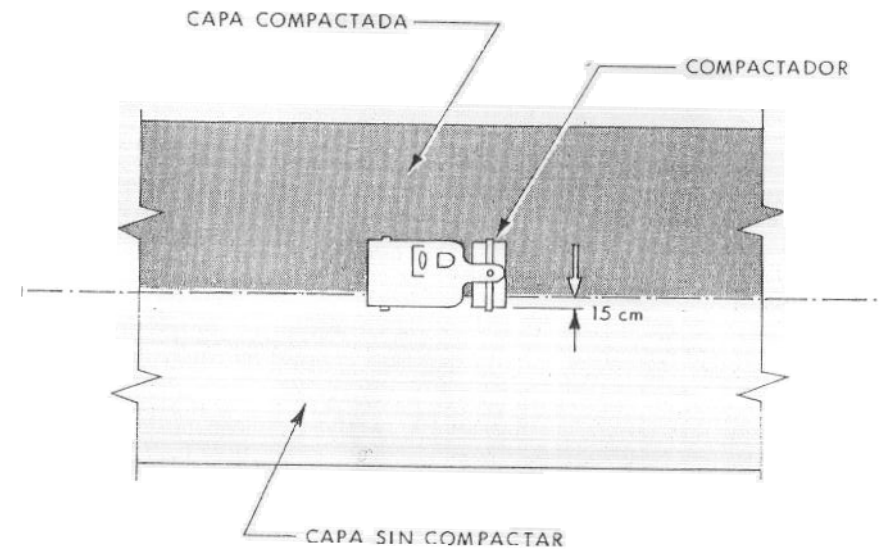


Fig. 8.13 COMPACTACION DE LA JUNTA LONGITUDINAL

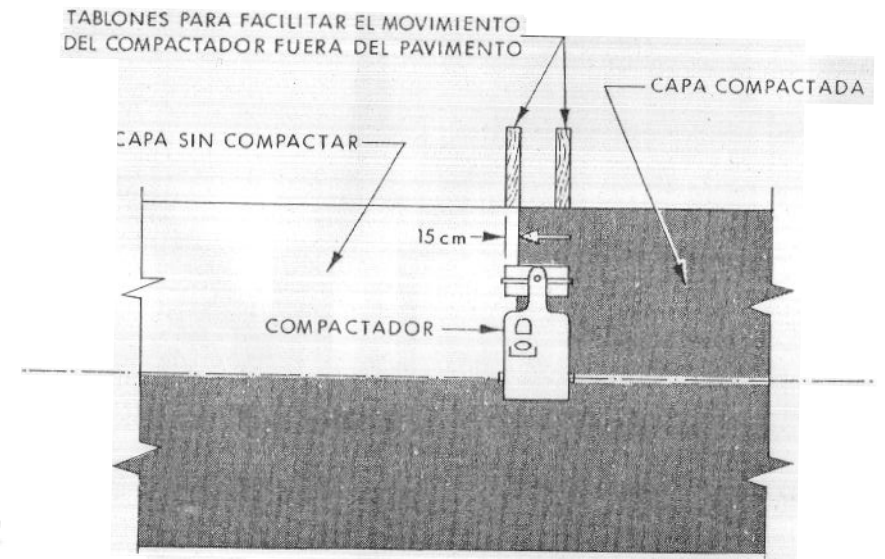


Fig. 8.14 COMPACTACION DE LA JUNTA TRANSVERSAL

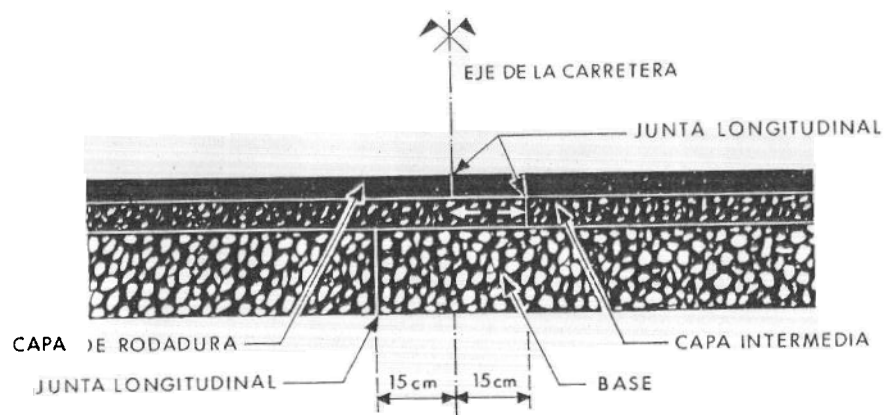


Fig. 8.15 SUPERPOSICION DE CAPAS SUCESIVAS INDICANDO LA SITUACION DE LAS CORRESPONDIENTES JUNTAS LONGITUDINALES

8.7 TOLERANCIAS DE LA SUPERFICIE ACABADA

En el caso de carreteras de nueva construcción, dispuestos clavos de referencia, nivelados hasta milímetros (mm) con arreglo a los planos, en el eje y bordes de perfiles transversales, cuya distancia no exceda de veinte metros (20 m) se comparará la superficie acabada con la teórica que pase por la cabeza de dichos clavos.

La superficie acabada no diferirá de la teórica en más de diez milímetros (10 mm) en las capas de rodadura, o quince milímetros (15 mm) en el resto de las capas.

La superficie acabada no presentará irregularidades de más de cinco milímetros (5 mm) en las capas de rodadura u ocho milímetros (8 mm) en el resto de las capas, cuando se compruebe con una regla de tres metros (3 m), aplicada tanto paralela como normalmente al eje de la zona pavimentada.

Las zonas en las que las irregularidades excedan de las tolerancias antedichas, o que retengan agua sobre la superficie, o en las que el espesor no alcance al noventa por ciento (90 %) del previsto en los planos, deberán corregirse, de acuerdo con lo que sobre el particular ordene el Director.

En el caso de refuerzo de firmes, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o, en su defecto, el Director, fijará las tolerancias sobre las anteriores

prescripciones, teniendo en cuenta el estado de la carretera antigua y el objeto e importancia del trabajo ejecutado.

En todo caso, la superficie de la capa deberá presentar una textura uniforme, exenta de segregaciones y con la pendiente adecuada.

Los equipos de topografía realizarán las comprobaciones exigidas en los Pliegos de Prescripciones una vez finalizada la compactación de cada capa. Las deficiencias de las capas inferiores se podrán corregir en algunos casos con los espesores de las superiores, siempre dentro de los límites compatibles con el tamaño máximo del árido, sobre todo por defecto de espesor.

Las irregularidades de la superficie acabada se comprobarán después de finalizada la compactación. Para ello y siguiendo perfiles longitudinales en zona de bordes y eje de la capa extendida, se pasará la regla de tres metros de forma continuada o superponiéndola 0,50 m en cada aplicación. Asimismo se pasará al menos transversalmente en los perfiles tomados como referencia topográfica.

En el caso de emplear una regla rodante su paso se hará de una forma continua.

En ambos casos se anotarán marcando en la superficie las zonas en que la irregularidad supera las tolerancias fijadas.

Asimismo las irregularidades superiores a las tolerancias pueden pasarse a un plano anotando la flecha en milímetros, refiriendo su posición a los perfiles topográficos.

Dado que el empleo de la regla de tres metros es muy laborioso, lo más adecuado es pasar la regla rodante para las comprobaciones longitudinales y la regla de tres metros para la comprobación de los perfiles transversales.

Los puntos altos detectados que sean causas de incumplimiento de las tolerancias se eliminarán por fresado, escarificación u otro medio mecánico.

8.8 LIMITACIONES DE LA EJECUCION

La fabricación y extensión de mezclas bituminosas en caliente se efectuará cuando las condiciones climatológicas sean adecuadas. Salvo autorización expresa del Director, no se permitirá la puesta en obra de mezclas bituminosas en caliente cuando la temperatura ambiente, a la sombra, sea inferior a cinco grados centígrados (5°C), con tendencia a disminuir, o se produzcan precipitaciones atmosféricas. Con viento intenso, el Director podrá aumentar el valor mínimo

antes citado de la temperatura ambiente, a la vista de los resultados de compactación obtenidos.

En caso necesario, se podrá trabajar en condiciones climatológicas desfavorables, siempre que lo autorice el Director y se cumplan las precauciones que ordene en cuanto a temperatura de la mezcla, protección durante el transporte y aumento del equipo de compactación para realizar un apisonado inmediato y rápido.

Terminada la compactación y alcanzada la densidad adecuada, podrá darse al tráfico la zona ejecutada tan pronto como haya alcanzado la capa la temperatura ambiente.

Al trabajar en condiciones climatológicas adversas hay que tener en cuenta que las dificultades aumentan cuando el espesor de la capa es menor, cuando el viento es fuerte y las precipitaciones intermitentes pero intensas. Sin embargo, con una temperatura baja en día de calma, aunque sea con llovizna, se puede conseguir, en caso necesario, un trabajo aceptable.

Para evitar los inconvenientes de llegada a la extensión de camiones de mezcla cuando ésta no pueda extenderse, es conveniente el enlace radiofónico entre el tajo de extendido y la instalación de fabricación.

9. RECOPIACION DE LOS DATOS OBTENIDOS DURANTE EL CONTROL

Todas las actividades del Equipo de Control deberán quedar recogidas en los impresos y partes correspondientes, para constancia y posterior tratamiento de los datos obtenidos.

No existe una norma general para esta labor y los impresos y recomendaciones que se dan a continuación son a modo de sugerencia, pudiéndose modificar de acuerdo con las necesidades o la práctica.

La toma de muestras se realizará en todos los casos de acuerdo con las indicaciones dadas en el capítulo 6.

9.1 PARTE DE CONTROL DEL SUMINISTRO DE MATERIALES

El vigilante encargado del control de suministro de materiales realizará la toma de muestras de los diferentes materiales de acuerdo con las instrucciones del jefe del Equipo de Control.

Las muestras serán enviadas al laboratorio de obra para su ensayo.

Los resultados de estos ensayos se reflejarán en el correspondiente parte diario para su tratamiento y archivo.

9.2 PARTES DE CONTROL DE MATERIALES EN LA INSTALACION DE FABRICACION

El vigilante encargado del control de la instalación de fabricación será el encargado de la realización de la toma de muestras de los materiales con los que se realiza la alimentación a la instalación: áridos, filler y ligante.

Asimismo, será el encargado de la toma de muestras de los áridos combinados en la alimentación en frío, de los áridos cribados en caliente y de los áridos dosificados a su entrada en el mezclador.

La toma de muestras la realizará de acuerdo con las instrucciones del jefe del Equipo, y las muestras las enviará al laboratorio de obra para su ensayo.

Los resultados de estos ensayos se recopilarán en los impresos correspondientes para su tratamiento y archivo.

9.3 PARTES DE CONTROL DE LA FABRICACION DE LA MEZCLA BITUMINOSA

El vigilante del control de la instalación será el encargado de la realización de la toma de muestras para el control de la fabricación.

Las muestras serán enviadas al laboratorio de obra para la realización de los correspondientes ensayos. Los resultados de los ensayos se recopilarán en el parte diario de control de la mezcla bituminosa.

El mismo vigilante será el encargado de la toma de datos de la fabricación, rellenando el correspondiente impreso.

9.4 PARTE DE SALIDA Y TRANSPORTE DE LA MEZCLA BITUMINOSA

El vigilante del control de la salida y transporte de la mezcla bituminosa será el encargado de la vigilancia del peso y temperatura de la mezcla en los camiones a la salida de la instalación.

Estos datos los reflejará en el correspondiente parte.

El citado vigilante entregará al conductor del camión un vale donde constarán las toneladas transportadas y la hora y temperatura de la mezcla a la salida de la instalación.

Asimismo vigilará, antes de la carga, la limpieza de la caja del camión y el tratamiento antiadherente empleado y, posteriormente a la carga, el aspecto de la mezcla y la correcta colocación de la lona de cubrición.

9.5 PARTES DE RECEPCION Y PUESTA EN OBRA DE LA MEZCLA BITUMINOSA

El vigilante encargado de la puesta en obra realizará la inspección de la mezcla a su llegada al tajo de extensión.

Vigilará la hora de llegada, su aspecto, eventuales contaminaciones y temperatura, anotando sus observaciones en el correspondiente parte, así como las deficiencias observadas.

Diariamente rellenará el parte de inspección de la puesta en obra cumplimentando los datos en él pedidos.

Asimismo será el encargado de la toma de muestras antes y después de la compactación, de acuerdo con las instrucciones del jefe del Equipo, encargándose del envío de las mismas al laboratorio de obra para su ensayo.

Los resultados de estos ensayos se reflejarán en el parte diario de control de la mezcla bituminosa, que es similar al de fabricación.

Será también objeto de su vigilancia el correcto funcionamiento de la maquinaria, en especial del tren de compactación, en cuanto a la realización de la misma, de acuerdo con el plan previsto deducido de los tramos de prueba.

9.6 PARTE RESUMEN DEL CONTROL

El jefe del Equipo rellenará con los datos de control realizados diariamente un parte resumen, anotando los valores obtenidos aplicando los criterios dados en el capítulo 6, consignando también los datos de la fórmula de trabajo para una más rápida comprobación.

De este parte enviará copia al Director de las obras.

9.7 PARTES RESUMEN DE LAS VARIACIONES DIARIAS DE LAS CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA BITUMINOSA Y DE LOS MATERIALES

Estos partes están concebidos para recoger de forma gráfica las variaciones diarias de las características obtenidas durante el control de los materiales y de la mezcla bituminosa.

Este parte deberá ser rellenado por el jefe del Equipo, aplicando, bien el criterio de las medias aritméticas, o mejor, el método de las medias móviles indicado en el capítulo 6 y el apéndice 4.

El diagrama permitirá tener una visión de conjunto de las variaciones diarias, con objeto de observar las tendencias o desviaciones que se producen y tomar las medidas oportunas.

Diagramas

ORGANISMO RESPONSABLE DEL CONTROL


PARTE DE CONTROL CUALITATIVO DEL SUMINISTRO DE MATERIALES										Dia						
DATOS DE OBRA																
LIGANTES																
FORMA SUMINISTRO	TIPO/REF.	PROCEDENCIA	CANTIDAD	LUGAR ACOPIO	ENSAYO	RESULTADO	PRESCRIPCIONES	ACEPTACION								
ARIDOS Y FILLER																
TIPO/ /REF	LUGAR ACOPIO	TOMA LUGAR	HORA	E.A. o D.A. EN TOLUENO	40	25	20	12,5	10	5	2,5	0,63	0,32	0,16	0,080	
OBSERVACIONES:																

ORGANISMO RESPONSABLE DEL CONTROL																			
PARTE DE CONTROL CUALITATIVO DE ALIMENTACION DE MATERIALES A LA INSTALACION							Dia												
DATOS OBRA																			
LIGANTE																			
TANQUE / REF.	CAPACIDAD	Contenido INICIAL	Contenido FINAL	GASTO	ENSAYO	RESULTADO	PRESCRIPCIONES	OBSERVACIONES											
TOTAL —																			
ARIDOS Y FILLERES																			
NATURALEZA	TOMA SILO	HORA	E.A.S.D.A. EN TOLUENO		CERNIDO PONDERAL ACUMULADO (%)														
			40	25	20	12,5	10	5	2,5	0,63	0,32	0,16	0,080						
GRUESO																			
MEDIO																			
FINO																			
ARENA																			
FILLER																			
ARIDOS COMBINADOS																			
HORA / REF.	PROD / h	% TEORICO / REGULACION SILO				E.A.S.D.A. EN TOLUENO	CERNIDO PONDERAL ACUMULADO (%)												
		1	2	3	4		40	25	20	12,5	10	5	2,5	0,63	0,32	0,16	0,080		
Formula de trabajo																			
OBSERVACIONES:																			

PARTE DE CONTROL DE ARIDOS EN LA INSTALACION															Dia			
DATOS DE OBRA																		
T I P O	TOMA		CERNIDO PONDERAL ACUMULADO (%)															
	REF.	HORA	40	25	20	12,5	10	5	2,5	0,63	0,32	0,16	0,080					
1) GRUESO																		
2) MEDIO																		
3) FINO																		
4) ARENA																		
5) FILLER RECUPERADO																		
6) FILLER DE APORTACION																		
HORA / REF.	PRODUC. t/h	% TEORICO / REGULACION					TOMA					CERNIDO PONDERAL ACUMULADO (%)						
		1	2	3	4	5	6	REF.	HORA	40	25	20	12,5	10	5	2,5	0,63	0,32
FORMULA DE TRABAJO																		
Comprobación ó Regulación 1																		
"	"	"	2															
"	"	"	3															
"	"	"	4															
"	"	"	5															
OBSERVACIONES:																		

PARTE DIARIO DE DATOS DE FABRICACION

DATOS OBRA										Día	
TEMPERATURAS											
MATERIAL			LUGAR			H O R A S			MEDIA DIARIA		
ARIDOS											
LIGANTE											
MEZCLA											
DATOS DE FABRICACION											
AMASIO: PESO ARIDOS..... PESO LIGANTE..... TOTAL.....											
HORAS DE TRABAJO		LECTURA CONTADOR		AMASIOS		TONELADAS		CAUSA PARADA		CONSUMO DE LIGANTES	
Comienzo	Parado	Horas	Comienzo	Parada	Diferencia	Fabricadas	t/h			VOLUMEN CONSUMIDO. l	
										TEMPERATURA °C	
										FACTOR DE CORRECCION POR TEMPERATURA	
										PESO CONSUMIDO kg	
										% S / TOTAL MEZCLA	
										% S / TOTAL ARIDOS	
TOTALES		DIA		O		MEDIAS					
DATOS CLIMATOLOGICOS											
TEMPERATURA AMBIENTE :		MAÑANA		MEDIODIA		TARDE		MEDIA			
CIELO		MAÑANA		MEDIODIA		TARDE		OBSERVA.			
LLUVIA		MAÑANA		MEDIODIA		TARDE		OBSERVA.			
COMPROBACION DIARIA DE LA INSTALACION											
ALIMENTACION PRIMARIA		<input type="checkbox"/>		TANQUES LIGANTE		<input type="checkbox"/>		SECADOR		<input type="checkbox"/>	
CRIBA		<input type="checkbox"/>		MEZCLADOR		<input type="checkbox"/>		DESCARGA MEZCLA		<input type="checkbox"/>	
OBSERVACIONES:											

PARTE DE INSPECCION DE LA PUESTA EN OBRA DE LA MEZCLA BITUMINOSA		Dia												
DATOS DE OBRA														
TRANSPORTE	CAMIONES: LIMPIEZA <input type="checkbox"/>	TAPADO <input type="checkbox"/>												
EXTENSION	EXTENDEDORA: LIMPIEZA <input type="checkbox"/>	MAESTRA <input type="checkbox"/>												
COMPACTACION	ESPESOR DETRABAJO: INICIAL	MECHERO <input type="checkbox"/>												
	1% PESO	COMPACTADO												
	2% " LIMPIEZA	RIEGO												
	3% " " " " " " " "	" " " " " " " "												
CROQUIS DE INCIDENCIAS	JUNTAS - 1	GRIETAS <input checked="" type="checkbox"/>												
	SEGREGACIONES 0	OTRAS DIFICULTADES <input type="checkbox"/>												
		ARROLLAMIENTOS <input checked="" type="checkbox"/>												
		TOMA MUESTRAS <input checked="" type="checkbox"/>												
														
OBRA REALIZADA														
de km. a km. ANCHO														
de km. a km. ANCHO														
ESPESOR														
ESPESOR														
MANANA														
MEDIODIA														
TARDE														
MEDIA														
DATOS CLIMATOLOGICOS														
TEMPERATURAS														
CIELO														
LLUVIA														
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="border: none;">Total m.</td> <td style="border: none;">Total m.²</td> <td style="border: none;">Total m.³</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">Total m.</td> <td style="border: none;">Total m.²</td> <td style="border: none;">Total m.³</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">Total m.</td> <td style="border: none;">Total m.²</td> <td style="border: none;">Total m.³</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">Espesor medio m.m.</td> <td style="border: none;">Espesor medio m.m.</td> <td style="border: none;">Espesor medio m.m.</td> </tr> </table>			Total m.	Total m. ²	Total m. ³	Total m.	Total m. ²	Total m. ³	Total m.	Total m. ²	Total m. ³	Espesor medio m.m.	Espesor medio m.m.	Espesor medio m.m.
Total m.	Total m. ²	Total m. ³												
Total m.	Total m. ²	Total m. ³												
Total m.	Total m. ²	Total m. ³												
Espesor medio m.m.	Espesor medio m.m.	Espesor medio m.m.												
OBSERVACIONES:														

PARTE RESUMEN DEL CONTROL DE LA INSTALACION DE FABRICACION													Dia		
DATOS OBRA															
SUMINISTRO DE ARIDOS Y FILLER															
CERNIDO PONDERAL ACUMULADO (%)															
ACOPIO	40	25	20	12,5	10	5	2,5	0,63	0,32	0,16	0,080	E.A.o.D.A. en tolueno	OBSERVACIONES		
ALIMENTACION EN FRIO															
CERNIDO PONDERAL ACUMULADO (%)															
S I L O	40	25	20	12,5	10	5	2,5	0,63	0,32	0,16	0,080	E.A.o.D.A. en tolueno	OBSERVACIONES		
ARIDOS CRIBADOS Y FILLER															
CERNIDO PONDERAL ACUMULADO (%)															
S I L O	40	25	20	12,5	10	5	2,5	0,63	0,32	0,16	0,080	E.A.o.D.A. en tolueno	TEMPERA TURA	OBSERVAC.	
MEZCLA DE ARIDOS															
CERNIDO PONDERAL ACUMULADO (%)															
	40	25	20	12,5	10	5	2,5	0,63	0,32	0,16	0,080	LIGANTE	TEMPERA TURA	OBSERVAC.	
ANALISIS DE LA MEZCLA															
CERNIDO PONDERAL ACUMULADO (%)															
													LIGANTE	TEMPERA TURA	OBSERVAC.
CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA															
	ESTABILIDAD kgf	DEFORMACION mm	%HUECOS MEZCLA	%HUECOS RELLENOS EN ARIDOS	DENSIDAD MARSHALL g/cm ³	DENSIDAD IN-SITU g/cm ³	% COMPACTACION								
EN INSTALACION															
EN TAJO															
CONDICIONES CLIMATOLOGICAS															
TEMPERATURA MAXIMA ----- TEMPERATURA MINIMA ----- CIELO ----- LLUVIA -----															
OBSERVACIONES:															

PARTE RESUMEN DE LAS VARIACIONES DIARIAS DE LAS CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA BITUMINOSA			Mes.....																																	
DATOS OBRA																																				
CARACTERISTICA CONTROLADA	FORMULA DE TRABAJO	TOLERANCIAS	D I A S																																	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
CERNIDO PONDERAL ACUMULADO (%)	40																																			
	25																																			
	20																																			
	12,5																																			
	10																																			
	5																																			
	2,5																																			
	0,63																																			
	0,32																																			
	0,16																																			
	0,080																																			
LIGANTE																																				
% peso s/áridos																																				
ESTABILIDAD(Kgf)																																				
DEFORMACION mm																																				
% HUECOS EN MEZCLA																																				
% HUECOS EN ARIDOS RELLENOS DE LIGANTE																																				
DENSIDAD APARENTE DE LAS PROBETAS(g/cm ³)																																				
DENSIDAD APARENTE IN-SITU (g/cm ³)																																				
% COMPACTACION																																				
OBSERVACIONES:																																				

1

2

3

4

Apendices

APENDICE 1

FACTORES DE DIMENSIONAMIENTO PARA FIRMES FLEXIBLES DE NUEVA CONSTRUCCION SEGUN LA NORMA 6.1-IC

Se recogen a continuación las tablas y datos de interés para el proyecto de dosificación de mezclas bituminosas de acuerdo con esta norma.

La nomenclatura utilizada es la siguiente:

Grupo A : firmes con base granular

Grupo B: firmes con base bituminosa

Grupo C: firmes con base de grava-cemento

D: mezclas densas

S: mezclas semidensas

G : mezclas gruesas

A : mezclas abiertas

TABLA 2

Categorías de tráfico		
Categorías de tráfico	Designación	Número acumulado de ejes equivalentes de 13 t(130 kN) en el carril y periodo de proyecto
T1	Pesado	$4 \cdot 10^6 - 10^7$
T2	Medio alto	$8 \cdot 10^5 - 4 \cdot 10^6$
T3	Medio bajo	$8 \cdot 10^4 - 8 \cdot 10^5$
T4	Ligero	$10^4 - 8 \cdot 10^4$

TABLA 4

Tipos de mezclas bituminosas en caliente (PPTG - Art. 542) a emplear, según su composición granulométrica				
Categoría de tráfico	Grupo estructural del firme	Capa del firme		
		Pavimento		Base
		Capa de rodadura	Capa intermedia	
T1	B	DS	DSG	G
	C	DS	G	—
T2	A	DS	GA	—
	B	DS	G	GA**
	C	DS	G	—
T3	A	DSG	—	—
	B	DS	—	GA**
	C	DSG	—	—
T4	A	DSGA*	—	—
	B	DS	—	G
	C	DSG	—	—

(*) En caso necesario, sellada con una lechada bituminosa (PPTG - Art. 540)

(**) Sobre capas tratadas con cemento

TABLA 5

Tipos de mezclas bituminosas en frío (PPTG - Art. 541) a emplear, según su composición granulométrica			
Categoría de tráfico	Grupo estructural del firme	Capa del firme	
		Pavimento (capa de rodadura)	Base
T3	A	GF	—
	B	GF	GF AF**
	C	GF	—
T4	A	GF AF*	—
	B	GF	GF
	C	GF	—

(*) En caso necesario, sellada con una lechada bituminosa (PPTG - Art. 540)

(**) Sobre capas tratadas con cemento.

TABLA 6

Tipo de betún asfáltico (*) a emplear en las mezclas bituminosas				
a) En capa de rodadura y siguiente (intermedia o base)				
ZONA TERMICA ESTIVAL	TRAFICO			
	T 1	T 2	T 3	T 4
Cálida	40/50	40/50	40/50-60/70	60/70-80/100
Media	40/50	60/70	60/70-80/100	80/100
Templada	60/70	80/100	80/100	80/100

b) En capa de base (con pavimento constituido por capa de rodadura y capa intermedia)

ZONA TERMICA ESTIVAL	TRAFICO			
	T 1	T 2	T 3	T 4
Cálida	40/50	60/70	—	—
Media	40/50-60/70	60/70-80/100	—	—
Templada	60/70	80/100	—	—

(*) o penetraciones mínima y máxima del betún residual en el caso de betunes fluidificados o emulsiones asfálticas.

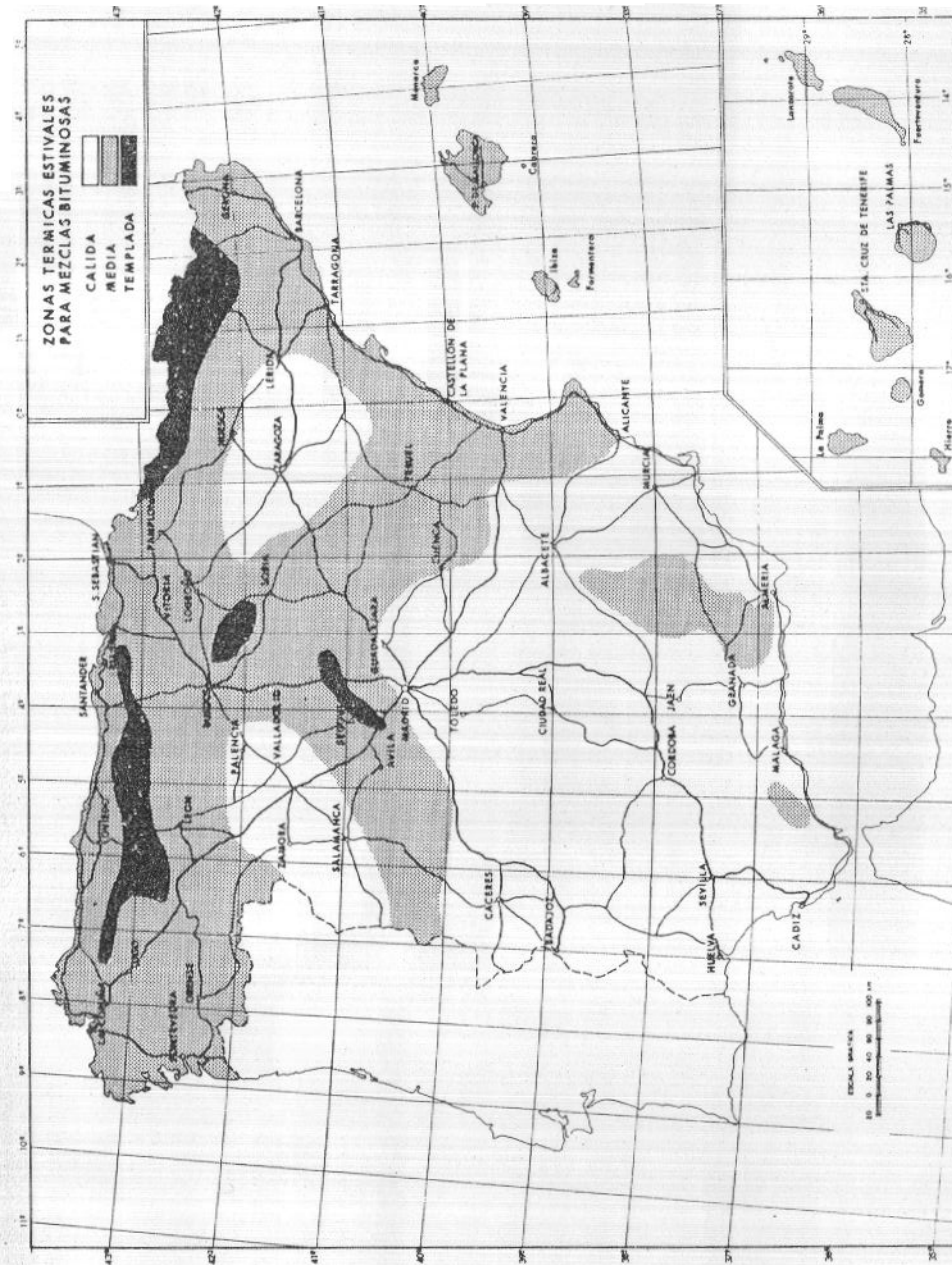
TABLA 7

Tipo de filler a emplear en las mezclas bituminosas				
Capa del firme	TRAFICO			
	T 1	T 2	T 3	T 4
Rodadura	Aportación	Aportación	Mín 50% Aportación	Aridos
Intermedia	Aportación	Mín. 50% Aportación	Aridos	Aridos
Base	Aridos	Aridos	Aridos	Aridos

TABLA 8

Relación ponderal filler/betún (*)				
a) En capa de rodadura				
ZONA TERMICA ESTIVAL	TRAFICO			
	T 1	T 2	T 3	T 4
Cálida	1,4	1,3	1,3	1,2
Media	1,3	1,2	1,2	1,1
Templada	1,2	1,1	1,1	1,0
b) En capa inmediatamente inferior a la de rodadura (intermedia o base)				
ZONA TERMICA ESTIVAL	TRAFICO			
	T 1	T 2	T 3	T 4
Cálida	1,3	1,2	1,2	1,1
Media	1,2	1,1	1,1	1,0
Templada	1,1	1,0	1,0	0,9
c) En capa de base (con pavimento constituido por capa de rodadura y capa intermedia)				
ZONA TERMICA ESTIVAL	TRAFICO			
	T 1	T 2	T 3	T 4
Templada	1,2	1,1	—	—
Media	1,1	1,0	—	—
Cálida	1,0	0,9	—	—

(*) betún residual en el caso de betunes fluidificados o emulsiones asfálticas.



APENDICE 2

ESPECIFICACIONES QUE DEBEN CUMPLIR LOS LIGANTES BITUMINOSOS

Se recogen a continuación los cuadros de especificaciones que deben de cumplir los ligantes bituminosos según el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de Carreteras y Puentes (PG 3).

Alquitranes para carreteras (PPTG Art. 210)

Ver cuadro 210.1

Betúnes asfálticos (PPTG Art. 211)

Ver cuadro 211.1

Betunes asfálticos fluidificados de curado rápido (PPTG Art. 212)

Ver cuadro 212.1

Betunes asfálticos fluidificados de curado medio (PPTG Art. 212)

Ver cuadro 212.2

Emulsiones asfálticas aniónicas (PPTG Art. 213)

Ver cuadro 213.1

Emulsiones asfálticas catiónicas (PPTG Art. 213)

Ver cuadro 213.2

CUADRO 210.1
ESPECIFICACIONES DE ALQUITRANES

CARACTERISTICAS	Norma de ensayo NLT	T I P O S																	
		AO 38		AO 46		AO 54		BO 30		BO 38		BO 46		BO 58		BO 62		BO 66	
		Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Equiviscosidad °C	188/72	38 ± 1,5	46 ± 1,5	54 ± 1,5	30 ± 1,5	38 ± 1,5	46 ± 1,5	58 ± 1,5	62 ± 1,5	58 ± 1,5	62 ± 1,5	58 ± 1,5	62 ± 1,5	58 ± 1,5	62 ± 1,5	58 ± 1,5	62 ± 1,5	58 ± 1,5	62 ± 1,5
Densidad relativa (a 25°C)	122/72	1,10	1,11	1,12	1,10	1,11	1,12	1,10	1,11	1,11	1,12	1,11	1,12	1,11	1,13	1,11	1,12	1,11	1,13
Contenido de agua (en peso) %	123/72	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Índice de espuma	193/73	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Destilación (en peso) %	189/72	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
a) hasta 200°C		3	10	2	7	1	5	4	11	1	8	1	5	3	2	2	2	2	2
b) desde 200°C a 270°C		4	9	2	7	2	7	4	9	4	9	2	7	1	6	1	5	1	5
c) desde 270°C a 300°C		16	12	10	16	10	10	16	16	13	13	11	11	8	7	7	6	6	6
Punto de reblandecimiento anillo y bola del residuo de destilación °C	125/72	35	35	55	35	46	35	46	35	47	35	49	35	49	56	56	56	56	56
Fenoles (en volumen) %	190/72	3	2,5	2,5	3	3	2,5	3	2,5	2,5	2	2	2,5	2	2	2	2	2	2
Nafalina (en peso) %	191/72	4	3	3	4	4	2,5	4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Insoluble en tolueno (en peso) %	192/72	24	25	26	23	23	24	23	23	24	25	25	25	28	28	28	28	28	28

CUADRO 211.1
ESPECIFICACIONES DE BETUNES ASFALTICOS

CARACTERISTICAS	Norma de ensayo NLT	T I P O S													
		B 20/30		B 40/50		B 60/70		B 80/100		B 150/200					
		Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Penetración (a 25°C, 100 g, 5 s) 0,1 mm	124/72	20	30	40	50	60	70	80	100	150	200				
Índice de penetración	181/72	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1				
Pérdida por calentamiento (a 163°C, 5 h) %	128/72		0,5		0,5		0,5		1,0		1,0				
Ductilidad (a 25°C, 5 cm/min) cm	126/72	30		50		70		100		100					
Penetración del residuo después de la pérdida por calentamiento en % de la penetración original %	124/72	75		75		75		75		75					
Solubilidad en tricloroetileno %	130/72	99,0		99,0		99,0		99,0		99,0					
Punto de Fraass °C	182/72	0		-4		-8		-10		-10					
Contenido de agua (en volumen) %	123/72	0,2		0,2		0,2		0,2		0,2					

Nota.—Los betunes asfálticos tendrán aspecto homogéneo y no formarán espuma cuando se calienten a la temperatura de empleo.

CUADRO 212.1
ESPECIFICACIONES DE BETUNES ASFALTICOS FLUIDIFICADOS DE CURADO RAPIDO

CARACTERISTICAS	Norma de ensayo NLT	TIPOS													
		RC 0		RC 1		RC 2		RC 3		RC 4		RC 5			
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.		
Punto de inflamación °C	136/72														
Viscosidad Saybolt Furol	133/72	75	150												
a 25° C															
a 50° C															
a 60° C															
a 82° C															
Destilación (% del volumen total destilado hasta 360° C)	134/72														
a 190° C		15													
a 225° C		55													
a 260° C		75													
a 316° C		90													
Residuo de la destilación a 360° C	134/72	50	60												
(en volumen por diferencia)															
Contenido de agua (en volumen) %	123/72														0,2
Ensayos sobre el residuo de destilación															
Penetración 0,1 mm (a 25° C, 100 g, 5 s)	124/72	80	120	80	120	80	120	80	120	80	120	80	120	80	120
Ductilidad (a 25° C, 5 cm/min)	126/72	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Solubilidad en tricloroetileno %	130/72	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0

CUADRO 212.2
ESPECIFICACIONES DE BETUNES ASFALTICOS FLUIDIFICADOS DE CURADO MEDIO

CARACTERISTICAS	Norma de ensayo NLT	TIPOS													
		MC 0		MC 1		MC 2		MC 3		MC 4		MC 5			
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.		
Punto de inflamación °C	136/72	38													
Viscosidad Saybolt Furol	133/72	75	150												
a 25° C															
a 50° C															
a 60° C															
a 82° C															
Destilación (% del volumen total destilado hasta 360° C)	134/72														
a 225° C		40	70	25	65	10	55	5	40	5	30	0	20	0	20
a 260° C		75	93	70	90	60	87	55	85	40	80	20	75	20	75
a 316° C															
Residuo de la destilación a 360° C	134/72	50	60												
(en volumen por diferencia)															
Contenido de agua (en volumen) %	123/72														0,2
Ensayos sobre el residuo de destilación															
Penetración (a 25° C, 100 g, 5 s)	124/72	120	300	120	300	120	300	120	300	120	300	120	300	120	300
Ductilidad (a 25° C, 5 cm/min)	126/72	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Solubilidad en tricloroetileno %	130/72	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0

CUADRO 213.1
ESPECIFICACIONES DE EMULSIONES ANIONICAS

CARACTERISTICAS	Norma de ensayo NLT	T I P O S												
		Rotura rápida				Rotura media				Rotura lenta				
		EAR 0	EAR 1	EAR 2	EAM 1	EAM 2	EAM f	EAL 1	Min.	Máx.	Min.	Máx.		
Viscosidad Saybolt Universal, a 25°C	138/72	100	50	50	50	50	50	400						
Furol, a 25°C	137/72	55	40	35	40	35	40	45						
Contenido de agua (en volumen)	139/72	0	0	0	0	0	0	10						
Fluidificante por destilación (en volumen)	139/72	45	60	65	60	65	5	5	55			60	5	
Betón asfáltico residual	140/72													
Sedimentación	140/72													
Tamizado (a los 7 días)	142/72	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10				0,10		0,10
(retenido en el tamiz 0,80 UNE)														
Demulsibilidad (35 cm ³ de CH ₂ Ca 0,02 N)	141/72	60	60	60										2,0
Mezcla con cemento	144/72													
Envuelta y resistencia al desplazamiento por el agua	196/73													
Envuelta árido seco después del riego					buena	buena								
Envuelta árido húmedo después del riego					aceptable	aceptable								
Envuelta árido húmedo después del riego					aceptable	aceptable								
Ensayos sobre el residuo de destilación														
Penetración (a 25°C, 100 g, 5 s)	124/72	130	130	130	130	200	130	200	130	200	130	200	130	200
Ductilidad (a 25°C, 5 cm/min)	126/72	80	60	60	60	100*	60	100*	60	100*	60	100*	60	100*
Solubilidad en tricloroetileno	130/72	40	40	40	40	40	40	40	97,5	97,5	97,5	97,5	40	40

Estas emulsiones con residuos de destilación más duros se designan con el tipo correspondiente seguido de la letra «d» (ejemplo: EAR1d).

CUADRO 213.2
ESPECIFICACIONES DE EMULSIONES CATIONICAS

CARACTERISTICAS	Norma de ensayo NLT	T I P O S												
		Rotura rápida				Rotura media				Rotura lenta				
		ECR 0	ECR 1	ECR 2	ECM 1	ECM 2	ECL 1	ECL f	Min.	Máx.	Min.	Máx.		
Viscosidad Saybolt Universal, a 25°C	138/72	100	50	50	50	50	50	50						
Furol, a 25°C	137/72	55	40	35	40	35	40	45						
Carga de las partículas	194/73	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
pH	195/73	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva
Contenido de agua (en volumen)	137/72	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Fluidificante por destilación (en volumen)	139/72	55	43	38	43	35	38	43	43	43	43	43	43	43
Betón asfáltico residual	139/72													
Sedimentación (a los 7 días)	140/72													
Tamizado en tamiz 0,80 UNE	142/72	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Mezcla con cemento	144/72													
Envuelta y resistencia al desplazamiento por el agua	196/73													
Envuelta árido seco después del riego					buena	buena								
Envuelta árido húmedo después del riego					aceptable	aceptable								
Envuelta árido húmedo después del riego					aceptable	aceptable								
Ensayos sobre el residuo de destilación														
Penetración (a 25°C, 100 g, 5 s)	124/72	130	130	130	130	200	130	200	130	200	130	200	130	200
Ductilidad (a 25°C, 5 cm/min)	126/72	60	60	60	60	100*	60	100*	60	100*	60	100*	60	100*
Solubilidad en tricloroetileno	130/72	40	40	40	40	40	40	40	97,5	97,5	97,5	97,5	40	40

* Estas emulsiones con residuos de destilación más duros se designan con el tipo correspondiente seguido de la letra «d» (ejemplo: ECR1d).
** Las emulsiones ECL1 que no cumplen este requisito podrán ser aceptadas previa justificación de su idoneidad para el uso a que se destinan.

APENDICE 3

TABLAS DE CORRECCION DEL VOLUMEN EN FUNCION DE LA TEMPERATURA

Se recogen a continuación las Tablas de corrección de volumen en función de la temperatura, para los ligantes bituminosos, según el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de Carreteras y Puentes (PG 3).

Alquitranes para carreteras (PPTG - Art. 210)
Ver Tabla 210.2

Betunes asfálticos (PPTG - Art. 211)
Ver Tabla 211.2

Betunes asfálticos fluidificados (PPTG - Art. 212)
Ver Tabla 212.3

Emulsiones asfálticas (PPTG - Art. 213)
Ver Tabla 213.3

TABLA 212.3
CORRECCION DE VOLUMEN
BETUNES ASFALTICOS FLUIDIFICADOS

t = temperatura de medición (°C)
k = coeficiente multiplicativo del volumen medido para reducirlo a volumen a 25°C

t	k	t	k	t	k	t	k
-15°	1,0290	26°	0,9993	67°	0,9702	108°	0,9420
-14°	1,0283	27°	0,9986	68°	0,9695	109°	0,9413
-13°	1,0276	28°	0,9978	69°	0,9688	110°	0,9406
-12°	1,0268	29°	0,9971	70°	0,9681	111°	0,9399
-11°	1,0261	30°	0,9964	71°	0,9675	112°	0,9392
-10°	1,0254	31°	0,9957	72°	0,9668	113°	0,9385
-9°	1,0246	32°	0,9950	73°	0,9660	114°	0,9378
-8°	1,0238	33°	0,9942	74°	0,9653	115°	0,9372
-7°	1,0231	34°	0,9935	75°	0,9647	116°	0,9366
-6°	1,0224	35°	0,9928	76°	0,9640	117°	0,9359
-5°	1,0217	36°	0,9922	77°	0,9633	118°	0,9351
-4°	1,0210	37°	0,9915	78°	0,9626	119°	0,9345
-3°	1,0203	38°	0,9907	79°	0,9619	120°	0,9338
-2°	1,0195	39°	0,9900	80°	0,9612	121°	0,9332
-1°	1,0188	40°	0,9893	81°	0,9605	122°	0,9325
0°	1,0181	41°	0,9886	82°	0,9599	123°	0,9318
1°	1,0174	42°	0,9879	83°	0,9591	124°	0,9311
2°	1,0167	43°	0,9872	84°	0,9584	125°	0,9305
3°	1,0159	44°	0,9865	85°	0,9578	126°	0,9299
4°	1,0152	45°	0,9858	86°	0,9571	127°	0,9292
5°	1,0144	46°	0,9850	87°	0,9564	128°	0,9284
6°	1,0138	47°	0,9843	88°	0,9556	129°	0,9278
7°	1,0130	48°	0,9835	89°	0,9549	130°	0,9271
8°	1,0122	49°	0,9828	90°	0,9542	131°	0,9265
9°	1,0115	50°	0,9822	91°	0,9536	132°	0,9257
10°	1,0108	51°	0,9815	92°	0,9529	133°	0,9250
11°	1,0101	52°	0,9808	93°	0,9522	134°	0,9243
12°	1,0094	53°	0,9800	94°	0,9515	135°	0,9237
13°	1,0086	54°	0,9793	95°	0,9508	136°	0,9231
14°	1,0079	55°	0,9787	96°	0,9502	137°	0,9224
15°	1,0072	56°	0,9780	97°	0,9494	138°	0,9217
16°	1,0065	57°	0,9773	98°	0,9488	139°	0,9210
17°	1,0058	58°	0,9765	99°	0,9481	140°	0,9204
18°	1,0050	59°	0,9758	100°	0,9474	141°	0,9198
19°	1,0043	60°	0,9752	101°	0,9468	142°	0,9191
20°	1,0036	61°	0,9745	102°	0,9461	143°	0,9184
21°	1,0029	62°	0,9738	103°	0,9454	144°	0,9177
22°	1,0022	63°	0,9730	104°	0,9447	145°	0,9171
23°	1,0014	64°	0,9724	105°	0,9440		
24°	1,0007	65°	0,9717	106°	0,9434		
25°	1,0000	66°	0,9710	107°	0,9427		

TABLA 213.3
CORRECCION DE VOLUMEN
EMULSIONES ASFALTICAS
t = temperatura de medición (°C)
k = coeficiente multiplicativo del volumen medido para reducirlo a volumen a 25°C

t	k	t	k	t	k
15°	1,00450	28°	0,99862	41°	0,99276
16°	1,00405	29°	0,99817	42°	0,99231
17°	1,00360	30°	0,99773	43°	0,99185
18°	1,00314	31°	0,99728	44°	0,99140
19°	1,00270	32°	0,99682	45°	0,99095
20°	1,00225	33°	0,99636	46°	0,99050
21°	1,00180	34°	0,99591	47°	0,99004
22°	1,00135	35°	0,99547	48°	0,98959
23°	1,00090	36°	0,99501	49°	0,98914
24°	1,00044	37°	0,99456	50°	0,98870
25°	1,00000	38°	0,99411	51°	0,98823
26°	0,99953	39°	0,99365	52°	0,98778
27°	0,99908	40°	0,99321	53°	0,98733
				54°	0,98687
				55°	0,98643
				56°	0,98598
				57°	0,98553
				58°	0,98507
				59°	0,98462
				60°	0,98417
				61°	0,98371
				62°	0,98327
				63°	0,98281
				64°	0,98236
				65°	0,98191

APENDICE 4

PROCEDIMIENTO ESTADISTICO PARA LA DETERMINACION DEL CUMPLIMIENTO DE LAS ESPECIFICACIONES UTILIZANDO MEDIAS MOVILES Y GRAFICOS DE CONTROL

1. OBJETO

Este procedimiento estadístico tiene por objeto la estimación del cumplimiento de las especificaciones establecidas para los materiales empleados en una obra utilizando medias móviles y gráficos de control.

2. PROCEDIMIENTOS

2.1 DEFINICIONES

2.1.1 Resultado de ensayo. Es un resultado individual empleado en la determinación de la aceptación de un material. En algunos casos, cada resultado de ensayo está formado por el valor medio de los resultados de dos o más ensayos. El número de ensayos necesarios para obtener un resultado depende del tipo de ensayo empleado.

2.1.2 Media móvil. Si no se especifica otra cosa, la media móvil es el valor medio de cinco resultados de ensayo: los cuatro últimos efectuados del material ya aceptado más el resultado de ensayo del material cuya aceptación se está considerando.

Estos resultados se redondearán con el mismo número de cifras significativas que en el caso del resultado de ensayo individual. Cuando la fracción decimal a eliminar sea menor de 5, se redondeará por defecto, si es igual o mayor de 5, se redondeará por exceso.

2.1.3 Gráfico de control. Es un gráfico para la representación y análisis de los resultados que proporcionan testimonio visual de que un proceso está bajo control.

2.2 DETERMINACION INICIAL

2.2.1 Al comienzo de la obra no se determina la media móvil hasta que se obtiene el segundo resultado de ensayo; sin embargo, si se acepta el material, el primer resultado de ensayo se tomará como el primer punto del gráfico de control.

2.2.2 La media móvil desde el segundo al cuarto resultado de ensayo es el valor medio de todos los resultados que representen al material previamente aceptado más el resultado de ensayo del material que se está considerando. Desde el quinto resultado de ensayo en adelante se aplica la definición 2.1.2. No se incluirá en los cálculos de la media móvil para su representación en los gráficos de control un resultado de ensayo que represente un material rechazado.

2.3 PROCEDIMIENTO A SEGUIR CUANDO UN RESULTADO DE ENSAYO INDIVIDUAL O LA MEDIA MOVIL, SE SALE DE LAS ESPECIFICACIONES

2.3.1 Teniendo en cuenta las Prescripciones Técnicas y la característica a controlar del material, se establecerán los límites tanto para los resultados individuales de ensayo como para la media móvil. También se fijará el procedimiento a seguir cuando un resultado individual de ensayo se salga de dichos límites, pudiendo optarse por:

- a) Rechazar el material correspondiente a dicho ensayo.
- b) Aceptar el material, siempre que la media móvil se mantenga dentro de sus propios límites. En este caso el resultado del ensayo se incorporará al cálculo de las sucesivas medias móviles.
- c) Tomar dos muestras adicionales que representen al mismo material. Si una o ambas muestras dan resultados de ensayo que se salen de los límites especificados para el resultado individual de ensayo, se rechazará el material. Si ambos resultados cumplen dichos límites se aceptará el material y los tres resultados de ensayo se incluirán al calcular las medias móviles.

2.3.2 Cuando el valor de la media móvil se salga de los límites establecidos para las medias móviles, pero el último resultado individual de ensayo cumpla el límite de la media móvil, no será preciso detener la operación, sino iniciar una nueva media móvil.

2.4 DISCONTINUIDAD EN EL CALCULO DE LA MEDIA MOVIL

2.4.1 La media móvil para un material determinado no será necesariamente un proceso continuo durante el tiempo que dure la obra. Según el criterio del Director de las obras, se podrá iniciar una nueva serie de medias móviles cuando haya períodos de inactividad, cambios en los materiales, cambios en la fórmula de trabajo, etc.

2.5 FRECUENCIA DE LA TOMA DE MUESTRAS

2.5.1 Se seguirá lo indicado en el capítulo 6 sobre la frecuencia y localización de la toma de muestras.

3. EMPLEO DE LOS GRAFICOS DE CONTROL. ZONAS DE ALERTA

3.1 La zona de alerta, que no constituye una parte del método, está pensada como una zona de aviso en el gráfico de control en la que se debe prestar una atención especial al proceso para disminuir el riesgo de salirse de las especificaciones.

Estas zonas de alerta se seleccionan de acuerdo con la experiencia y sirven para estimar si el proceso se sale de control. Serán definidas en cada caso particular por el Director de las obras.

3.2 En el gráfico de control se incluirán todos los ensayos realizados con el material empleado en la obra pero no se incluirán los ensayos realizados sobre material rechazado y no empleado en la obra.

De acuerdo con el criterio del Director de las obras, se pueden representar en el gráfico de control los ensayos de muestras en marcha pero no se incluirán en las medias móviles.

Ejemplo número 1:

Cálculos para determinar las medias móviles en el ensayo de equivalente de arena.

Supongamos un límite superior a 43 para el ensayo individual y superior a 45 para la media móvil. La zona de alerta para este ejemplo se fija arbitrariamente entre 45 y 50 (fig. 1).

Ensayo N°	Fecha	Resultado de ensayo individual (M/número 43)	Suma	Media Movil (M/número 45)	Redondeado hasta
1	11-7-77	49 (1er valor a representar)	-	-	-
2	14-7-77	55	104 : 2	= 52,0	52
3	16-7-77	54	158 : 3	= 52,7	53
4	19-7-77	42 No tomado en cuenta y aceptado por el Director	200 : 4	= 50,0	50
5	21-7-77	50	250 : 5	= 50,0	50
6	23-7-77	45	246 : 5	= 49,0	49
7	26-7-77	44	235 : 5	= 47,0	47
8	28-7-77	38	219 : 5	= 43,8	Material rechazado y resultado no representado en el gráfico de control

Suministro suspendido despues del ensayo número 8 y medidas tomadas por el Contratista para corregir la deficiencia antes de aceptar más material

9	29-7-77	49 (1er valor a representar)	-	-	-
10	1-8-77	50	99 : 2	= 49,5	50
11	5-8-77	51	150 : 3	= 50,0	50
12	8-8-77	53	203 : 4	= 50,7	51

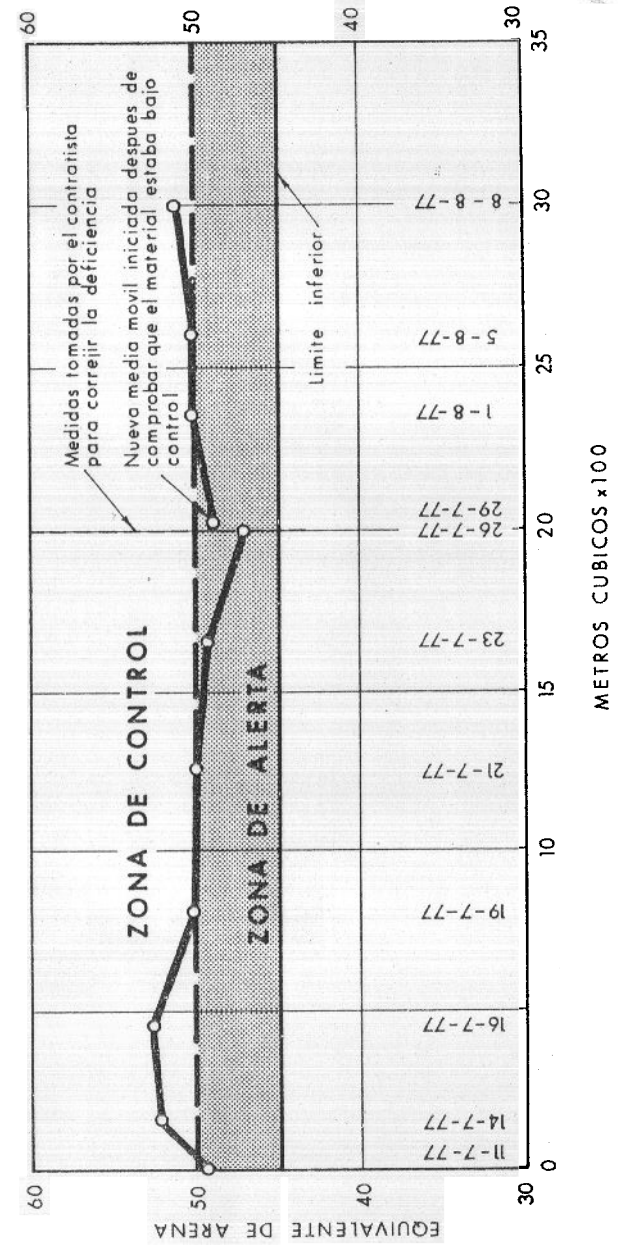


Fig. 1 GRAFICO DE CONTROL DE MEDIAS MOVILES PARA EQUIVALENTE DE ARENA

Ejemplo número 2:

Cálculos para determinar las medias móviles del contenido de ligante de una mezcla bituminosa en caliente.

Valor medio correspondiente a la fórmula de trabajo = 5

Las especificaciones permiten una variación de $\pm 0,3$ que se tomará como base para el valor de la media móvil. Para el ensayo individual se puede tomar en este caso una variación de $\pm 0,4\%$ de acuerdo con la precisión del ensayo.

La zona de alerta para este ejemplo se fija arbitrariamente entre $\pm 0,1$ del más bajo de los límites anteriores (fig. 2).

Ensayo N°	Fecha	Resultado de ensayo individual (límites 4,6 a 5,4)	Suma	Media Móvil (límites 4,7 a 5,3)	Redondeado hasta
1	1-7-77	5,05 (1 ^{er} valor a representar)			—
2	2-7-77	4,85	9,90 : 2 =	4,95	5,0
3	5-7-77	5,15	15,05 : 3 =	5,01	5,0
4	9-7-77	5,20	20,25 : 4 =	5,06	5,1
5	11-7-77	5,20	25,45 : 5 =	5,09	5,1
6	14-7-77	5,30	25,70 : 5 =	5,14	5,1
7	19-7-77	5,45 No tomado en cuenta y aceptado por el Director	26,30 : 5 =	5,26	5,3
8	21-7-77	5,30	26,45 : 5 =	5,29	5,3
9	23-7-77	5,50	26,75 : 5 =	5,35	Material rechazado y resultado no representado en el gráfico de control.

Actividad detenida y medidas tomadas para corregir la deficiencia antes de aceptar más material

10	27-7-77	4,90 (1 ^{er} valor a representar)	—	—	—
11	29-7-77	4,80	9,70 : 2 =	4,85	4,9
12	1-8-77	4,75	14,45 : 3 =	4,82	4,8
13	3-8-77	4,95	19,40 : 4 =	4,85	4,9

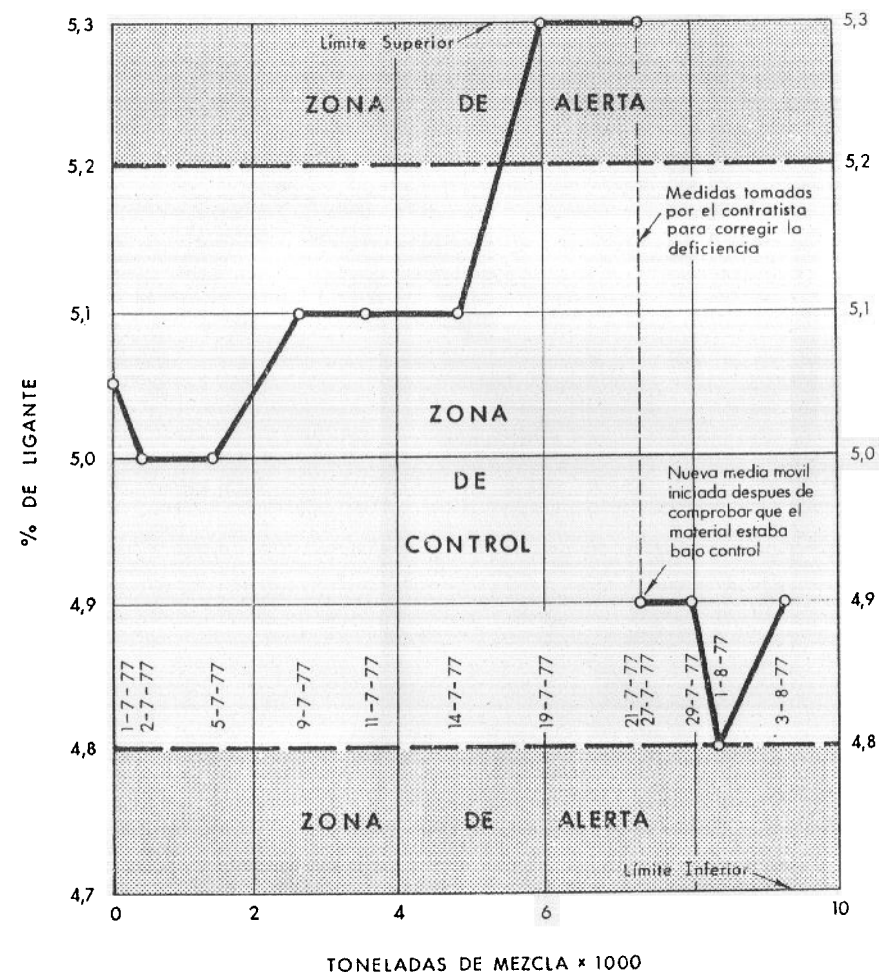


Fig. 2 GRAFICO DE CONTROL DE MEDIAS MOVILES PARA CONTENIDO DE LIGANTE



APENDICE 5

RECONOCIMIENTOS

En la redacción de este Manual ha sido necesario recurrir a la consulta de diversas obras de tipo similar. Siendo difícil enumerarlas todas, se considera no obstante obligado mencionar a las siguientes Organizaciones, cuyas publicaciones han supuesto una importante ayuda:

The Asphalt Institute

Division of Highways. State of California

State Highway Commission of Kansas

Service d'études techniques des routes et autoroutes

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

Transport and Road Research Laboratory

Arbeitsgemeinschaft der Bitumen-Industrie E.V.

Barber- Green Company

Officina Meccanica MARINI SpA

Wibau Mathias and Co.KG

Joseph Vögele A.G.

ABG Allgemeine Baumaschinen-Gesellschaft

Se agradece asimismo la colaboración prestada por:

Asociación Sindical Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas

Agrupación Sindical Económica de Autopistas, Túneles y Puentes de Peaje

as como la de los ingenieros de los Servicios de la Dirección General de Carreteras cuyas observaciones y sugerencias al primer borrador de este Manual han permitido introducir notables mejoras en el texto que ahora se publica.