

# MANUAL DEL ASFALTO



**THE ASPHALT INSTITUTE**

Traducido por

• **Manuel Velázquez**

Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Con la colaboración de  
**PRODUCTOS ASFALTICOS, S. A. (PROAS)**



**URMO, S. A. DE EDICIONES**

ESPAATERO. 10- BILBAO-9 (ESPAÑA)

## PROLOGO A LA EDICION ESPAÑOLA

El Instituto del Asfalto, Asociación Internacional sin fines lucrativos, realiza desde hace años una notable labor de investigación e información en el campo de los materiales asfálticos.

**Una** de las más importantes facetas de esta labor es la creación de una verdadera biblioteca de manuales, especificaciones de construcción y obras de divulgación sobre el empleo de estos materiales, cuya culminación es, sin duda, este **MANUAL DEL ASFALTO** que ahora presentamos en versión castellana.

El asfalto, uno de los materiales de construcción más antiguos utilizados por el hombre, encuentra cada día nuevas aplicaciones. Se utiliza ampliamente en pavimentación de carreteras, revestimiento de obras hidráulicas, impermeabilización de edificios, etc. Es evidente que el constructor que utiliza tales 'materiales necesita un exacto conocimiento de los métodos de trabajo y las dosificaciones necesarias. En el **MANUAL DEL ASFALTO** **se** han reunido tales datos, puestos al día con los resultados de los últimos avances **en** la tecnología correspondiente, en un mínimo de espacio y despojados en absoluto de detalles innecesarios. La obra tiene un enorme valor práctico para los ingenieros, constructores y cuantos, en una u otra forma, utilizan el asfalto como material de construcción.

Nuestro deseo **al** realizar y publicar esta traducción ha sido colaborar **en** la medida de nuestras modestas fuerzas **al** progreso en España de la tecnología del asfalto, ofreciendo a cuantos lo utilizan un útil instrumento de trabajo.

**PRODUCTOS ASFALTICOS, S. A.**

# INDICE

## CAPITULO I

Empleos del asfalto	21
---------------------	----

## CAPITULO II

Terminología del asfalto y sus aplicaciones . . . . .	28
<b>A)</b> Materiales asfálticos . . . . .	28
<b>B)</b> Pavimentos asfálticos y tratamientos superficiales .	31

## CAPITULO III

Ensayos . . . . .	38
<b>A)</b> Materiales asfálticos . . . . .	38
<b>B)</b> Aridos . . . . .	56
<b>C)</b> Mezclas asfálticas para pavimentación . . . . .	64

## CAPITULO IV

Resumen de las especificaciones y recomendaciones principales . . . . .	83
<b>A)</b> Especificaciones para los asfaltos . . . . .	83
<b>B)</b> Especificaciones para los áridos . . . . .	83
<b>C)</b> Clasificación de las mezclas asfálticas para pavimentación . . . . .	93
<b>D)</b> Proyecto de mezclas asfálticas . . . . .	99
<b>E)</b> Control de las temperaturas de aplicación del asfalto . . . . .	101

## CAPITULO V

Proyecto de pavimentos asfálticos . . . . .	108
<b>A)</b> Cálculo de espesores . . . . .	108
<b>B)</b> Cálculo de espesores para pavimentos de aeropuertos . . . . .	116
<b>C)</b> Proyecto de mezclas asfálticas . . . . .	118

## CAPITULO VI

Economía de los pavimentos asfálticos . . . . .	120
---	-----

## CAPITULO VII

Maquinaria para la aplicación del asfalto	127
---	-----

## CAPITULO VIII

Construcción de pavimentos asfálticos . . . . .	149
<b>A)</b> Preparación de cimentaciones para pavimentos asfálticos . . . . .	150
<b>B)</b> Empleo, fabricación e inspección de mezclas asfálticas en instalación mezcladora . . . . .	177
<b>C)</b> Transporte, extensión y compactación de las mezclas asfálticas . . . . .	215
<b>D)</b> Macadam asfáltico . . . . .	225
<b>E)</b> Construcción por mezcla <i>in situ</i> . . . . .	235
<b>F)</b> Tratamientos superficiales y riesgos de sellado . . . . .	244

## CAPITULO IX

Construcción por etapas, reconstrucción y conservación . . . . .	266
<b>A)</b> Construcción por etapas, reconstrucción . . . . .	266
<b>B)</b> Conservación . . . . .	274

## CAPITULO X

Elementos accesorios de la carretera . . . . .	290
<b>A)</b> Arcenes pavimentados o tratados . . . . .	290
<b>B)</b> Bordillos al borde de los arcenes . . . . .	293
<b>C)</b> Cunetas y desagües pavimentados . . . . .	293
<b>D)</b> Taludes pavimentados . . . . .	294
<b>E)</b> Revestimientos asfálticos . . . . .	295
<b>F)</b> Bordillos y regueras de asfalto . . . . .	295
<b>G)</b> Aceras . . . . .	300

## CAPITULO XI

Superficies asfálticas para puentes . . . . .	304
<b>A)</b> Pavimentación de puentes nuevos . . . . .	305
<b>B)</b> Pavimentación de puentes antiguos . . . . .	308

## CAPITULO XII

Empleo del asfalto en construcción de ferrocarriles . . . . .	316
<b>A)</b> El asfalto en las vías de ferrocarril . . . . .	316
<b>B)</b> Tratamiento asfáltico del balasto de las vías férreas . . . . .	318
<b>C)</b> Tratamiento asfáltico de los puentes ferroviarios de madera . . . . .	319

## CAPITULO XIII

Aparcamientos y caminos particulares . . . . .	321
<b>A)</b> Aparcamientos pavimentados con asfalto . . . . .	321
<b>B)</b> Zonas de aparcamiento sobre estructuras elevadas . . . . .	325
<b>C)</b> Caminos particulares pavimentados . . . . .	328

## CAPITULO XIV

Empleo del asfalto en obras hidráulicas . . . . .	336
<b>A)</b> Introducción . . . . .	336
<b>B)</b> Revestimientos de hormigón asfáltico para canales . . . . .	340
<b>C)</b> Revestimiento de canales con membrana enterrada . . . . .	343

<i>D)</i>	Revestimientos prefabricados . . . . .	346
<i>E)</i>	Revestimientos de mampostería rejuntada con asfalto . . . . .	349
<i>F)</i>	Revestimiento de depósitos y lagunas . . . . .	319
<i>G)</i>	Protección contra la erosión . . . . .	352
<i>H)</i>	Diques y escolleras asfálticos. . . . .	359
<i>I)</i>	Revestimiento de presas. . . . .	365
<i>J)</i>	Revestimientos asfálticos para instalaciones de tratamiento de aguas residuales . . . . .	367

## CAPITULO XV

	Empleos diversos del asfalto . . . . .	370
<i>A)</i>	Impermeabilización de cubiertas . . . . .	370
<i>B)</i>	Terrenos de juego . . . . .	378
<i>C)</i>	Pistas de tenis . . . . .	381
<i>D)</i>	Revestimientos asfálticos para piscinas. . . . .	386
<i>E)</i>	Empleos del asfalto en ganadería . . . . .	389
<i>F)</i>	Motocines. . . . .	392
<i>G)</i>	Suelos industriales . . . . .	392
<i>H)</i>	Revestimiento asfáltico de tuberías . . . . .	394
<i>I)</i>	Aceras . . . . .	396
<i>J)</i>	Protección de sementeras con asfalto . . . . .	396

## CAPITULO XVI

	Tablas útiles y datos diversos . . . . .	403
	APENDICE. . . . .	466
	INDICE ALFABETICO. . . . .	469

## INDICE DE ILUSTRACIONES

1-1	Diagrama de fabricación de los productos asfálticos.	22
1-2	Productos asfálticos líquidos . . . . .	23
II-1	Sección típica. . . . .	35
III-1	Ensayo normal de penetración . . . . .	39
111-2	Ensayo cinemático de viscosidad capilar . . . . .	<b>40</b>
111-3	Determinación de la viscosidad Saybolt-Furol. . . . .	41
111-4	Determinación del punto de inflamación en vaso abierto, Cleveland. . . . .	43
III-5	Determinación del punto de inflamación Pensky-Martens . . . . .	<b>44</b>
111-6	Ensayo de ductilidad . . . . .	<b>46</b>
111-7	Comparación de las viscosidades de los materiales asfálticos líquidos a 60 °C . . . . .	49
111-8	Determinación del punto de inflamación en vaso abierto (asfalto fluidificado). . . . .	50
111-9	Ensayo de destilación . . . . .	51
III-10	Ensayo del flotador . . . . .	53
III-11	Curvas granulométricas de los áridos. . . . .	58
III-12	Ensayo Los Angeles . . . . .	<b>60</b>
111-13	Ensayo Marshall de estabilidad y fluencia. . . . .	65
111-14	Compactador por amasado para preparación de probetas . . . . .	67
III-15	Ensayo de estabilómetro de Hveem . . . . .	68
111-16	Ensayo del cohesiómetro de Hveem . . . . .	69
111-17	Ensayo Hubbard-Field de probetas de 2" de diámetro . . . . .	71
111-18	Ensayo Hubbard-Field de probetas de 6" de diámetro . . . . .	72
III-19	Ensayo triaxial de Smith . . . . .	74
III-20	Ensayo de entumecimiento . . . . .	79
IV-1	Comparación de los grados antiguos y modernos de asfalto líquido . . . . .	84
IV-2	Clasificación de las mezclas asfálticas para pavimentación . . . . .	95
IV-3	Relación entre los huecos mínimos en el árido mineral y el tamaño máximo nominal de partículas de áridos para mezclas de pavimentación compactas de gradación densa . . . . .	102
IV-4	Viscosidad-temperatura de los asfaltos líquidos . . . . .	104

IV-5	Relaciones viscosidad-temperatura en los asfaltos . . . . .	105
IV-6	Conversión de unidades de viscosidad . . . . .	106
V-1	Gráfico del análisis de la circulación. carreteras interurbanas y caminos vecinales . . . . .	110
v-2	Gráfico de análisis de la circulación, carreteras urbanas y calles. . . . .	111
v-3	Condiciones de espesor para pavimentos de asfalto cuando se emplean valores portantes en el ensayo de placa o valores portantes de California para calcular la resistencia del terreno . . . . .	112
v-4	Espesor necesario de las estructuras de pavimentación de asfalto empleando valores de resistencia del terreno . . . . .	113
VII-1	Escarificador . . . . .	130
VII-2	Distribuidor . . . . .	131
VII-3	Extendedor centrífugo . . . . .	136
VII-4	Extendedor de compuerta . . . . .	137
VII-5	Extendedor con tolva (sobre ruedas) . . . . .	137
VII-6	Extendedor autopropulsado. . . . .	137
VII-7	Esquema de una laminadora para pavimentos asfálticos . . . . .	139
VII-8	Algunos tipos característicos de máquinas pavimentadoras . . . . .	144-145
VII-9	Tipos de compactadores . . . . .	147
VIII-1	Sistema de drenaje bicapa para caudales importantes . . . . .	154
VIII-2	Sección de zanja de drenaje. . . . .	155
VIII-3	Asiento. área, anchura y longitud de contacto: neumático para compactador 13:00-24. . . . .	164
VIII-4	Datos característicos sobre rendimientos de compactación con compactadores de neumáticos. . . . .	168
VIII-5	Extensión de arena-asfalto con una pavimentadora. . . . .	173
VIII-6	Según apisonado de la capa resistente de hormigón asfáltico . . . . .	178
VIII-7	Instalación mezcladora discontinua . . . . .	180-181
VIII-8	Instalación mezcladora continua. . . . .	180-181
VIII-9	Alimentador en frío y cinta transportadora con tres tolvas . . . . .	183
VIII-10	Efecto bóveda de los áridos finos en la alimentación en frío. . . . .	184
VIII-11	Los áridos finos retienen más humedad que los gruesos y necesitan más calor para su secado . . . . .	188
VIII-12	Desgaste de los tamices . . . . .	191
VIII-13	Dispositivo de toma de muestras . . . . .	194
VIII-14	Empleo correcto del tomamuestras. . . . .	194
VIII-15	Segregación del material en las tolvas de áridos calientes. . . . .	1%
VIII-16	Tubería de retorno del asfalto. La flecha grande indica la ranura vertical . . . . .	1%
VIII-17	Mezclador insuficientemente lleno. . . . .	203
VIII-18	Mezclador excesivamente lleno . . . . .	203
VIII-19	Funcionamiento de la barra distribuidora. . . . .	207

VIII-20	La estupenda carretera interestatal número 95 en Maine Has. Base de macadam asfáltico por penetración. . . . .	227
VIII-21	Construcción de una base de macadam asfáltico en la autopista de peaje de Nueva Jersey . . . . .	229
VIII-22	Extensión de árido para el tratamiento superficial con una esparcidora autopropulsada . . . . .	253
VIII-23	Una calle de Washington D.C., dos semanas después de la aplicación de un sellado con lechada asfáltica . . . . .	258
VIII-24	Aplicación de un sellado con lechada asfáltica mediante caja extendedora. Observación: Solamente se carga con mezcla el compartimiento anterior . .	258
VIII-25	Máquina de sellado asfáltico a base de una emulsión de asfalto de solidificación lenta, árido fino, filler mineral y agua . . . . .	261
IX-1	Base de hormigón asfáltico extendida con un anejo especial de la pavimentadora para ensanchar una carretera. . . . .	269
IX-2	Inyección de asfalto caliente bajo pavimentos de hormigón hidráulico. . . . .	284
X-1	Pavimentación de arcenes en la totalidad de la anchura. . . . .	291
x-2	Los automovilistas agradecen entusiastamente que se marquen los bordes de los arcenes en toda su longitud como medida de seguridad en la autopista de peaje de Massachusetts . . . . .	292
X-3	Los bordillos y regueras de asfalto se pueden colocar fácilmente y a bajo precio con las máquinas de construir bordillos. . . . .	296
x-4	Espesor de las aceras . . . . .	302
XI-1	Calzada pavimentada con asfalto en el puente nuevo de Woodrow Wilson, Washington . . . . .	306
XI-2	Repavimentación de las calzadas estropeadas de un puente de hormigón de cemento Portland por medio de hormigón asfáltico . . . . .	310
XIII-1	Aparcamiento pavimentado de asfalto . . . . .	324
XIII-2	Calzada privada pavimentada de asfalto. . . . .	330
XIII-3	Corte vertical típico de una calzada . . . . .	331
XIV-1	Sección característica del revestimiento de un canal o depósito. . . . .	337
XIV-2	Canal revestido de hormigón asfáltico . . . . .	339
XIV-3	Colocación de un revestimiento de hormigón asfáltico con métodos improvisados. Depósito de la Lemont Water Company, Pensilvania . . . . .	342
XIV-4	La barra extendedora lateral unida al camión extended& coloca una membrana de asfalto caliente para que sirva de recubrimiento de un canal grande. . . . .	344
XIV-5	La tierra preexistente sirve perfectamente para recubrir la membrana extendida anteriormente . . .	345
XIV-6	Depósito industrial de paneles de asfalto prefabricados . . . . .	347

XIV-7	Aplicación en un depósito de un revestimiento prefabricado de asfalto . . . . .	350
XIV-8	Revestimiento de la orilla superior del río Mississippi . . . . .	354
XIV-9	Pavimentación del paramento de un dique en el lago Okeechobee, Florida. . . . .	358
XIV-10	Diaue recubierto de asfalto en Palos Verdes, California . . . . .	359
XIV-11	Seccion de la escollera sur de Galveston, Tejas . . . . .	361
XIV-12	Dique de asfalto para la arena. . . . .	362
XIV-13	Revestimiento de la pendiente de un dique . . . . .	363
XIV-14	Protección de pendientes con hormigón asfáltico. Carretera sobre el dique de Point Lookout, Maryland. A la derecha está la bahía de Chesapeake . . . . .	366
XIV-15	Capas alternas de asfalto para las presas . . . . .	367
XIV-16	Presa de Montgomery, Colorado. Sección vertical máxima . . . . .	368
XIV-17	Cierre con asfalto de un canal de escape . . . . .	368
XV-1	En los Estados Unidos las cubiertas de capas asfálticas cubren mas casas que las demás formas de techumbre reunidas . . . . .	371
x v - 2	Moderno edificio industrial con cubierta de asfalto. . . . .	376
x v - 3	Terreno de juego pavimentado con asfalto en Washington . . . . .	379
x v - 4	Pista de tenis. . . . .	383
x v - 5	Piscina con revestimiento asfáltico, Montpelier Vt. . . . .	387
XV-6	Piscina con revestimiento asfáltico, Wallingford, Conn. . . . .	387
x v - 7	Terreno de una granja pavimentada con asfalto . . . . .	391
XV-8	Aplicación de asfalto a laderas recubiertas de paja mediante una barra extendidora lateral unida al camión distribuidor . . . . .	398
x v - 9	El soplador mecánico lanza la paja y el asfalto simultáneamente en una sola operación de gran rendimiento. . . . .	400
XVI-1	Vagón tanque con serpentín simple . . . . .	407
XVI-2	Vagón tanque con serpentín doble. . . . .	408
XVI-3	1) Dispositivos interiores de la válvula. 2) Conexiones de vapor y salida con serpentín simple. 3) Conexiones de entrada y salida de vapor con serpentín doble . . . . .	409

## INDICE DE TABLAS

I-1	Penetración recomendada para diversos tipos de betunes asfálticos . . . . .	25
1-2	Principales empleos de los diversos tipos de productos asfálticos. . . . .	26
IV-1	Especificaciones para betunes asfálticos. . . . .	85
IV-2	Especificaciones para asfalto fluidificado de curado rápido (RC) . . . . .	86
IV-3	Especificaciones para asfalto fluidificado de curado medio (MC) . . . . .	87
IV-4	Especificaciones para asfalto fluidificado de curado lento (SC) . . . . .	88
IV-5	Especificaciones para emulsiones asfálticas . . . . .	89
IV-6	Granulometrias simplificadas . . . . .	90
IV-7	Mezclas recomendadas. . . . .	96
IV-8	Campo de empleo de los métodos de proyecto de laboratorio . . . . .	99
IV-9	Límites sugeridos para los resultados de los ensayos.	100
VIII-1	Superficies y presiones de contacto para diversas presiones de inflado y cargas por rueda . . . . .	162
VIII-2	Presiones medias de contacto para neumáticos de camión de tipo convencional . . . . .	165
VIII-3	Presiones medias de contacto para neumáticos de alta presión para camión . . . . .	166
VIII-4	Comparación de las superficies y anchuras de contacto para cargas por rueda y áreas de contacto comparables en neumáticos lisos para compactador.	167
VIII-5	Neumáticos para compactadores. . . . .	170
VIII-6	Presiones de contacto aproximadas a diversas presiones de inflado . . . . .	171
VIII-7	Procedimiento sugerido para toma de muestras y realización de ensayos . . . . .	209
VIII-8	Posibles causas de deficiencias en las mezclas asfálticas en caliente para pavimentación . . . . .	214
VIII-9	Posibles causas de imperfecciones en los pavimentos terminados . . . . .	228
VIII-10	Tamaño y cantidad de áridos y cantidad de asfalto, necesarios para la construcción de macadam por penetración empleando betunes asfálticos o asfaltos fluidificados pesados . . . . .	230

VIII-1	Tamaño y cantidad de áridos y cantidad de asfalto necesarios para la construcción de macadam por penetración empleando emulsiones asfálticas o asfaltos fluidificados ligeros. . . . .	234
VIII-12	Dosificaciones de aglomerante y áridos para tratamientos superficiales simples y riegos de sellado . . . . .	250
XIII-1	Espesor de pavimentos para zonas de aparcamiento de vehículos de turismo . . . . .	322
XIII-2	Espesor de pavimentos para zonas de aparcamiento de camiones pesados. . . . .	322
XIII-3	Espesores de pavimentos para caminos privados para automóviles de turismo . . . . .	333
XIV-1	Espesores recomendados para pavimentos para corrales de ganado . . . . .	341
XVI-1	Correcciones temperatura-volumen para materiales asfálticos. . . . .	411
XVI-2	Correcciones temperatura-volumen para materiales asfálticos. . . . .	412
XVI-3	Correcciones temperatura-volumen para emulsiones asfálticas. . . . .	413
XVI-4	Pesos y volúmenes de los materiales asfálticos . . . . .	414
XVI-5	Galones de asfalto necesarios por cada 100 pies lineales . . . . .	415
XVI-6	Galones de asfalto necesarios por milla . . . . .	416
XVI-7	Pies lineales cubiertos por un tanque de 600 galones. . . . .	417
XVI-8	Pies lineales cubiertos por un tanque de 800 galones. . . . .	418
XVI-9	Pies lineales cubiertos por un tanque de 1000 galones . . . . .	419
XVI-10	Pies lineales cubiertos por un tanque de 1200 galones . . . . .	420
XVI-11	Pies lineales cubiertos por un tanque de 1500 galones . . . . .	421
XVI-12	Pies lineales cubiertos por un tanque de 2000 galones . . . . .	422
XVI-13	Pies lineales cubiertos por un tanque de 2500 galones . . . . .	423
XVI-14	Pies lineales cubiertos por un tanque de cualquier capacidad . . . . .	424
XVI-15	Cubicación de tanques cilindricos horizontales. . . . .	425
XVI-16	Conversión de temperaturas . . . . .	426
XVI-17	Temperatura de líquidos calentados por vapor . . . . .	431
XVI-18	Peso de los áridos en función del peso específico y el contenido de huecos. . . . .	432
XVI-19	Relaciones peso-volumen para distintos tipos de pavimentos asfálticos . . . . .	433
XVI-20	Libras de material necesarias por yarda cuadrada . . . . .	434
XVI-21	Toneladas de material necesarias por cada 100 pies. . . . .	435
XVI-22	Toneladas de material necesarias por cada milla . . . . .	436
XVI-23	Pies lineales cubiertos por una tonelada de material. . . . .	438
XVI-24	Yardas cúbicas de material necesarias por cada 100 pies . . . . .	440
XVI-25	Peso específico de diversos cuerpos . . . . .	442
XVI-26	Conversión de pies a millas y millas a pies . . . . .	444
XVI-27	Conversión de $n/64$ pulgada a decimales de pulgada. . . . .	445
XVI-28	Conversión de $n/32$ de pulgada a decimales de pie. . . . .	446
XVI-29	Factores de conversión. Unidades de longitud. . . . .	448
XVI-30	Factores de conversión. Unidades de superficie . . . . .	449

XVI-31	Factores de conversión. Unidades de volumen. . .	450
XVI-32	Factores de conversión. Unidades de peso . . . .	451
XVI-33	Factores diversos de conversión . . . . .	452
XVI-34	Densidad y viscosidad del agua a varias temperatu- ras. . . . .	453
XVI-35	Áreas de las figuras planas . . . . .	454
XVI-36	Volumen y superficie de los sólidos . . . . .	456
XVI-37	Relaciones trigonométricas y resolución de los tri- ángulos rectángulos . . . . .	460
XVI-38	Funciones trigonométricas . . . . .	461
XVI-39	Tamices U. S. Standard . . . . .	462
XVI-40	Transformación de granulometrias «pasa-queda» a «total que pasa». . . . .	464

# Capítulo 1

## EMPLEOS DEL ASFALTO

1.01 PRESENTACION. El asfalto es un componente natural de la mayor parte de los petróleos, en los que existe en disolución. El petróleo crudo se destila para separar sus diversas fracciones y recuperar el asfalto. Procesos similares producidos naturalmente han dado lugar a yacimientos naturales de asfalto, en algunos de los cuales el material se encuentra prácticamente libre de materias extrañas, mientras que en otros está mezclado con cantidades variables de minerales, agua y otras sustancias. Las rocas porosas saturadas de asfalto que se encuentran en algunos yacimientos naturales se conocen con el nombre de rocas asfálticas.

1.02 PROPIEDADES. El asfalto es un material de particular interés para el ingeniero porque es un aglomerante resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero. Es una sustancia plástica que da flexibilidad controlable a las mezclas de áridos con las que se combina usualmente. Además, es altamente resistente a la mayor parte de los ácidos, álcalis y sales. Aunque es una sustancia sólida o semisólida a temperaturas atmosféricas ordinarias, puede licuarse fácilmente por aplicación de calor, por la acción de disolventes de volatilidad variable o por emulsificación.

### 1.03 RESUMEN HISTÓRICO.

*Prehistoria.* Se han encontrado esqueletos de animales prehistóricos conservados intactos hasta nuestros días en depósitos superficiales de asfalto en el pozo La Brea, en Los Angeles de California.

*3200 a 540 a. J.C.* Excavaciones arqueológicas recientes indican el amplio uso del asfalto en Mesopotamia y en el valle del Indo como aglomerante para albañilería y construcción de ca-

# ESQUEMA DE FABRICACION DE LOS PRODUCTOS ASFALTICOS

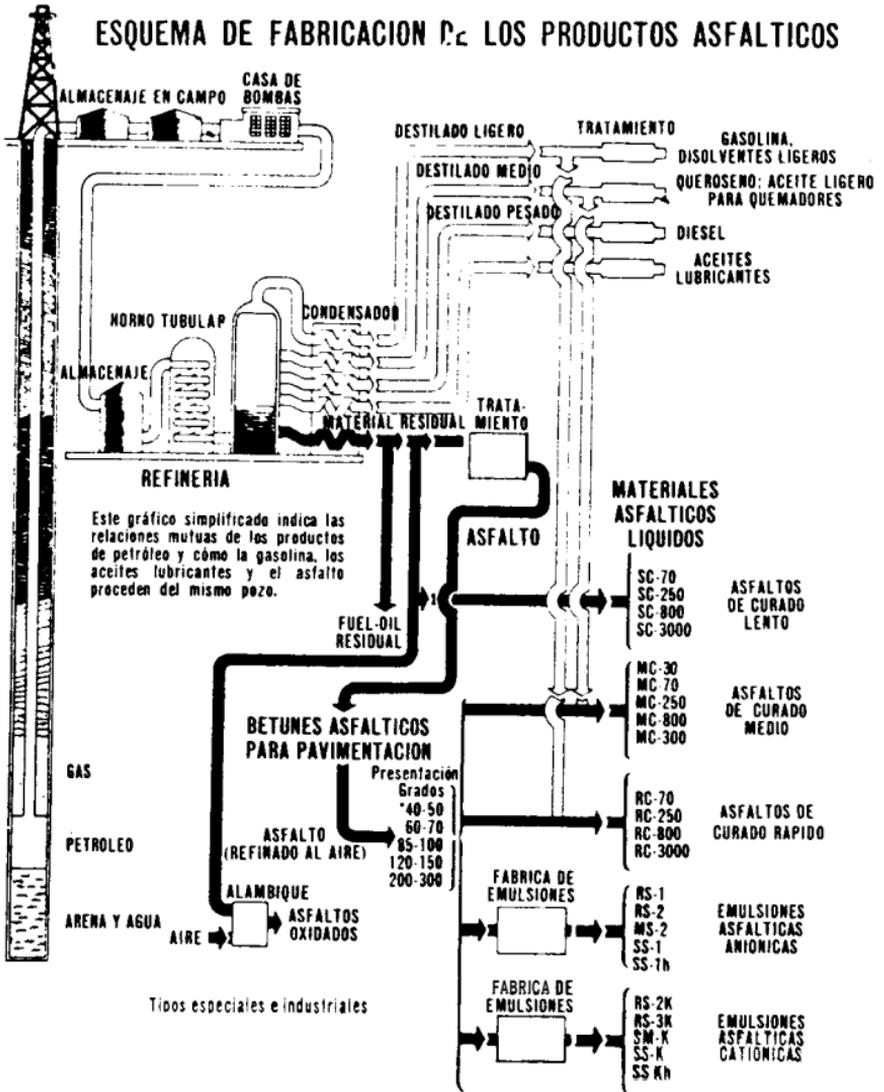


Figura I-1. Diagrama de fabricación de los productos asfálticos.

GASOLINA O NAFTA	QUEROSENO	ACEITES NO VOLA- TILES O DE EVAPORA- CION LENTA	AGUA Y EMULSIFI- CANTE	AGUA Y EMULSIFI- CANTE
BETUN ASFALTICO	BETUN ASFALTICO	BETUN ASFALTICO	BETUN ASFALTICO	ASFALTOS LIQUIDOS RC, MC o SC
CURADO RAPIDO (RC)	CURADO MEDIO (MC)	CURADO LENTO (SC)	EMULSIO- NES ASFAL- TICAS	EMULSIO NES ASFAL- TICAS INVERSAS

NOTA Las dimensiones de estos diagramas no son proporcionales a la composición

reteras y para capas de impermeabilización en estanques y depósitos de agua.

**300 a. J.C.** El asfalto se emplea extensamente en Egipto en los embalsamamientos.

**1802 d. J.C.** En Francia se emplea roca asfáltica para pavimentación de suelos, puentes y aceras.

**1838 d. J.C.** En Filadelfia se emplea roca asfáltica importada en la construcción de aceras.

**1870 d. J.C.** (aproximadamente). Construcción del primer pavimento asfáltico en Newark, Nueva Jersey, por el profesor E. J. DeSmedt, químico belga.

**1876 d. J.C.** Construcción del primer pavimento de tipo *sheet asphalt* en Washington D.C., con asfalto de lago importado.

**1902 d. J.C.** En los Estados Unidos se obtienen de la destilación del petróleo aproximadamente 20 000 t de asfalto **por** año.

**A partir de 1924.** El asfalto de petróleo producido anualmente en Estados Unidos **ha** crecido constantemente desde 3 millones de toneladas en **1924** a unos **9** millones de toneladas en **1946**.

A partir de esta fecha, se ha más que duplicado, llegando a unos 19 millones de toneladas en **1956**.

#### **1.04 ASFALTO OBTENIDO DEL PETROLEO.**

Casi todo el asfalto producido y empleado en los Estados Unidos se obtiene de la destilación del petróleo. Este asfalto se produce en una variedad de tipos y grados que va desde sólidos duros y quebradizos a líquidos casi tan fluidos como el agua. La forma semi-sólida, conocida como betún asfáltico, es el material básico. En la figura I-1 se indican los tipos de productos producidos en la destilación.

Los productos asfálticos líquidos se preparan generalmente diluyendo o mezclando los betunes asfálticos con destilados de petróleo o emulsificándolos con agua. En la **figura** 1-2 se indican diversos tipos de productos asfálticos líquidos.

	CLIMA			
	Cálido árido	Cálido húmedo	Moderado	Frío
	60-70	60-70	<del>60-70</del>	85-100
	60-70	60-70	60-70	85-100
	60-70	60-70	<del>60-30</del>	85-100
	<del>60-70</del>	60-70	60-70	85-100
	<b>85-100</b>	85-100	85-100	<b>120-150</b>
Calles				
Tráfico pesado y muy pesado. ....	60-70	60-70	<b>W70</b>	<b>85-100*</b>
Tráfico medio a ligero	<b>85-100</b>	<b>85-100</b>	<b>85-100</b>	<b>85-100</b>
Caminos particulares				
Industriales .....	60-70	<b>60-70</b>	<b>60-70</b>	85-100
Eslaciones de servicio	60-70	60-70	<b>60-70</b>	<b>85-100</b>
Residenciales .....	60-70	<b>60-70</b>	85-100	<b>85-100</b>
Aparcamientos				
Industriales .....	<b>60-70</b>	<b>W70</b>	<b>60-70</b>	<b>60-70</b>
Comerciales. ....	60-70	60-70	60-70	85-100
Zonas de recreo				
Pistas de tenlr. ....	<b>85-100</b>	85-100	<b>85-100</b>	85-100
Terrenos de juego. ..	<b>85-100</b>	85-100	<b>85-100</b>	85-100
Bordillos. ....	<b>60-70</b>	60-70	<b>60-70</b>	<b>85-100</b>





# TERMINOLOGIA DEL ASFALTO Y SUS APLICACIONES

## A) *Materiales asfálticos*

2.01 ASFALTO. Es un material aglomerante de color que varía de pardo oscuro a negro, de consistencia sólida, semisólida o líquida, cuyos constituyentes predominantes son betunes que se dan en la Naturaleza como tales o que se obtienen en la destilación del petróleo. El asfalto entra en proporciones variables en la constitución de la mayor parte de los crudos del petróleo.

Definición de los asfaltos dada por la ASTM: ((ASFALTOS. Materiales aglomerantes sólidos o semisólidos de color que varía de negro a pardo oscuro y que se licúan gradualmente al calentarse, cuyos constituyentes predominantes son betunes que se dan en la Naturaleza en forma sólida o semisólida o se obtienen de la destilación del petróleo; o combinaciones de éstos entre sí o con el petróleo o productos derivados de estas combinaciones.)) (ASTM Standard D8.)

2.02 ASFALTO DE PETROLEO. Asfalto obtenido de la destilación del crudo de petróleo.

2.03 ASFALTO EN POLVO. Asfalto sólido o duro machacado o molido hasta un fino estado de subdivisión.

2.04 ASFALTO FILLERIZADO. Asfalto que contiene materias minerales finamente molidas que pasan por el tamiz número 200.

2.05 ASFALTO LIQUIDO. Material asfáltico cuya consistencia blanda o fluida hace que se salga del campo en el que normalmente se aplica el ensayo de penetración, cuyo límite máximo es 300. Son asfaltos líquidos los siguientes productos:

- a) *Asfalto fluidificado*: Betún asfáltico que ha sido fluidificado mezclándolo con disolventes de pe-

tróleo, como, por ejemplo, los asfaltos líquidos de tipos RC y MC [véanse b) y c) a continuación]. Al exponer estos productos a los agentes atmosféricos los disolventes se evaporan, dejando solamente el betún asfáltico en condiciones de cumplir su cometido.

- b) *Asfalto de curado rápido (RC)*. Asfalto líquido compuesto de betún asfáltico y un disolvente de tipo nafta o gasolina, muy volátil (véase la tabla IV-2).
- c) *Asfalto de curado medio (MC)*. Asfalto líquido compuesto de betún asfáltico y un disolvente de tipo queroseno de volatilidad media (véase la tabla IV-3).
- d) *Asfalto de curado lento (SC)*. Asfalto líquido compuesto de betún asfáltico y aceites relativamente poco volátiles (véase la tabla IV-4), o
- e) *Road-oil*. Fracción pesada del petróleo, usualmente uno de los grados de asfalto líquido de curado lento (SC) (véase la tabla IV-4).
- f) *Asfalto emulsificado*. Emulsión de betún asfáltico en agua que contiene pequeñas cantidades de agentes emulsificantes; es un sistema heterogéneo que contiene dos fases normalmente inmiscibles (asfalto y agua), en el que el agua forma la fase continua de la emulsión y la fase discontinua está constituida por pequeños glóbulos de asfalto (véase la tabla IV-5). Los asfaltos emulsificados pueden ser de tipo aniónico o catiónico, según el tipo de agente emulsificante empleado.
- g) *Emulsión asfáltica inversa*. Emulsión asfáltica en la que la fase continua es asfalto, usualmente de tipo líquido, y la fase discontinua está constituida por diminutos glóbulos de agua en proporción relativamente pequeña. Este tipo de emulsión puede ser también aniónica o catiónica.

2.06 ASFALTO NATURAL (NATIVO). Asfalto que se da en la Naturaleza y que se ha producido a partir del petróleo por un proceso natural de evaporación de las fracciones volátiles dejando las asfálticas. Los yacimientos más importantes de asfaltos nativos se encuentran en los lagos de Trinidad y Bermúdez. El

asfalto procedente de estos puntos se llama frecuentemente asfalto de lago.

**2.07 ASFALTO OXIDADO O SOPLADO.** Asfalto a través de cuya masa, a elevada temperatura, se ha hecho pasar aire para darle las características necesarias para ciertos usos especiales, como fabricación de materiales para techados, revestimientos de tubos, inyección bajo pavimentos de hormigón hidráulico, membranas envolventes y aplicaciones hidráulicas.

**2.08 ASFALTO SOLIDO O DURO.** Asfalto cuya penetración a temperatura ambiente es menor que **10**.

**2.09 BETUN.** Mezcla de hidrocarburos de origen natural o pirogénico, o de ambos tipos, frecuentemente acompañados por sus derivados no metálicos, que pueden ser gaseosos, líquidos, semisólidos o sólidos, y que son completamente solubles en sulfuro de carbono.

**2.10 BETUN ASFALTICO.** Asfalto refinado para satisfacer las especificaciones establecidas para los materiales empleados en pavimentación. (Véase la tabla IV-1.) Las penetraciones normales de los betunes asfálticos están comprendidas entre **40** y **300** (véase **3.02**).

**2.11 BLOQUES DE ASFALTO.** Hormigón asfáltico moldeado a alta presión. El tipo de áridos empleados, la cantidad y tipo de asfalto y el tamaño y espesor de los bloques pueden variarse según las necesidades del empleo.

**2.12 FLUXANTE O ACEITE FLUXANTE.** Fracción de petróleo relativamente poco volátil que puede emplearse para ablandar el asfalto hasta la consistencia deseada; frecuentemente se emplea como producto básico para la fabricación de materiales asfálticos para revestimiento de cubiertas.

**2.13 GILSONITA.** Tipo de asfalto natural duro y quebradizo que se presenta en grietas de rocas o filones de los que se extrae.

**2.14 MATERIAL ASFALTICO PARA RELLENO DE JUNTAS.** Producto asfáltico empleado para llenar grietas y juntas en pavimentos y otras estructuras.

**2.15 MATERIAL ASFALTICO PREFABRICA-**

**DO PARA RELLENO DE JUNTAS.** Tiras prefabricadas de asfalto mezclado con sustancias minerales muy finas, materiales fibrosos, corcho, aserrín, etc., de dimensiones adecuadas para la construcción de juntas.

**2.16 PANELES PREFABRICADOS DE ASFALTO.** Compuestos generalmente de una parte central de asfalto, minerales y fibras, cubierta por ambos lados con una capa de fieltro impregnado de asfalto y revestido en el exterior con asfalto aplicado en caliente. Los paneles se fabrican por aplicación de presión y calor, en anchuras de 90 cm a 1,20 m, con un espesor que varía de 9 a 25 mm y en la longitud que se desee.

**2.17 PINTURA ASFALTICA.** Producto asfáltico líquido que a veces contiene pequeñas cantidades de otros materiales, como negro de humo, polvo de aluminio y pigmentos minerales.

**2.18 PRODUCTO ASFALTICO DE IMPRIMACION.** Asfalto líquido de baja viscosidad que penetra en una superficie no bituminosa cuando se aplica sobre ella.

**2.19 ROCA ASFALTICA.** Roca porosa como, por ejemplo, arenisca o caliza, que se ha impregnado con asfalto natural a lo largo de su vida geológica.

**2.20 TABLONES ASFALTICOS.** Mezclas pre-moldeadas de asfalto, fibras y filler mineral, reforzadas a veces con malla de acero o fibra de vidrio. Se fabrican usualmente en longitudes de 90 cm a 2,40 m y anchuras de 15 a 30 cm. Los tablones asfálticos pueden contener también arena silíceo que hace que conserven durante toda su vida una textura superficial de papel de lija.

## ***B) Pavimentos asfálticos y tratamientos superficiales***

**2.21 ARENA-ASFALTO.** Mezcla de arena y betún asfáltico o asfalto líquido preparada con o sin especial fiscalización de la granulometría de los áridos y con o sin filler mineral. Puede prepararse por mezcla *in situ* o en instalación mezcladora. La arena-asfalto se emplea en construcción de capas de base y de superficie.

**2.22 ARIDOS DE GRANULOMETRIA ABIERTA.** Aridos que no contienen filler mineral o contienen muy poco, o en los que los huecos de los áridos compactados son relativamente grandes.

**2.23 ARIDOS DE GRANULOMETRIA CERRADA.** Aridos uniformemente graduados desde el tamaño máximo hasta el de polvo mineral, del que contienen cantidad suficiente para reducir los huecos de los áridos compactados a dimensiones muy pequeñas que se aproximan al tamaño de los huecos del polvo.

**2.24 ARIDOS FINOS.** Los que pasan el tamiz número 8.

**2.25 ARIDOS GRADUADOS.** Aridos con granulometría continua, desde los tamaños gruesos a los finos.

**2.26 ARIDOS GRUESOS.** Los retenidos en el tamiz número 8.

**2.27 ARIDOS PARA MACADAM.** Aridos gruesos, usualmente piedra, escorias o grava machacada, de tamaño uniforme.

**2.28 BASE ASFALTICA.** Capa de cimentación compuesta de áridos aglomerados con material asfáltico.

**2.29 CAPA ASFALTICA DE NIVELACION.** Capa de espesor variable empleada para eliminar las irregularidades de una superficie existente antes de cubrirla con un nuevo tratamiento o capa.

**2.30 CAPA ASFALTICA DE SUPERFICIE.** Capa superior de un pavimento asfáltico, llamada también, a veces, capa asfáltica de desgaste.

**2.31 CAPA ASFALTICA INTERMEDIA.** Capa intermedia entre una capa de base y una capa asfáltica superficial. La capa de enlace es normalmente un hormigón asfáltico con áridos gruesos que contiene una proporción pequeña o nula de áridos que pasen por el tamiz número 200.

**2.32 CAPA DE ADHERENCIA ASFALTICA.** Aplicación de material asfáltico a una superficie existente para asegurar una perfecta unión entre la antigua superficie y las nuevas capas aplicadas.

**2.33 CAPA DE BASE.** Capa de material situada

inmediatamente bajo la capa intermedia. Puede componerse de piedra machacada, escoria machacada, grava, machacada o no, y arena, o combinaciones de estos materiales. (Véase también: Capa de base asfáltica.)

**2.34 ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.** Conjunto de capas de materiales seleccionados situadas sobre la explanación.

**2.35 ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO ASFALTICO** (llamada también a veces estructura del pavimento flexible). Capas de mezclas de asfalto y áridos, juntamente con cualquier capa no rígida comprendida entre las capas asfálticas y la cimentación o terreno natural. La palabra flexible, empleada a veces en relación con los pavimentos asfálticos, se refiere a la posibilidad de estas estructuras de adaptarse a los asientos de la cimentación.

**2.36 ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO DE TIPO COMPUESTO.** Son las obtenidas cuando el pavimento asfáltico se aplica sobre un antiguo pavimento de hormigón hidráulico, sobre una base de hormigón hidráulico o sobre otra capa de base de tipo rígido.

**2.37 FILLER MINERAL.** Producto mineral finamente dividido del que al menos el 65 % pasa por el tamiz número 200, La piedra caliza pulverizada es el filler más frecuentemente empleado, aunque pueden utilizarse también otros polvos de piedra, sílice, cal apagada, cemento Portland y algunas sustancias minerales naturales muy finas.

**2.38 HORMIGON ASFALTICO.** Mezcla en caliente, de alta calidad y perfectamente controlada, de betún asfáltico y áridos de alta calidad bien graduados, que se compactan perfectamente hasta formar una masa densa y uniforme.

**2.39 HORMIGON ASFALTICO PARA TRAFICO PESADO.** Hormigón asfáltico de la mejor calidad, del que son representativas las mezclas tipo IV especificadas por el Instituto del Asfalto.

**2.40 IMPRIMACION ASFALTICA.** Aplicación a una superficie absorbente de un material asfáltico líquido de baja viscosidad como preparación para cualquier tratamiento o construcción posteriores. El objeto

de la imprimación es saturar de asfalto la superficie existente llenando sus huecos, revestir y unir entre sí el polvo y las partículas minerales sueltas y endurecer la superficie, favoreciendo la adherencia entre ella y el tratamiento o construcción posteriores.

**2.41 LECHADA ASFALTICA.** Mezcla de emulsión asfáltica de rotura lenta de tipo **SS-1** o **SS-1-h**, áridos finos y filler mineral, con el agua necesaria para obtener una consistencia de lechada.

**2.42 MACADAM ASFALTICO.** Material empleado en la construcción de pavimentos en el que se emplean áridos gruesos de granulometría abierta que se producen usualmente machacando y tamizando piedra, escorias o grava. Estos áridos se llaman áridos para macadam. El asfalto puede incorporarse al macadam por penetración o por mezclado.

**2.43 MASTICO ASFALTICO.** Mezcla de asfalto y materia mineral en tales proporciones que pueda extenderse en caliente o en frío compactándola con llana hasta obtener una superficie lisa.

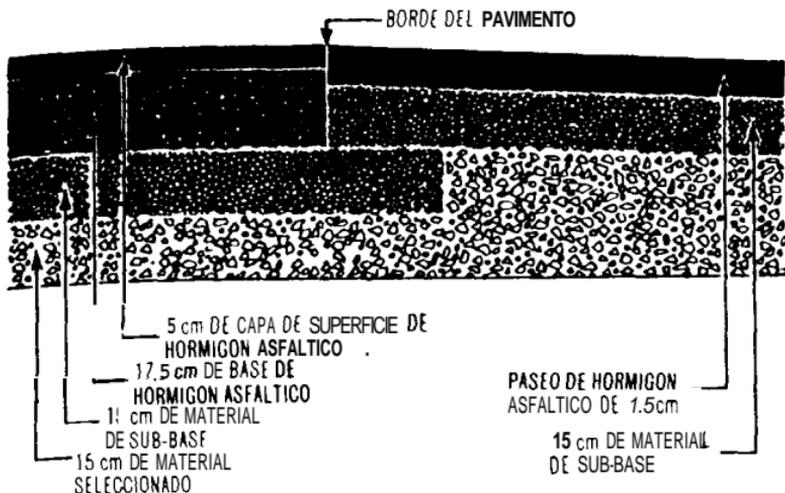
**2.44 MEZCLAS APLICADAS EN CALIENTE.** Mezclas en instalación mezcladora que deben extenderse y compactarse mientras aún están calientes. Los pavimentos asfálticos de mejor calidad se construyen empleando este tipo de mezclas.

**2.45 MEZCLAS APLICADAS EN FRIO.** Mezclas en instalación mezcladora que pueden extenderse y compactarse a temperatura ambiente.

**2.46 MEZCLA EN INSTALACION MEZCLADORA.** Mezcla en una instalación mezcladora mecánica central (o ambulante) de áridos y betún asfáltico o asfalto líquido que se aplica después sobre el camino. La dosificación de las diversas fracciones de los áridos y del aglomerante asfáltico se fiscaliza cuidadosamente, y usualmente los áridos se secan y calientan antes del mezclado.

**2.47 MEZCLA IN SITU.** Capa asfáltica producida mezclando los áridos y un asfalto líquido por medio de instalaciones mezcladoras ambulantes, motoniveladoras, gradas de discos, rastras o maquinaria especial para mezcla *in situ*.

**2.48 PAVIMENTOS ASFALTICOS.** Pavimen-



**Figura II-1. Sección típica.**

tos compuestos de una capa de superficie de áridos envueltos y aglomerados con betún asfáltico, con un espesor mínimo de 25 mm, sobre capas de sustentación como bases asfálticas, piedra machacada, escoria o grava; o sobre hormigón hidráulico o pavimentos de ladrillo o bloques (véase la fig. 11-1).

**2.49 PAVIMENTOS DE BLOQUES ASFÁLTICOS.** Pavimentos en los que la capa de superficie está constituida por bloques asfálticos. Estos bloques se colocan regularmente en capas, como en los pavimentos de ladrillos.

**2.50 PAVIMENTOS DE ROCA ASFÁLTICA.** Pavimentos construidos de roca asfáltica preparada y tratada con asfalto o fluxante si es necesario para su aplicación.

**2.51 POLVO MINERAL.** Porción de los áridos finos que pasa por el tamiz número 200.

**2.52 RECARGO ASFÁLTICO.** Capa o capas asfálticas aplicadas sobre un pavimento existente, con un espesor total no inferior a 25 mm. El recargo asfáltico incluye generalmente una capa de nivelación, para corregir la sección transversal del pavimento antiguo, seguida de una o varias capas de espesor uniforme hasta obtener el espesor total necesario. Cuando el recargo se aplica sobre pavimentos de tipo rígido el

espesor no debe ser inferior a **75 mm** para reducir al mínimo la transmisión de grietas y juntas a través de las capas asfálticas. Las condiciones en que se encuentre el pavimento antiguo y el tráfico que haya de soportar, determinan en cada caso el espesor necesario.

**2.53 RIEGO EN NEGRO.** Tratamiento asfáltico superficial muy ligero que no se cubre de áridos.

**2.54 SELLADO ASFALTICO.** Tratamiento asfáltico superficial de pequeño espesor aplicado a un pavimento existente.

**2.55 SHEET ASPHALT.** Mezcla en caliente de betún asfáltico, arena limpia bien graduada de partículas angulosas y filler mineral. Normalmente sólo se emplea en capas de superficie, extendidas usualmente sobre una carga de enlace o de nivelación.

**2.56 SHEET ASPHALT CON PIEDRA.** Sheet asphalt que contiene hasta el **25 %** de áridos gruesos.

**2.57 SUBBASE.** Capa de la estructura del pavimento asfáltico situada inmediatamente bajo la capa de base. Si el terreno de base es de calidad adecuada puede servir como subbase.

**2.58 TERRENO DE BASE.** Capa superior de material colocado en los terraplenes, o no movido de las trincheras, en la normal preparación de la explanación. Se emplea como cimentación para la estructura del pavimento asfáltico. Sin embargo, si el terreno de base es de alto poder portante y está adecuadamente compactado, puede sustituir a las capas de terreno mejorado, subbase o incluso de base de la estructura del pavimento asfáltico según su calidad. El terreno de base se indica también a veces con la expresión «terreno de cimentación».

**2.59 TERRENO MEJORADO.** Cualquier capa o capas de material seleccionado o mejorado situadas entre el terreno de base y la subbase. El terreno mejorado puede componerse de dos o más capas de materiales de diferente calidad.

**2.60 TRATAMIENTOS ASFALTICOS SUPERFICIALES.** Son aplicaciones a cualquier tipo de superficie de materiales asfálticos, con o sin cubrición de áridos minerales, que producen un incremento en el espesor inferior a **25 mm**.

# Capítulo 111

## ENSAYOS

### *A) Materiales asfálticos*

3.01 GENERALIDADES. El asfalto se presenta en una amplia variedad de tipos y grados normalizados (véase la fig. I-1). En el capítulo IV se dan las especificaciones normalizadas para los tipos y grados de asfaltos empleados en construcción de pavimentos y otras aplicaciones (véanse las tablas IV-1, 2, 3, 4, 5). En los siguientes párrafos se describen brevemente los ensayos de laboratorio necesarios para determinar si los asfaltos cumplen estas especificaciones, y se hace referencia a los métodos de ensayo normalizados. Para mayor comodidad, los ensayos aplicables a cada tipo de asfalto se han agrupado y aparecen en el orden en que se citan en las tablas de características a que acabamos de referirnos.

### **Betún asfáltico**

3.92 PENETRACION. El ensayo de penetración determina la dureza o consistencia relativa de un betún asfáltico, midiendo la distancia que una aguja normalizada penetra verticalmente en una muestra del asfalto en condiciones especificadas de temperatura, carga y tiempo. Cuando no se mencionan específicamente otras condiciones, se entiende que la medida de la penetración se hace a 25 °C, que la aguja está cargada con 100 g y que la carga se aplica durante 5 s (véase la fig. III-1). La penetración determinada en estas condiciones se llama penetración normal. La unidad penetración es la décima de milímetro. Es evidente que cuanto más blando sea el betún asfáltico mayor será la cifra que indique su penetración.

Los betunes asfálticos se clasifican en grados según su dureza o consistencia por medio de la penetración. El Instituto del Asfalto ha adoptado cuatro grados de

betún asfáltico para pavimentación con penetraciones comprendidas dentro de los márgenes siguientes: 60-70, 85-100, 120-150 y 200-300. Además, el Instituto tiene especificaciones para un betún asfáltico de penetración comprendida en el margen 40-50, que se usa en aplicaciones especiales e industriales. Los aparatos y procedimientos para realizar el ensayo de penetración se describen en el Método AASHTO T49 y en el ASTM D5. ←

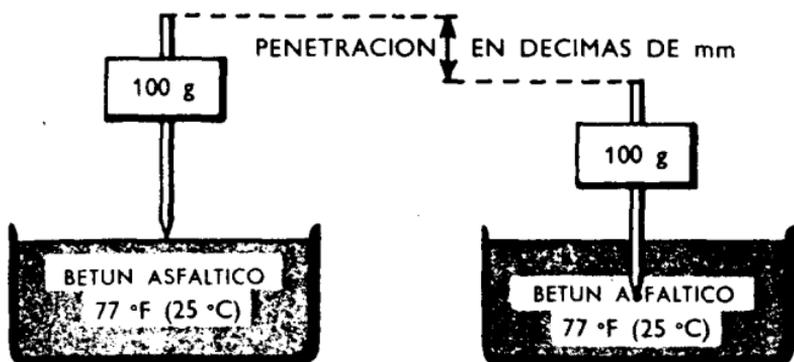


Figura III-1. Ensayo normal de penetración.

→ 3.03 VISCOSIDAD. La finalidad del ensayo de viscosidad es determinar el estado de fluidez de los asfaltos a las temperaturas que se emplean durante su aplicación. La viscosidad o consistencia del betún asfáltico se mide en el ensayo de viscosidad Saybolt-Furol o en el ensayo de viscosidad cinemática.

En el ensayo Saybolt-Furol se emplea un viscosímetro Saybolt con orificio Furol. Se coloca en un tubo normalizado cerrado con un tapón de corcho una cantidad especificada de betún asfáltico. Como las temperaturas a que se determina la viscosidad de los betunes asfálticos son frecuentemente superiores a los 100°C, el baño de temperatura constante del viscosímetro se llena con algún tipo de aceite. Cuando el asfalto ha alcanzado una temperatura establecida, se quita el tapón y se mide el tiempo necesario en segundos para que pasen a través del orificio Furol 60 ml del material.

Cuanto más viscosos son los materiales más tiempo es necesario para que pasen a través del orificio. La figura 111-3 representa el procedimiento de ensayo. Los valores obtenidos se expresan como segundos Saybolt-Furol (SSF). Los aparatos y procedimiento para la realización de este ensayo se describen detalladamente en el método ASTM E102.

La viscosidad cinemática del betún asfáltico se mide

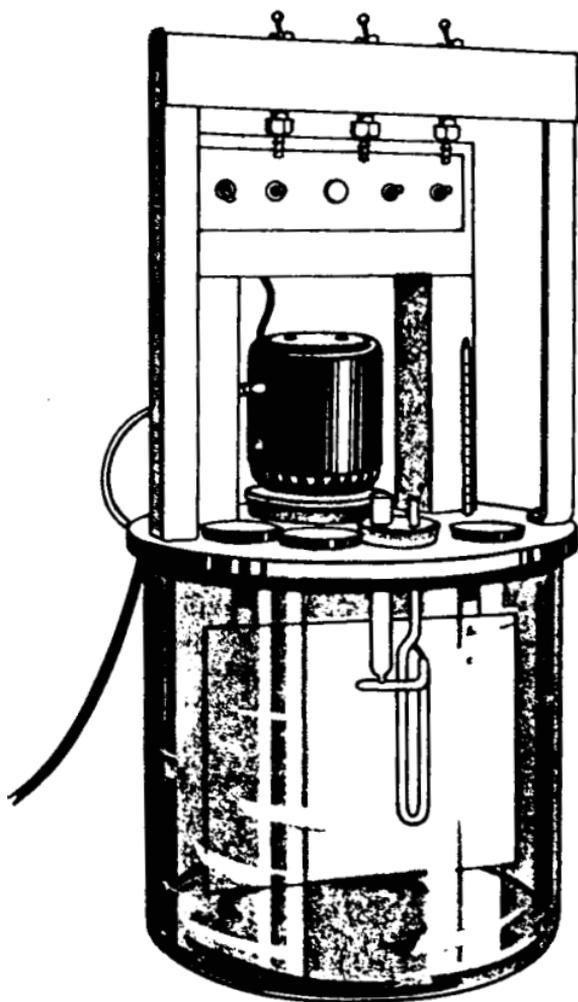


Figura III-2. Ensayo cinemático de viscosidad capilar.

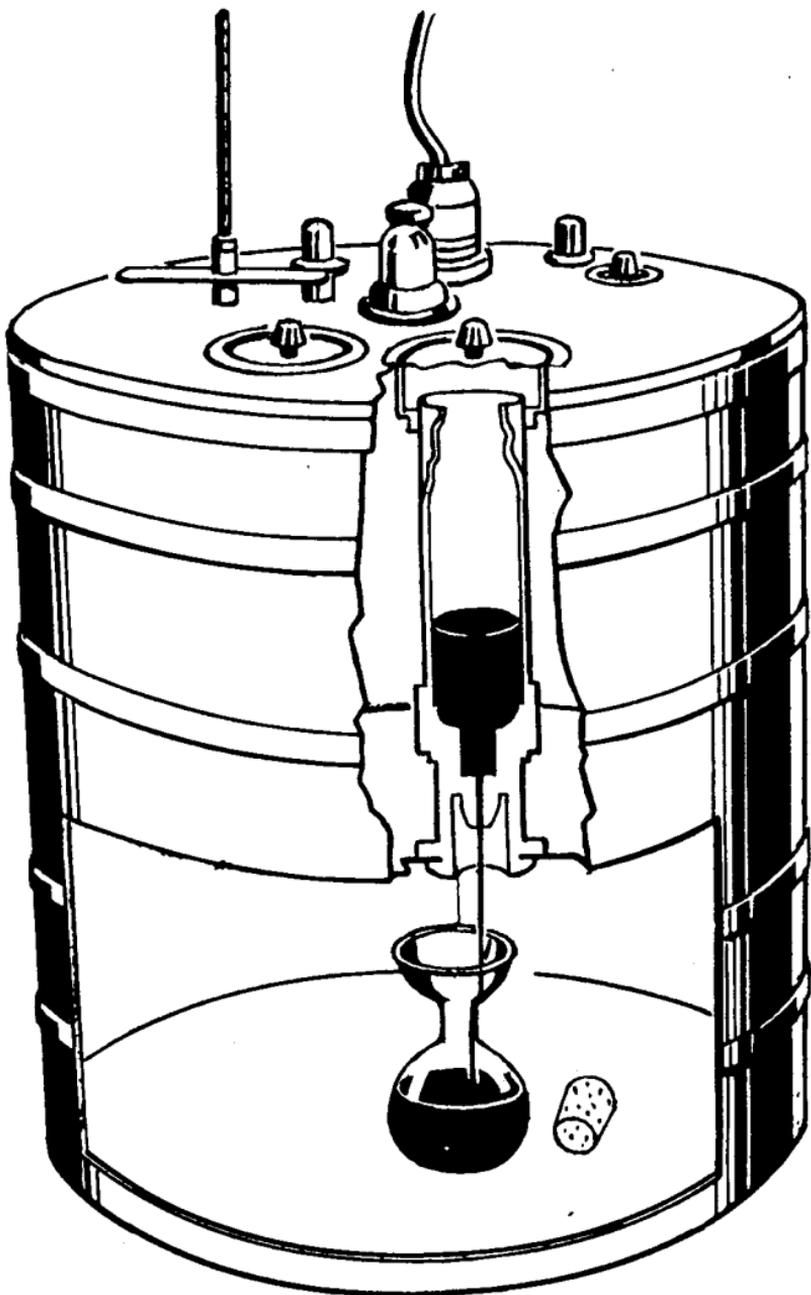


Figura III-3. Determinación de la viscosidad Saybolt-Furol.

ASTM. Como consecuencia de la coincidencia del ensayo y de la mayor exactitud de los resultados, hay una reciente tendencia a medir la viscosidad cinemática de los betunes asfálticos y de los asfaltos fluidificados. Para este ensayo son necesarios, como consecuencia de la amplia gama de viscosidades de los asfaltos, varios viscosímetros calibrados que difieren entre sí en el tamaño del tubo capilar. La base de este ensayo es la medida del tiempo necesario para que fluyan un volumen constante de material bajo condiciones de ensayo, como temperatura y altura de líquido, rígidamente controladas. Mediante el tiempo medido, en segundos, y la constante de calibración del viscosímetro, es posible calcular la viscosidad cinemática del material en la unidad fundamental, centistokes.

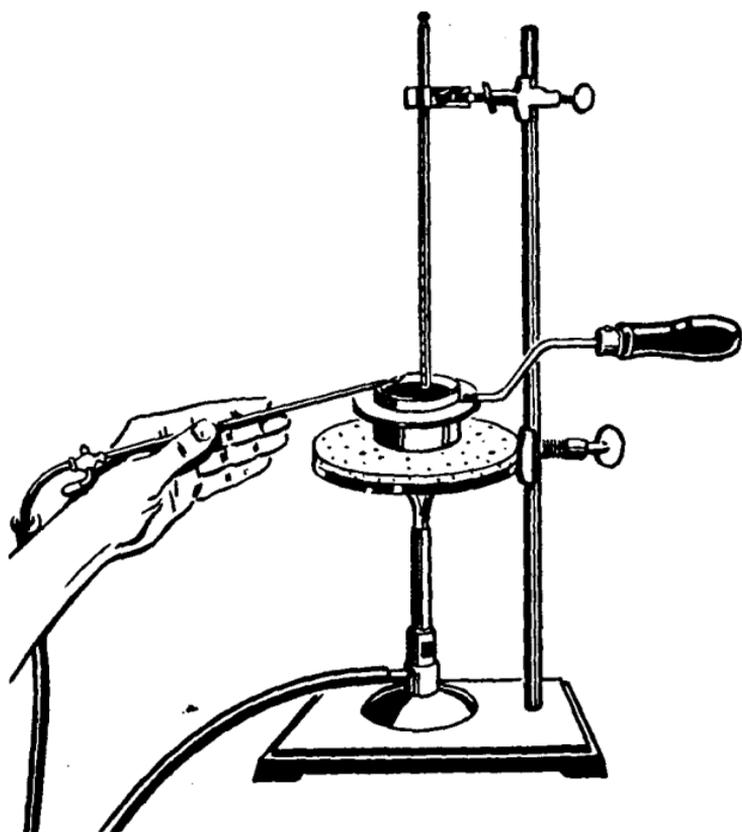
El procedimiento de ensayo, los aparatos necesarios y el procedimiento de calibración para el viscosímetro se describen en el método ASTM D445. En los apéndices D, H y G del mismo se describen procedimientos de ensayo empleando tres tipos diferentes de viscosímetros de tubo capilar.

Los factores de conversión para transformar las viscosidades cinemáticas en segundos Saybolt-Furol dentro de determinados márgenes de temperaturas están contenidos en la publicación ASTM «Viscosity Tables for Kinematic Viscosity Conversions and Viscosity Index Calculations».

**3.04 PUNTO DE INFLAMACION.** El punto de inflamación del betún asfáltico indica la temperatura a que puede calentarse el material sin peligro de inflamación en presencia de llama libre. Esta temperatura es usualmente muy inferior a aquella a la que el material ardería. Esta última temperatura se llama punto de fuego, pero rara vez se incluye en las especificaciones de los betunes asfálticos.

El punto de inflamación de un betún asfáltico se mide por el ensayo en vaso abierto Cleveland según condiciones normalizadas prescritas en los métodos **AASHTO T.18** y **ASTM D92**. En la figura III-4 se representa esquemáticamente el ensayo. Un vaso abierto de latón se llena parcialmente con betún asfáltico y se calienta a una velocidad establecida. Se hace pasar

periódicamente sobre la superficie de la muestra una pequeña llama, y se define como punto de llama la temperatura a la que se han desprendido vapores suficientes para producir una llamarada repentina.



**Figura III-4. Determinación del punto de inflamación en vaso abierto Cleveland.**

A veces se emplea para los betunes asfálticos el punto de inflamación Pensky-Martens. Se emplea con los mismos fines que el ensayo en vaso abierto Cleveland que acabamos de describir. Sin embargo, el material necesario y el procedimiento de ensayo difieren esencialmente en que se prevé la continua agitación de la

muestra durante el período de ensayo. El material y procedimiento de aplicación de este ensayo se describen en el método AASHO T33 y ASTM D93. La figura III-5 representa el aparato empleado en este ensayo.

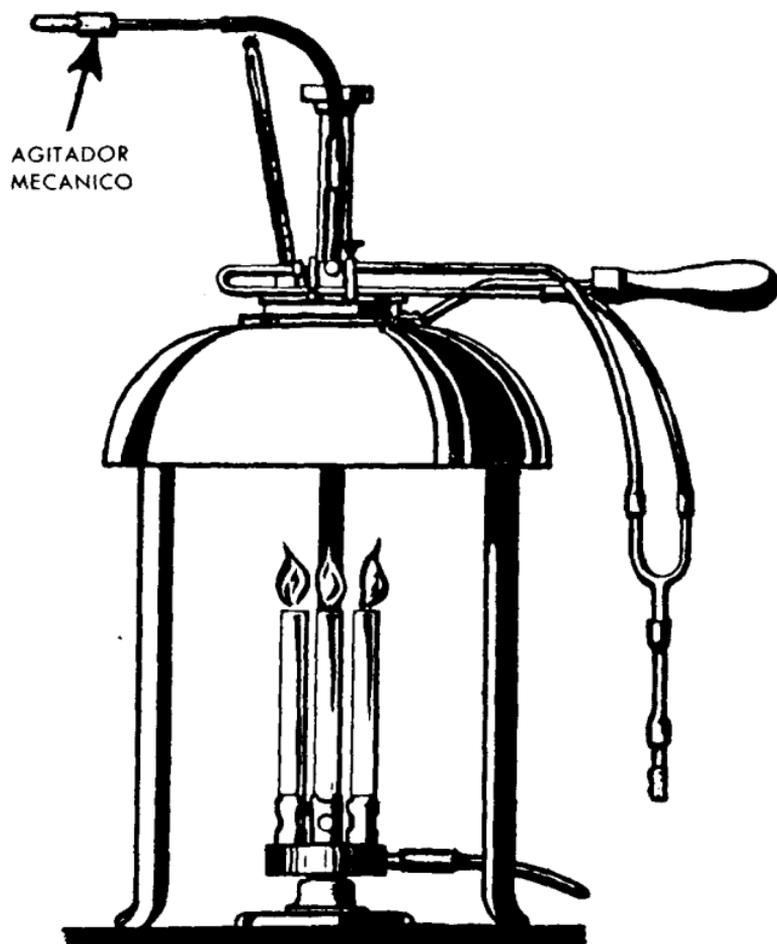


Figura III-5. Determinación del punto de inflamación Pensky-Martens.

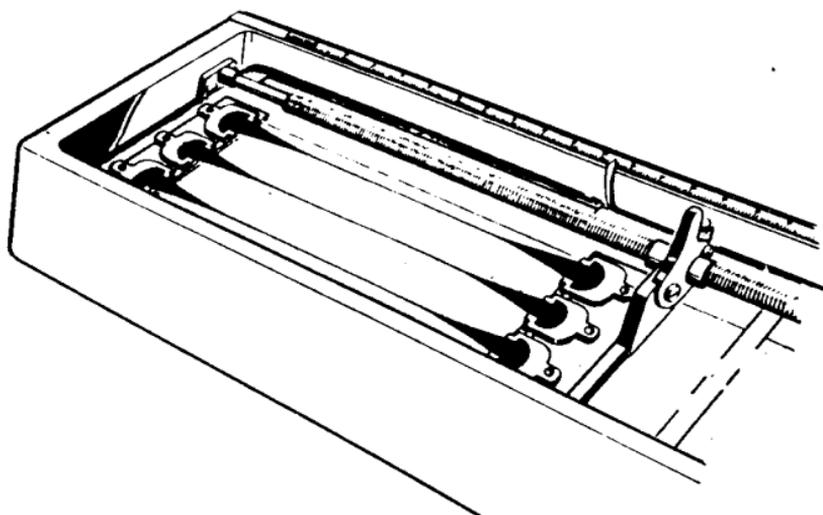
3.05 ENSAYO EN ESTUFA EN PELICULA DELGADA. El ensayo en estufa en película delgada se emplea para prever el endurecimiento que puede esperarse se produzca en un betún asfáltico durante las

operaciones de mezclado en la instalación mezcladora. Esta tendencia al endurecimiento se mide por ensayos de penetración realizados antes y después del tratamiento en estufa. Se expresa la penetración del betún asfáltico después del tratamiento en la estufa como porcentaje de la penetración antes del tratamiento. Las especificaciones prescriben valores mínimos para el porcentaje de penetración retenido (véase la tabla IV-1), que varían para los diferentes tipos de betún asfáltico. El Instituto del Asfalto considera que el cambio en peso del betún asfáltico durante el ensayo no tiene gran trascendencia, y por ello no lo incluye en sus especificaciones.

Este ensayo se realiza colocando una muestra de 50 g de betún asfáltico en un recipiente cilíndrico de 13,97 cm (5,5'') de diámetro interior y 9,525 mm (3/8'') de profundidad, con fondo plano. Así se obtiene una probeta de asfalto de un espesor aproximado de 3 mm. El recipiente con la probeta se coloca en un soporte giratorio en un horno bien ventilado y se mantiene una temperatura de 163 °C durante 5 h. Después se vierte el betún asfáltico en un recipiente normal de los empleados en el ensayo de penetración. El procedimiento a seguir en la realización del ensayo en horno en película delgada se explica con detalle en el método AASHO T179.

El ensayo en horno en película delgada ha sustituido al ensayo de pérdida por calentamiento (método AASHO T47 y ASTM D1754) en las especificaciones de muchos Organismos, entre los que se incluye el Instituto del Asfalto.

**3.06 DUCTILIDAD.** La ductilidad es una característica de los betunes asfálticos importante en muchas aplicaciones. La presencia o ausencia de ductilidad, sin embargo, tiene usualmente mayor importancia que el grado de ductilidad existente. Los betunes asfálticos dúctiles tienen normalmente mejores propiedades aglomerantes que aquellos a los que les falta esta característica. Por otra parte, los betunes asfálticos con una ductilidad muy elevada son usualmente más susceptibles a los cambios de temperatura. En algunas aplicaciones, como las mezclas para pavimentación,



**Figura III-6. Ensayo de ductilidad.**

tienen gran importancia la ductilidad y el poder aglomerante, mientras que en otras, como la inyección bajo losas de hormigón y el relleno de grietas, la propiedad más esencial es una baja susceptibilidad a los cambios de temperatura.

La ductilidad del betún asfáltico se mide en un ensayo de extensión del tipo representado en la figura III-6. El ensayo consiste en moldear en condiciones y con dimensiones normalizadas una probeta de betún asfáltico que después se somete a la temperatura normalizada de ensayo y se somete a alargamiento con una velocidad especificada hasta que el hilo que une los dos extremos rompe. La longitud (en cm) a la que el hilo de material se rompe define la ductilidad. Las condiciones normalizadas para este ensayo se determinan detalladamente en los métodos AASHO T51 y ASTM D113.

**3.07 SOLUBILIDAD.** El ensayo de solubilidad determina el contenido en betún del betún asfáltico. La porción de betún asfáltico soluble en sulfuro de carbono está constituida por los elementos aglomerantes activos.

La mayor parte de los betunes asfálticos se disuelven en igual proporción en sulfuro de carbono y en tetracloruro de carbono. Como el tetracloruro de carbono

no es inflamable, es el disolvente preferido en la mayor parte de los casos.

La determinación de la **solubilidad** es sencillamente un proceso de disolución del betún asfáltico en un disolvente separando la materia insoluble. El material y procedimiento necesarios para la realización del ensayo se describen detalladamente en los métodos AAS-HO T44 y ASTM D4.

**3.08 PESO ESPECIFICO.** Aunque normalmente no se especifica, es deseable conocer el peso específico del betún asfáltico que se emplea. Este conocimiento es útil para hacer las correcciones de volumen cuando éste se mide a temperaturas elevadas. Se emplea también como uno de los factores para la determinación de los huecos en las mezclas asfálticas para pavimentación compactadas. El peso específico es la relación del peso de un volumen determinado del material al peso de igual volumen de agua, estando ambos materiales a temperaturas especificadas. Así, un peso específico de 1,05 significa que el material pesa 1,05 veces lo que el agua a la temperatura fijada. Todos los líquidos y la mayor parte de los sólidos sufren cambios de volumen cuando varía la temperatura. Se expansionan cuando se calientan y se contraen cuando se enfrían. Para fijar condiciones determinadas aplicables a un valor dado del peso específico, debe indicarse la temperatura del material y la del agua. Así, por ejemplo, P. E. a 15/15 °C indica que la determinación se ha hecho con ambos materiales a una temperatura de 15 °C. El peso específico del betún asfáltico se determina normalmente por el método del pignómetro, descrito en los métodos AASHO T43 y ASTM D70.

**3.09 PUNTO DE REBLANDECIMIENTO.** Los asfaltos de diferentes tipos reblandecen a temperaturas diferentes. El punto de reblandecimiento se determina usualmente por el método de ensayo arbitrario de anillo y bola. Aunque este ensayo no se incluye en las especificaciones para los asfaltos de pavimentación, se emplea frecuentemente para caracterizar los materiales más duros empleados en otras aplicaciones e indica la temperatura a que estos asfaltos se hacen fluidos. Consiste en llenar de asfalto fundido un anillo de latón de

dimensiones normalizadas. La muestra así preparada se suspende en un baño de agua y sobre el centro de la muestra se sitúa una bola de acero de dimensiones y peso especificados. A continuación se calienta el baño a una velocidad determinada y se anota la temperatura en el momento en que la bola de acero toca el fondo del vaso de cristal. Esta temperatura se llama punto de reblandecimiento del asfalto.

Los procedimientos y aparatos necesarios para la realización del ensayo se describen con detalle en los métodos AASHO T53 y ASTM D36.

### **Asfalto líquido de curado rápido y medio**

**3.10 PUNTO DE INFLAMACION.** El punto de inflamación de los asfaltos fluidificados se mide mediante el ensayo de punto de inflamación en vaso abierto. La finalidad del ensayo es la misma indicada para los betunes asfálticos. El aparato se modifica para hacer posible el calentamiento indirecto del asfalto fluidificado (fig. 111-8). Los aparatos y procedimiento para la realización de este ensayo se describen en los métodos AASHO T79 y ASTM D1310.

**3.11 VISCOSIDAD.** La consistencia o resistencia a fluir de los asfaltos fluidificados o asfaltos líquidos de curado lento se mide normalmente por el ensayo de viscosidad Saybolt-Furol, en forma esencialmente idéntica a la descrita para los betunes asfálticos. Como las temperaturas de ensayo empleadas en los asfaltos líquidos son generalmente más bajas que en los betunes asfálticos, se emplea normalmente agua como fluido de calentamiento para el baño termostático. Los aparatos y procedimiento para la realización de este ensayo se describen con detalle en los métodos AASHO T201 y ASTM D2170.

Lo mismo que en el caso de los betunes asfálticos, existe cierta tendencia a medir la viscosidad en unidades fundamentales (centistokes) con los viscosímetros de flujo en tubo capilar de cristal que se describieron para los betunes asfálticos.

En la figura 111-7 se indica la amplia gama de viscosidades de los asfaltos fluidificados y de los asfaltos

líquidos de curado lento (SC), que se discuten **más** adelante, a la misma temperatura (60°C). Como consecuencia de la amplitud de este campo de variación, las especificaciones del Instituto del Asfalto exigen que las determinaciones de la viscosidad de los diferentes grados se realicen a distintas temperaturas (véanse las tablas IV-2, 3 y 4), como se indica a continuación:

**RC0, MCO, SC0:** Viscosidad Furol a 25 °C.

**RC1, MC1, SC1:** Viscosidad Furol a 50 °C.

**RC2, 3, MC2, 3, SC2, 3:** Viscosidad Furol a 60 °C.

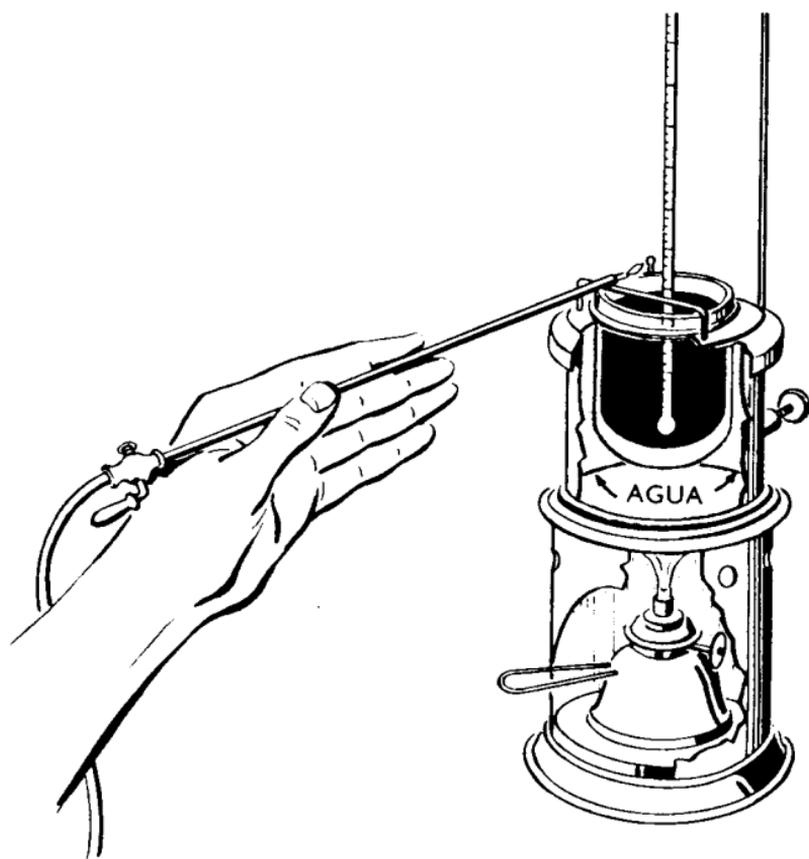
**RC4, 5, NC4, 5, SC4, 5:** Viscosidad Furol a 82 °C.

VISCOSIDAD O SAYBOL FUROL APROXIMA A 60 °C	15 a 30	RC-0	MC-0	SC-0
	40 a 80	RC-1	MC-1	SC-1
	100 a 200	RC-2	MC-2	SC-2
	250 a 500	RC-3	MC-3	SC-3
	600 a 1200	RC-4	MC-4	SC-4
	1500 a 3000	RC-5	MC-5	SC-5

**Figura III-7. Comparación de las viscosidades de los materiales asfálticos líquidos a 60 °C.**

**3.12 DESTILACION.** El ensayo de destilación se emplea para determinar las proporciones relativas de betún asfáltico y disolventes presentes en el asfalto fluidificado. Se emplea también para medir las canti-

dades de disolvente que destilan a diversas temperaturas, que indican las características de evaporación del disolvente. Estas, a su vez, indican la velocidad a que el material curará después de su aplicación. El asfalto recuperado en el ensayo puede emplearse para realizar los ensayos descritos al hablar de betunes asfálticos.

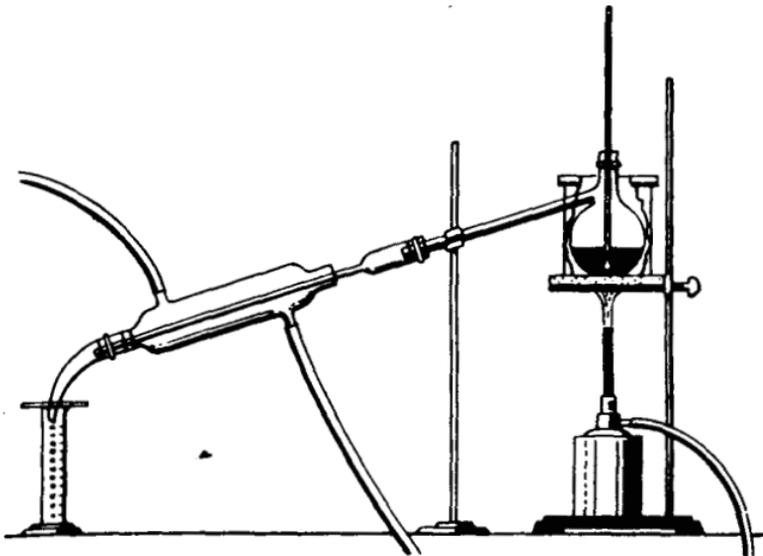


**Figura III-8. Determinación del punto de inflamación en vaso abierto (asfalto fluidificado).**

El ensayo se realiza colocando una cantidad especificada de asfalto fluidificado en un matraz de destilación conectado a un condensador. El asfalto fluidificado se calienta gradualmente hasta una temperatura especificada y se anota la cantidad de disolvente destilada a diversas temperaturas. Cuando se alcanza la

temperatura de 360 °C se mide la cantidad de asfalto restante y se expresa como porcentaje en volumen de la muestra original. Los procedimientos y aparatos necesarios para la realización del ensayo de destilación sobre los asfaltos fluidificados se detallan en los métodos AASHO T78 y ASTM D402. El ensayo se representa esquemáticamente en la figura III-9.

**3.13 ENSAYOS SOBRE EL RESIDUO DE DESTILACION.** Normalmente se determinan la penetración, ductilidad y solubilidad del asfalto residuo del ensayo de destilación (véase 3.12).



**Figura III-9. Ensayo de destilación.**

**3.14 PESO ESPECIFICO.** Aunque no se especifica normalmente, es deseable conocer el peso específico de los asfaltos fluidificados empleados. Este conocimiento puede servir para hacer las correcciones de volumen cuando se miden volúmenes a temperaturas elevadas. El peso específico de los asfaltos fluidificados se determina normalmente por el método del pignómetro descrito en los métodos AASHO T43 y ASTM D70.

## **Asfalto liquido de curado lento (SC)**

3.15 PUNTO DE INFLAMACION. Los aparatos, procedimiento y finalidad de este ensayo son los indicados para los betunes asfálticos.

3.16 VISCOSIDAD. Los aparatos, procedimiento y finalidad de este ensayo son los descritos para los asfaltos fluidificados.

3.17 CONTENIDO DE HUMEDAD. Se coloca en una retorta de metal un volumen medido de asfalto que se mezcla perfectamente con un disolvente de tipo nafta. La retorta está provista de un condensador de reflujo que descarga en un colector graduado. Se aplica calor a la retorta y el agua contenida en la muestra se recoge en el colector. El volumen de agua se mide y expresa en porcentaje en volumen de la mezcla original. Los aparatos y procedimiento para la realización de este ensayo se describen con detalle en los métodos AASHO T55 y ASTM D95.

3.18 DESTILACION. Los aparatos, procedimiento y finalidad de este ensayo son los mismos descritos para los asfaltos fluidificados, salvo que solamente se mide el disolvente destilado a 360 °C y no a diversas temperaturas, como para los asfaltos fluidificados. La razón de esta diferencia es que el disolvente contenido en los asfaltos líquidos de tipo SC es de evaporación lenta y no se pretende que estos productos curen como los asfaltos fluidificados.

3.19 FLOTADOR. El ensayo del flotador se hace sobre el residuo de destilación de los asfaltos líquidos de tipo SC. Este ensayo es un ensayo de viscosidad modificado, y se emplea porque el residuo es usualmente demasiado blando para el ensayo de penetración o de volumen demasiado pequeño para la determinación de la viscosidad Saybolt-Furol. Su finalidad, por consiguiente, se reduce a dar una indicación de la consistencia de los productos con estas limitaciones.

En el ensayo, representado esquemáticamente en la figura III-10, se solidifica un tapón del residuo asfáltico en el orificio del fondo del flotador por enfriamiento a 5 °C. Después se coloca el flotador en agua a 50 °C y se determina el tiempo necesario para que el

agua pase a través del tapón. En las especificaciones se fijan los valores que deben obtenerse en los distintos grados de asfalto líquido de tipo SC. El ensayo se describe en los métodos AASHO T50 y ASTM Di 39.

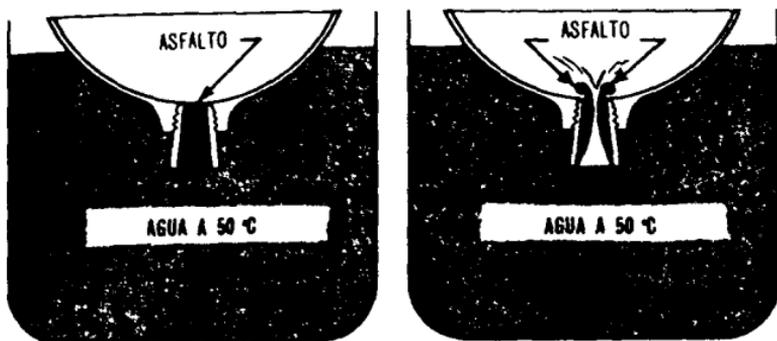


Figura iii-10. Ensayo del flotador.

**3.20 ASFALTO RESIDUAL DE PENETRACION 100.** Este ensayo se hace sobre productos de tipo SC. Como la velocidad de curado de un material de tipo SC es muy lenta, puede alcanzar durante su vida una penetración de 100 o no alcanzarla. El principal valor del ensayo es que da un residuo sobre el que pueden realizarse los ensayos normalizados para betunes asfálticos.

Se calienta una muestra de asfalto líquido SC a una temperatura de 250-260 °C, manteniéndola a esa temperatura hasta que pierde suficientes aceites para alcanzar una penetración de 100. Después se determina el porcentaje en peso de betún asfáltico restante. Las especificaciones prescriben proporciones mínimas de este residuo para cada grado de asfalto líquido SC. El procedimiento de ensayo se describe en los métodos AASHO T56 y ASTM D243.

**3.21 DUCTILIDAD.** Normalmente se determina en los asfaltos líquidos de curado lento la ductilidad del asfalto residual de Penetración 100.

**3.22 SOLUBILIDAD.** Los aparatos, procedimiento y finalidad del ensayo de solubilidad para asfal-

tos líquidos de tipo SC son los mismos descritos para los betunes asfálticos.

**3.23 PESO ESPECIFICO.** Los procedimientos y finalidad de la determinación del peso específico en los asfaltos líquidos de curado lento son los mismos descritos para los asfaltos fluidificados.

### **Emulsión asfáltica**

**3.24 VISCOSIDAD.** Los aparatos, procedimiento y finalidad del ensayo de viscosidad de los asfaltos emulsificados o emulsiones asfálticas son esencialmente los mismos descritos para los asfaltos fluidificados. Los aparatos y procedimiento se describen en los métodos AASHO T59 y ASTM D244.

**3.25 RESIDUO DE DESTILACION.** En las emulsiones asfálticas se emplea el ensayo de destilación para determinar las proporciones de asfalto y agua y obtener asfalto puro para su ensayo. El procedimiento de ensayo es esencialmente el mismo descrito para los asfaltos fluidificados en la figura 111-9, salvo que se emplean una retorta de hierro y quemadores anulares en lugar de matraz de vidrio y mechero Bunsen. Los aparatos y procedimientos para la realización del ensayo se describen en los métodos AASHO TS9 y ASTM D244.

**3.26 SEDIMENTACION.** El ensayo de sedimentación determina la tendencia a sedimentar de los glóbulos de asfalto durante el almacenaje de una emulsión asfáltica. Se deja en reposo, durante cinco días, una muestra de emulsión asfáltica en un cilindro graduado, después de lo cual se determina la diferencia en contenido de asfalto entre el fondo y la superficie de la muestra. El procedimiento y material necesario se describen en los métodos AASHO T59 y ASTM D244.

**3.27 DEMULSIBILIDAD.** El ensayo de demulsibilidad da una indicación de la velocidad relativa a que los glóbulos coloidales de asfalto de las emulsiones de rotura rápida y media se unirán entre sí (o la emulsión romperá) cuando la emulsión se extienda en película delgada sobre el terreno o los áridos. El cloruro calcico coagula o floclula los diminutos glóbulos de

solución y la cantidad mínima de asfalto que debe quedar en el tamiz. En este tipo de emulsiones es necesario un alto grado de demulsibilidad, ya que se espera de ellas que rompan casi inmediatamente al contacto con los áridos a los que se aplican.

El ensayo de las emulsiones de rotura media (**MS**) exige el empleo de una solución de cloruro cálcico más

determina la cantidad de asfalto retenido. El procedimiento y aparatos necesarios para la realización de este ensayo se describen en los métodos AASHO **T59** y ASTM D244.

**3.29 MEZCLADO CON CEMENTO.** El ensayo de mezclado con cemento desempeña en las emulsiones asfálticas de rotura lenta (**SS**) un papel análogo al del ensayo de demulsibilidad en los Upos de rotura rápida o media. Los tipos **SS** se destinan al empleo con materiales finos y áridos con polvo, y normalmente no son afectados por las soluciones de cloruro cálcico empleadas en el ensayo de demulsibilidad.

En el ensayo de mezclado con cemento se mezcla una muestra de emulsión asfáltica con cemento Portland de gran finura de molido, y la mezcla se hace pasar con la ayuda del agua, a través de un tamiz número **14**. Las especificaciones limitan usualmente la cantidad de material que puede admitirse quede retenida en el tamiz. Los materiales y procedimiento para la realización de este ensayo se describen en los métodos AASHO T29 y ASTM D244.

**3.30 ENSAYOS SOBRE EL RESIDUO.** Usualmente se realizan sobre el residuo de destilación los ensayos de penetración, solubilidad y ductilidad correspondientes a los betunes asfálticos.

**3.31 PESO ESPECIFICO.** La finalidad y procedimientos para realizar el ensayo de peso específico en los asfaltos emulsificados son los mismos descritos para los asfaltos fluidificados.

## ***B) Áridos***

**3.32 GENERALIDADES.** Los áridos se emplean, combinados con asfaltos de diversos tipos, para preparar mezclas de utilidades muy diversas. Como los áridos constituyen normalmente el 90 % en peso o más de estas mezclas sus propiedades tienen gran influencia sobre las del producto terminado. Los áridos más empleados son piedra y escoria partidas, grava machacada o natural, arena y filler mineral. En la construcción de pavimentos asfálticos el control de las pro-

pedades de los áridos es tan importante como el de las **del** asfalto. En los siguientes párrafos se describen brevemente los ensayos normalmente realizados sobre los áridos, y se hace referencia a los procedimientos normalizados para la realización de estos ensayos.

Para obtener muestras representativas de los áridos deben emplearse procedimientos adecuados de toma de muestras. La toma de muestras se describe con toda extensión en el *Asphalt Plant Manual*, Asphalt Institute Manual Series número 3. Los métodos AASHTO T2 y ASTM D75 especifican procedimientos normalizados para la toma de muestras de áridos.

**3.33 TAMIZADO.** Hay dos métodos para determinar las proporciones relativas de los diversos tamaños de partículas en unos áridos: tamizado por vía seca y tamizado por vía húmeda.

- a) *Tamizado por vía seca.* Se agita una cantidad pesada de áridos perfectamente secos sobre una serie de tamices con aberturas cuadradas. Los tamices están unidos de forma que el de mayor abertura está en la parte superior y los de aberturas sucesivamente más pequeñas están situados debajo. Bajo el último tamiz se coloca una bandeja que recoge todo el material que pasa a través de él. La agitación se aplica normalmente con aparatos automáticos.

Se determina el peso de material retenido en cada tamiz y se expresa en porcentaje del peso de la muestra original. Usualmente resulta conveniente anotar estos datos en un gráfico, como se indica en la figura III-11. En estos gráficos debe indicarse el porcentaje total, en peso, que pasa por cada tamiz. Las curvas así obtenidas son un cómodo instrumento que da rápidamente idea de las características granulométricas de los áridos.

Los tamices usados normalmente en las mezclas asfálticas para pavimentación son los de abertura cuadrada de 2 1/2, 2, 1 1/2, 1 3/4, 1 1/2 y 3/8 de pulgada y los de 4, 8, 16, 30, 50, 100 y 200 mallas por pulgada lineal. Para los elementos finos se emplean a veces tamices de 4, 10, 40, 80 y 200 mallas por pulgada lineal.

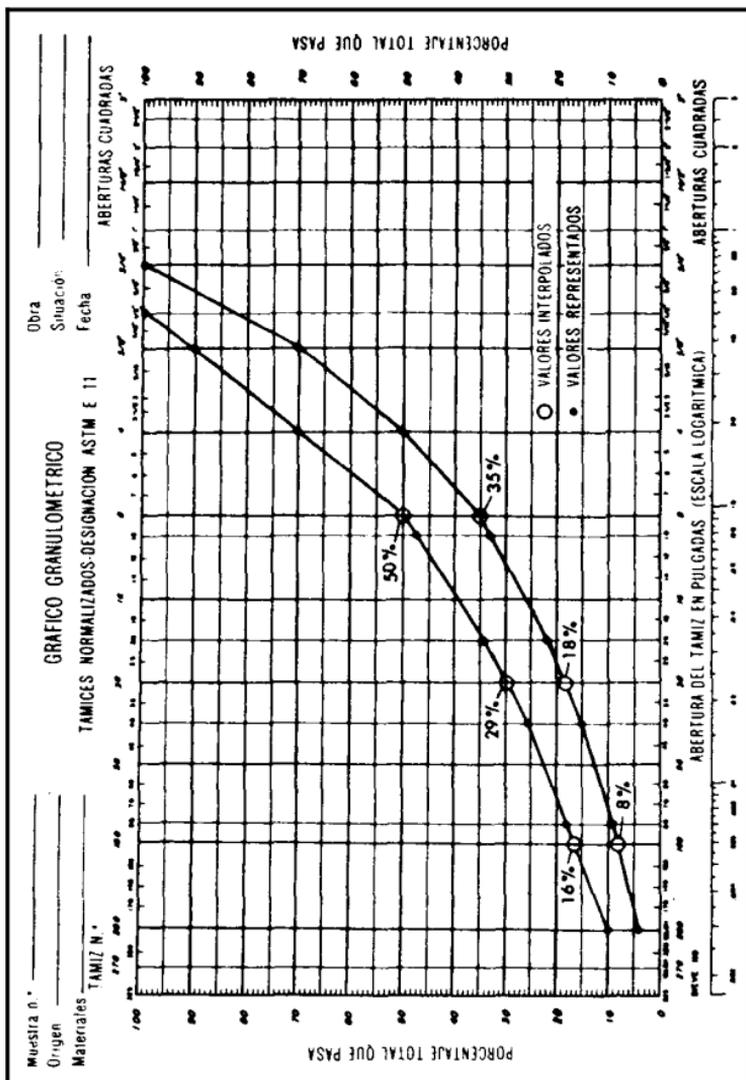


Figura III-11. Curvas granulométricas de los áridos.

Las especificaciones AASHO M92 y ASTM E11 fijan las características normalizadas de estos tamices. Los métodos de ensayo AASHO T27 y ASTM C136 indican procedimientos normalizados para realizar el análisis granulométrico por vía seca de los áridos gruesos y finos. Los procedimientos para la realización del análisis granulométrico del filler mineral se dan en los métodos AASHO T37 y ASTM D546.

- b) **Análisis granulométrico por vía húmeda.** Este método de ensayo da un procedimiento para determinar por vía húmeda la distribución de tamaños de los áridos finos y gruesos. Este procedimiento es deseable frecuentemente cuando los áridos contienen polvo extremadamente fino o arcilla que pueden pegarse a las partículas más gruesas. En estos casos los resultados obtenidos del análisis granulométrico por vía seca son evidentemente erróneos.

Para detalles de este ensayo véase la obra *Plant Inspector's Manual M. S. 3* del Asphalt Institute.

**3.34 EQUIVALENTE DE ARENA.** Este ensayo, desarrollado por el Departamento de Carreteras de California, indica la proporción relativa de polvo fino o materiales arcillosos perjudiciales contenidos en los áridos empleados en las mezclas asfálticas para pavimentación y en los suelos empleados en capas de base. El ensayo se aplica a la fracción que pasa por el tamiz número 4.

Se coloca una muestra del material en estudio en un cilindro graduado transparente que contiene una solución de cloruro cálcico, glicerina y formaldehído en agua. La muestra y la solución se agitan vigorosamente de una forma normalizada. Se emplea la misma solución para impulsar el material arcilloso hacia arriba, haciéndolo salir de la muestra a medida que se llena el cilindro, introduciéndola a presión en el fondo mediante un tubo delgado. Después de un período de sedimentación de 20 min se lee en la graduación del recipiente la altura máxima de la suspensión de arcilla. A continuación se introduce en el cilindro un disco pesado de metal que se hace bajar hasta que descansa sobre la parte superior de la arena limpia y se lee la altura de la superficie inferior del disco. Se llama equivalente de arena a la relación de la lectura correspondiente a la superficie superior de la arena a la correspondiente a la capa superior de la arcilla multiplicada por 100. Los aparatos y procedimiento para la realización de este ensayo se describen en el método AAS-HO T176.

**3.35 ABRASION (DESGASTE).** El ensayo de

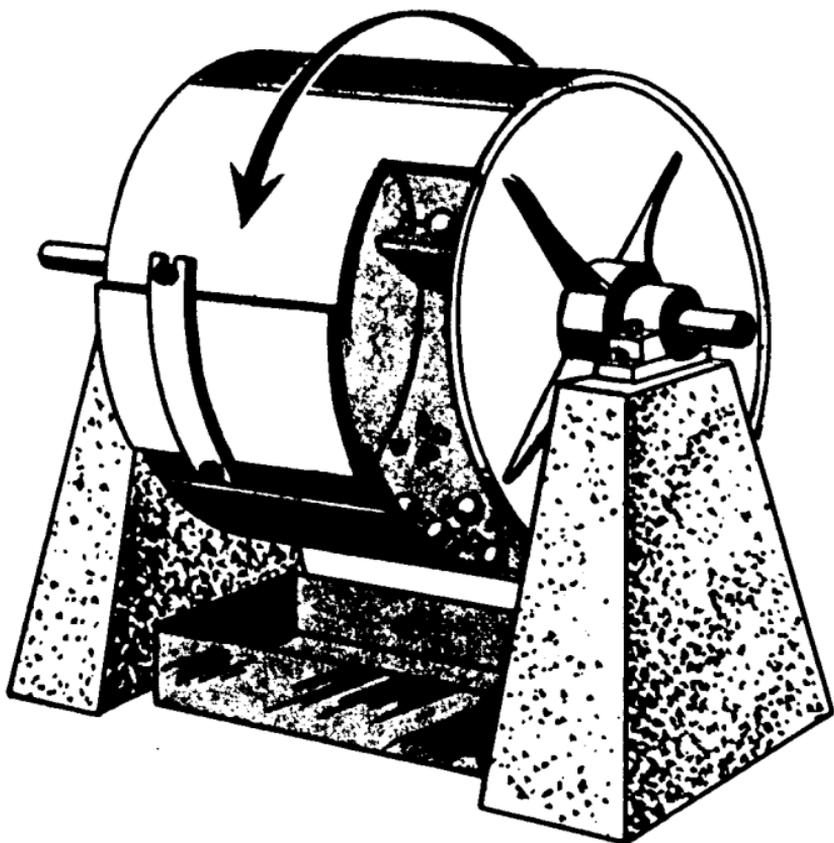


Figura 111-12. Ensayo Los Angeles.

abrazión de Los Angeles se emplea para medir la resistencia de los áridos al desgaste o a la abrasión'. La máquina de desgaste Los Angeles se representa esquemáticamente en la figura III-12. Se carga el tambor con una cantidad fija de áridos cuya granulometría es la que más se aproxima a la que se pretende usar de 7 granulometrías normalizadas, así como un peso normalizado de esferas de acero que han de actuar como carga abrasiva. A continuación se hace dar al tambor 500 vueltas, después de lo cual se extrae el material y se determina el porcentaje de material que pasa por el

---

<sup>1</sup> El porcentaje de desgaste medido por el ensayo de Los Angeles no tiene en general ninguna relación con el pulimento de los áridos bajo el desgaste del tráfico.

Nota: Aun hay varios organismos que emplean la máquina Deval para determinar la resistencia de los áridos a la abrasión. Véanse los métodos AASHO T3 y T4 y los ASTM D2 y D289.

tamiz numero 12, que se define como porcentaje de desgaste.

La elevada resistencia al desgaste indicada por un bajo porcentaje de pérdidas por abrasión es una característica deseable de los áridos que han de emplearse en la construcción de pavimentos asfálticos. La maquinaria y procedimientos para la realización de este ensayo se detallan en los métodos AASHO T96 y ASTM C131.

**3.36 ENSAYO DE RESISTENCIA A LOS SULFATOS.** El ensayo de resistencia a los sulfatos da una indicación de la resistencia de los áridos finos y gruesos a los agentes atmosféricos. El ensayo se realiza con áridos que no han dado buen resultado durante su empleo. Mide la resistencia de los áridos a la disgregación por soluciones saturadas de sulfato de sodio o magnesio.

El ensayo se hace sumergiendo recipientes con fracciones de tamaños clasificados de muestras de áridos en una solución saturada de sulfato de sodio o de magnesio. Los recipientes están contruidos de tal forma que permiten la libre entrada y salida de la solución en la masa de la muestra sin pérdida de áridos. Después de la inmersión se secan las muestras en estufa. Tras un número determinado de ciclos de inmersión y secado se determina por tamizado el porcentaje de pérdida de peso. Basándose en la granulometría de la muestra original se determinan los porcentajes de pérdida de peso para cada fracción granulométrica. El total de estos valores es el porcentaje de pérdida resultado del ensayo. La maquinaria y procedimientos para la realización de este ensayo se detallan en los métodos AASHO T104 y ASTM C88.

**3.37 PESO ESPECIFICO.** Usualmente se determina el peso específico de los áridos por dos razones:

1. Para permitir el cálculo de los huecos de las mezclas asfálticas compactadas.
2. Para corregir las cantidades de áridos empleadas en una mezcla para pavimentación cuando su peso específico varía apreciablemente.

Hay tres tipos ampliamente usados de peso específico de los áridos:

1. Peso específico aparente.
2. Peso específico aparente con áridos saturados.
3. Peso específico efectivo.

La designación **AASHO M132** define el peso específico aparente como sigue: «Relación del peso en aire de un volumen dado de la porción impermeable de un material permeable (esto es, la materia sólida, incluyendo sus huecos o poros impermeables) a una temperatura determinada, al peso en aire del mismo volumen de agua destilada a temperatura determinada.»)

Define el peso específico aparente con áridos saturados como sigue: «Relación del peso en aire de un volumen dado de un material permeable (incluyendo tanto los huecos permeables como los impermeables propios del material) a una temperatura dada, al peso en aire de igual volumen de agua destilada a temperatura dada.»

Como se ve por estas definiciones, la diferencia entre el peso específico aparente y el peso específico aparente con áridos saturados, indica la proporción de huecos permeables al agua de los áridos. Como el volumen medido para determinar el peso específico aparente con áridos saturados incluye los huecos impermeables, mientras que el volumen para el peso específico aparente excluye estos huecos, es evidente que el volumen correspondiente al peso específico aparente es más pequeño que el empleado para el peso específico aparente con áridos saturados, si los áridos tienen huecos permeables. Si no existen tales huecos, ambos volúmenes son iguales.

Como el peso específico es una relación peso-volumen, se deduce que el peso específico aparente es mayor que el peso específico aparente con áridos saturados en áridos que contienen huecos permeables, y que ambos valores son iguales para áridos que no contienen huecos de este tipo. De esta forma, en áridos que contienen huecos permeables, la elección de uno u otro tipo de peso específico puede tener un efecto apreciable sobre la proporción de huecos calculada en una mezcla asfáltica compactada.

El peso específico aparente de los áridos en una mezcla asfáltica depende de la proporción en que el asfalto penetra en los huecos permeables al agua. Como el asfalto es más viscoso que el agua, usualmente penetrará en los huecos menos que el agua. Por ello ha empezado a usarse el termino «peso específico efectivo» para indicar la proporción en que el árido es permeable al asfalto empleado en la mezcla. Como puede verse, el peso específico efectivo estará normalmente comprendido entre el peso específico aparente y el peso específico aparente con áridos saturados. Se han ideado varios procedimientos para medir el peso específico efectivo de los áridos.

En los métodos AASHO T85 y ASTM C127 se fijan los aparatos y procedimientos para determinar los pesos específicos aparente y aparente con áridos saturados de los áridos gruesos. Para los áridos finos véanse los métodos AASHO T84 y ASTM C128. En la publicación ASTM STP191, titulada «Specific gravity of bituminous coatel aggregate», se dan varios métodos para medir el peso específico efectivo de los áridos para mezclas asfálticas.

**3.38 PESO UNITARIO.** El peso unitario de unos áridos dados puede determinarse sobre volumen suelto o sobre volumen compactado. Para ello se emplea un recipiente cilíndrico de volumen conocido. Los volúmenes empleados son normalmente 0,1-0,5-1,00 pies<sup>3</sup> (2,83-14,16-28,31 l), según el tamaño de los áridos ensayados. Para medir el peso unitario con áridos sueltos se llena el recipiente por un procedimiento normalizado y se determina el peso de los áridos contenidos en el recipiente lleno. Para medir el peso compactado se llena el recipiente en tres capas aproximadamente iguales, aplicando a cada capa determinados procedimientos de agitación o apisonado según el tamaño de los áridos empleados en el ensayo. Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASHO T19 y ASTM C29.

Normalmente se emplea en material compactado el peso unitario como indicación de la calidad de la escoria machacada. Las escorias **más** pesadas tienden a ser menos porosas y más resistentes que las que tienen

pesos unitarios inferiores. Basándose en la experiencia se ha fijado un peso unitario compactado mínimo de 70 lb pie<sup>3</sup> (1 137 kg m<sup>3</sup>) para escoria de dimensiones inferiores a 2" para mezclas de pavimentación, y de 65 lb/pie<sup>3</sup> (1041 kg/m<sup>3</sup>) para tamaños superiores. La escoria ensayada debe tener la misma granulometría que se piensa emplear.

**3.39 HUMEDAD.** La determinación de la humedad en los áridos se hace normalmente pesando una muestra de material, secándola hasta peso constante en estufa mantenida a 110 °C, aproximadamente, y determinando después el peso de la muestra seca. La diferencia entre los pesos inicial y final se define como pérdida de humedad durante el secado. La pérdida de peso expresada en porcentaje del peso final o en seco es el contenido de humedad de los áridos.

### ***C) Mezclas asfálticas para pavimentación***

**3.40 GENERALIDADES.** No sólo es importante ensayar el asfalto y los áridos separadamente, sino que deben realizarse ensayos sobre combinaciones de estos materiales hasta establecer las proporciones y características adecuadas para estas mezclas. En los párrafos siguientes se describen brevemente los ensayos normalmente empleados para las mezclas asfálticas para pavimentación y se hace referencia a los procedimientos normalizados de realización de estos ensayos.

**3.41 METODO MARSHALL.** El ensayo Marshall para mezclas asfálticas para pavimentación puede emplearse para proyecto en laboratorio y comprobación en obra de las mezclas que contienen betún asfáltico y áridos cuyo tamaño máximo no exceda de 1". Las principales características del ensayo son el análisis densidad-huecos y los ensayos de estabilidad y fluencia sobre probetas de mezcla compactada.

Se preparan probetas de 2 1 2" (6,35 cm) de espesor y 4" (10 cm) de diámetro, mediante procedimientos especificados, compactándolas por impacto. Se determinan la densidad y huecos de la probeta compactada, que a continuación se calienta a 60 °C para la realiza-

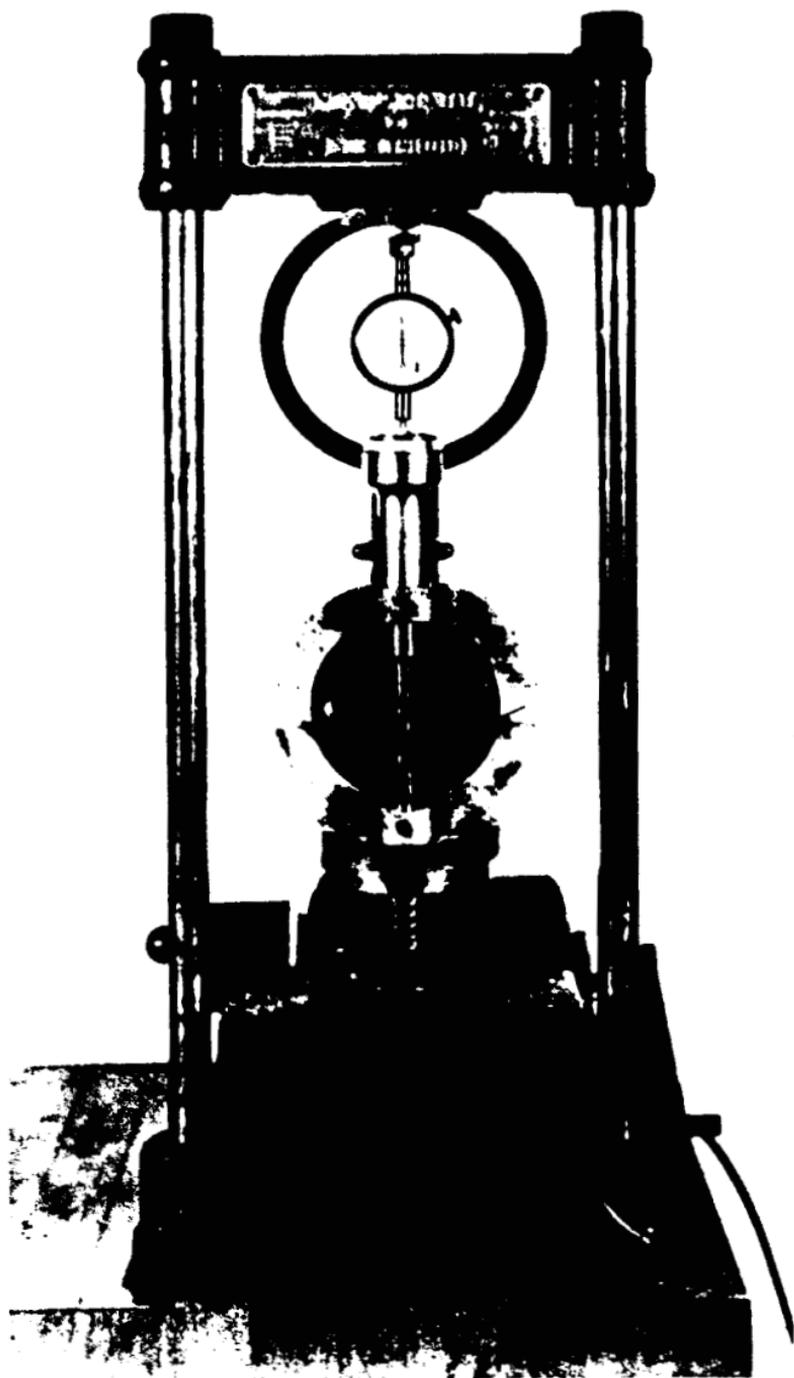


Figura III-13. Ensayo Marshall de estabilidad y fluencia.

ción de los ensayos Marshall de estabilidad y fluencia. La probeta se coloca entre unas mordazas especiales indicadas en la figura III-13 y se carga imponiéndole una deformación de 5 cm/min. La carga máxima registrada durante el ensayo, en libras, se designa como estabilidad Marshall de la probeta. La deformación producida desde el principio de la aplicación de la carga hasta que ésta ha alcanzado su valor máximo es la fluencia de la probeta, que suele expresarse en centésimas de pulgada. Se prepara una serie de probetas con contenidos de asfalto variables por encima y por debajo del óptimo estimado, ensayándolas por el procedimiento que acabamos de describir. Usualmente se preparan tres probetas para cada contenido de asfalto.

Los datos así obtenidos se emplean para establecer el contenido de asfalto Óptimo de la mezcla y para determinar algunas de sus características físicas. Los materiales y procedimiento para la realización de estos ensayos se describen con detalle en la obra *Mix Design Methods for Hot Mix Asphalt Paving*, M. S. número 2, publicada por el Instituto del Asfalto. En esta publicación se incluyen también criterios (véase tabla IV-9) para proyecto de mezclas para pavimentación. La maquinaria y procedimientos necesarios para la realización del ensayo Marshall se describen también en el método ASTM D1559.

**3.42 METODO DE HVEEM.** El método de Hveem para proyecto y comprobación de mezclas asfálticas comprende los tres ensayos principales siguientes:

1. Ensayo del estabilómetro.
2. Ensayo del cohesiómetro.
3. Ensayo del equivalente centrífugo en queroseno (CKE).

Estos ensayos se emplean para proyectar mezclas en el laboratorio. El CKE se emplea también como ensayo de obra.

Los ensayos del estabilómetro y del cohesiómetro son aplicables a mezclas que contengan betún asfáltico o asfaltos líquidos y áridos cuyo tamaño máximo no exceda de 1". Las probetas de 2 1/2" (6,35 cm) de

altura y 4'' (10 cm) de diámetro se compactan por procedimientos normalizados en un compactador por amasado como el que se representa en la figura 111-14.

Se determina la densidad y huecos de la probeta compactada, que se calienta después a 60 °C y se somete a ensayo en el estabilómetro de Hveem. Este ensayo es un tipo de ensayo triaxial en que se aplican cargas verticales y se miden las presiones laterales desarrolladas para determinados valores de la carga ver-

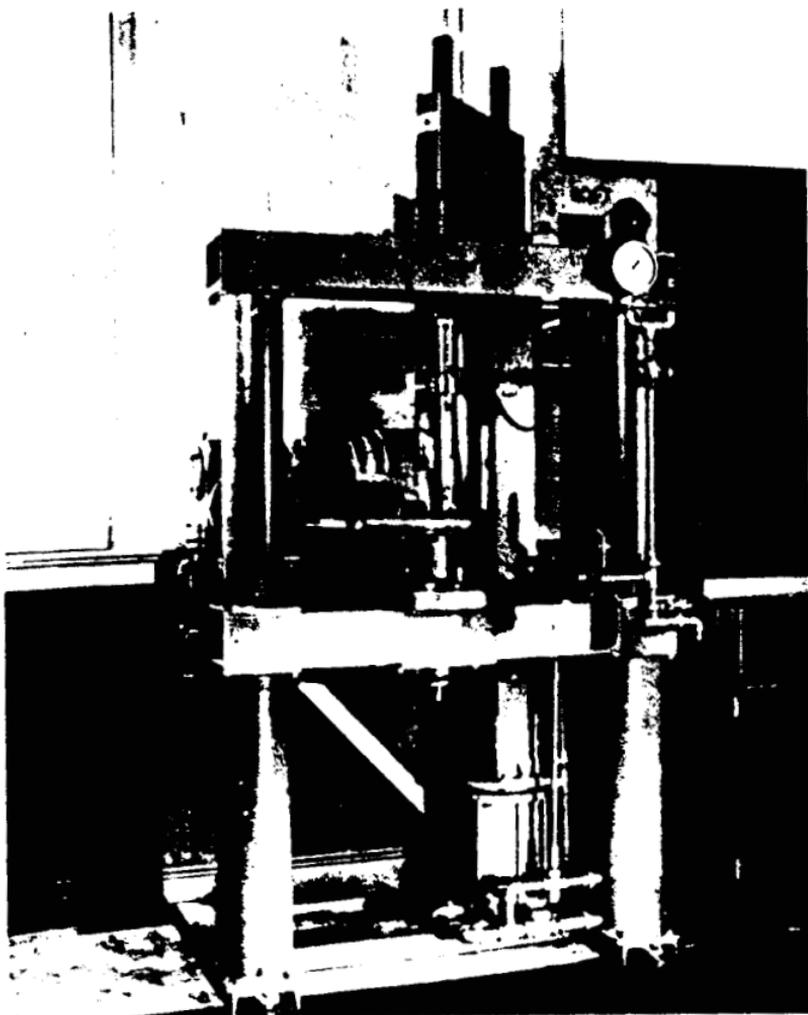


Figura III-14. Compactador por amasado para preparación de probetas.

tical. El ensayo se representa esquemáticamente en la figura III-15.

La probeta está encerrada en una membrana de goma rodeada por un líquido que transmite la presión lateral desarrollada durante el ensayo. Los valores obtenidos durante el ensayo son de carácter relativo. Se ha establecido la escala sobre la base de que, si la probeta fuera un líquido, la presión lateral sería igual a la presión vertical, en cuyo caso se considera que la estabilidad relativa es nula. En el otro extremo de la escala se considera un sólido incompresible, que no transmite presión lateral, y al que se atribuye una estabilidad relativa de 90. Los ensayos sobre las mezclas asfálticas para pavimentación dan valores comprendidos en el intervalo 0-90. La estabilidad relativa de la probeta se calcula por una fórmula establecida.

Usualmente, después de realizado el ensayo del es-

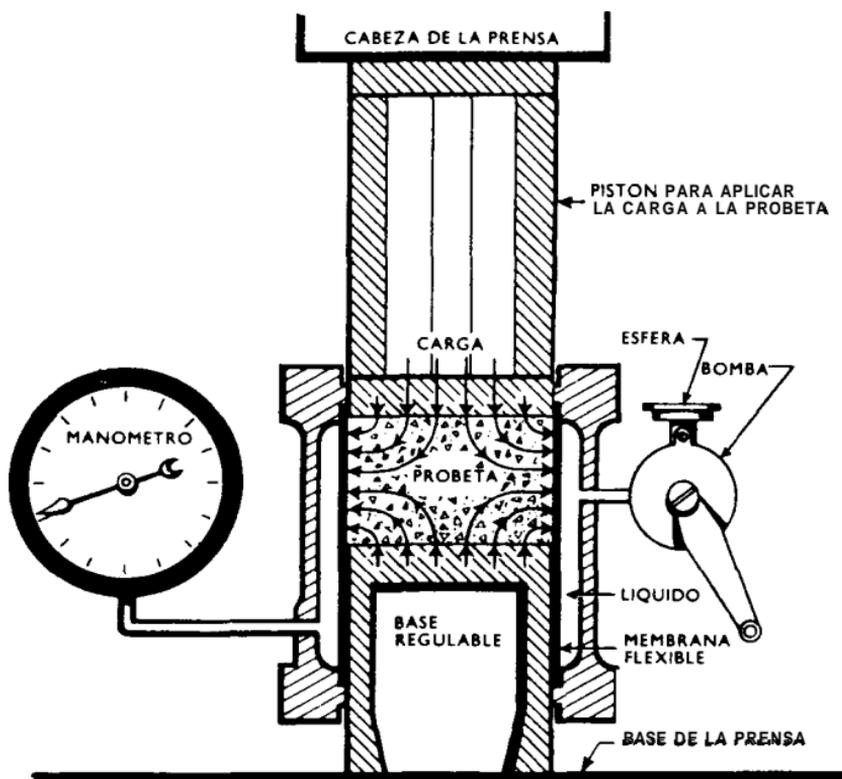


Figura III-15. Ensayo del estabilómetro de Hveem.

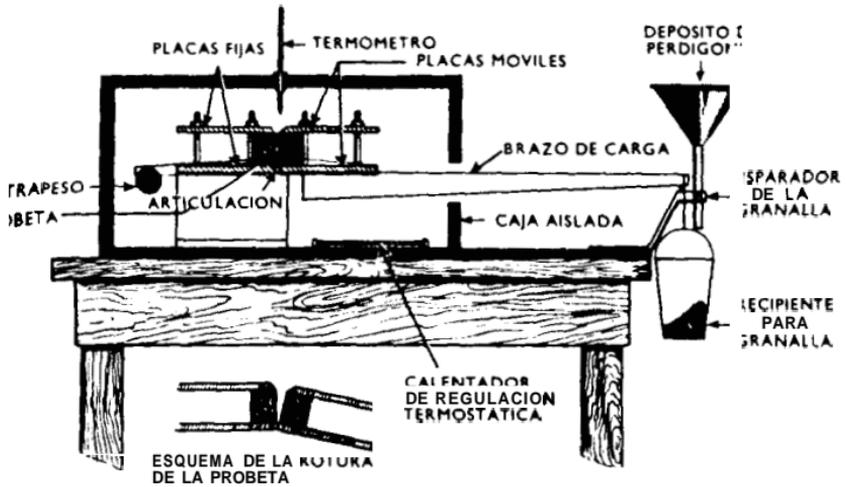


Figura III-16. Ensayo del cohesiómetro de Hveem.

tabilómetro, se somete la probeta al ensayo del cohesiómetro, que es un ensayo de flexión en el que la probeta se rompe por tracción, como se ve en la figura 111-16.

En este ensayo también se calienta la probeta a  $60^{\circ}\text{C}$ , manteniéndola a esta temperatura durante el período de ensayo en una cámara termostática. La probeta se sujeta al aparato como se indica en la figura 111-16 y la carga se aplica a velocidad constante al extremo de un brazo de palanca. Cuando el brazo de la palanca ha descendido media pulgada (12 mm), se detiene automáticamente la caída de la granalla empleada para aplicar la carga y se determina su peso. El valor del cohesiómetro se determina por una fórmula establecida.

Otra parte del método de Hveem empleada a veces es la determinación del contenido de asfalto óptimo, estimado por un procedimiento denominado ensayo del equivalente centrífugo en queroseno (CKE). Se satura con queroseno la porción de los áridos de la mezcla que pasa por el tamiz número 4, centrifugándola a continuación. La parte de los áridos que pasa por el tamiz de 3/8 de pulgada es retenida en el número 4, que se considera representativa de los áridos gruesos.

sos de la mezcla, se satura en aceite lubricante y se deja escurrir durante 15 min a 60 °C.

Los pesos de queroseno y aceite retenidos por estos áridos se emplean como datos en un procedimiento para calcular y estimar el contenido óptimo de asfalto de la mezcla. Normalmente se realizan los ensayos del estabilómetro y del cohesiómetro en probetas con el contenido de asfalto indicado por el ensayo CKE y con contenidos de asfalto mayores y menores para establecer el contenido de asfalto Óptimo y determinar otras características físicas de la mezcla compactada. Más adelante indicaremos (véase la tabla IV-9) algunos criterios para el proyecto de mezclas para pavimentación empleando este método. Los aparatos y procedimiento para la realización del ensayo antes indicados se describen con detalle en la publicación *Mix Design Methods for Hot Mix Asphalt Paving* M. S. numero 2, del Instituto del Asfalto. También se describen en el método ASTM D1560, mientras que el ASTM D1561 describe los aparatos y procedimiento para preparar las probetas con el compactador por amasado antes mencionado.

3.43 METODO HUBBARD'FIELD. El método Hubbard-Field es un procedimiento empleado para el proyecto en laboratorio de mezclas asfálticas para pavimentación. El procedimiento se desarrolló originalmente para el proyecto de mezclas para pavimentación de tipo arena-asfalto o *shect asphalt*, empleando betunes asfálticos, en las que todos los áridos pasarán por el tamiz número 4 y al menos el 65 %, por el número 10. Las partes principales del ensayo son un análisis densidad-huecos y un ensayo de estabilidad.

Se preparan, empleando procedimientos de compactación especificados, probetas de 2" (5 cm) de diámetro y 1" (2,5 cm) de altura. Se determinan la densidad y los huecos de la probeta compactada, que a continuación se somete al ensayo de estabilidad Hubbard-Field, como se indica en la figura III-17. En este ensayo, primeramente, se calientan las probetas a 60 °C y se colocan en moldes de ensayo. Se aplican las cargas como se indica con una velocidad de deformación de 2,4" (61 mrn) por minuto. La probeta de 2" de diáme-

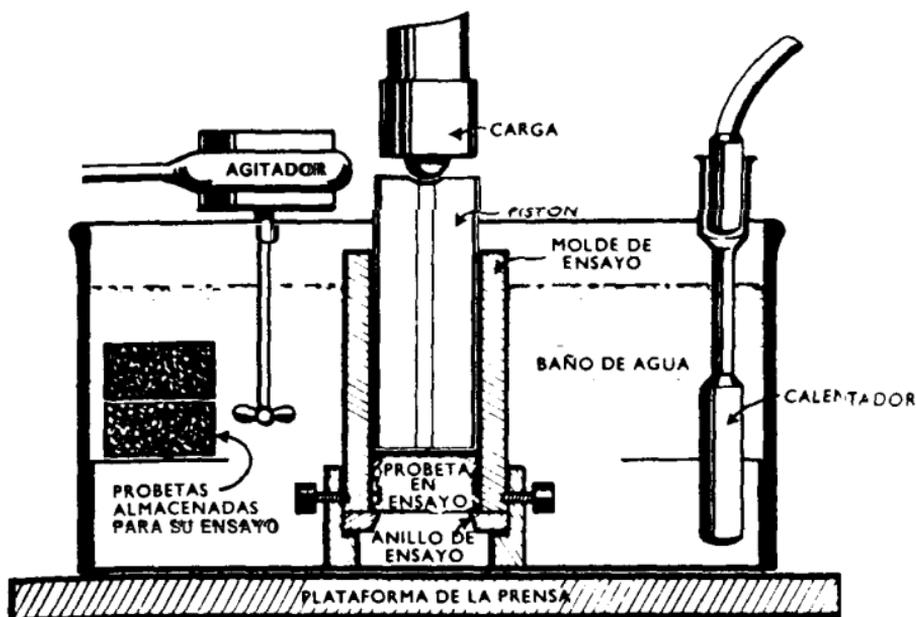


Figura III-17. Ensayo Hubbard-Field de probetas de 2" de diámetro.

tro se hace pasar a través de un orificio más estrecho, de 1,75" (aproximadamente 45 mm) de diámetro. La máxima carga producida, en libras, es la estabilidad Hubbard-Field.

Se preparan dos o tres probetas con cada uno de varios contenidos de asfalto, usualmente con variaciones del 1/2 % por encima y por debajo de un óptimo estimado. Los valores medios obtenidos para cada contenido de asfalto se representan en gráficos y se emplean para fijar el contenido óptimo. Estos datos se emplean también para determinar si la mezcla cumple determinados criterios establecidos para el contenido óptimo de asfalto (véase la tabla IV-9).

Como el procedimiento que hemos descrito solamente es aplicable a mezclas asfálticas de tipo arena-asfalto o sheet asphalt, se ideó un procedimiento modificado aplicable a mezclas asfálticas con áridos gruesos. En el procedimiento modificado se prepara por un método especificado una probeta de 6" (15 cm) de diámetro y una altura de 2 3/4 a 3" (70 a 76 mm). Se

obliga a la probeta a pasar a través de un orificio de 5,75" (14,6 cm). El ensayo se representa esquemáticamente en la figura 111-18. Por lo demás, el procedimiento es esencialmente idéntico al descrito para probetas de 5 cm de diámetro. El procedimiento modificado no se emplea mucho por haberse observado que las variaciones en la orientación de las partículas de los áridos gruesos cerca del orificio del molde dan lugar frecuentemente a valores erráticos de la estabilidad.

Los aparatos y procedimientos empleados tanto en el método Hubbard-Field original como el modificado, se describen con detalle en *Mix Design Methods for Hot Mix Asphalt Pavign*, M. S. numero 2, publicado por el Instituto del Asfalto. Más adelante indicamos criterios (véase la tabla IV-9) para proyecto de mezclas asfálticas para pavimentación. También se describen los aparatos y procedimientos para la realización de

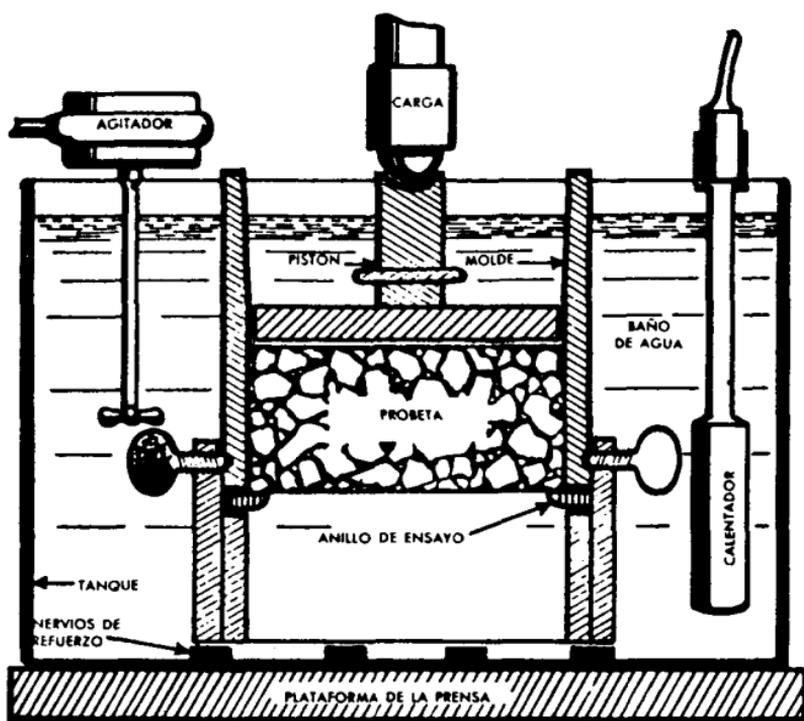


Figura III-18. Ensayo Hubbard-Field de probetas de 6" de diámetro.

estos ensayos en los métodos AASHO T169 y ASTM D1138.

3.44 METODO TRIAXIAL. El ensayo de compresión triaxial que describimos a continuación se emplea fundamentalmente para investigación sobre mezclas asfálticas, y rara vez para proyecto o ensayos de rutina. Se considera generalmente que la probeta empleada en el ensayo triaxial debe tener una altura al menos doble que su diámetro. Normalmente se emplean probetas compactadas de unas 8" (20 cm) de altura por 4" (10 cm) de diámetro. Usualmente se determinan las características de densidad y huecos de la probeta compartada.

El método de ensayo triaxial del Instituto del Asfalto, desarrollado por Vaughn Smith, se representa esquemáticamente en la figura III-19. La probeta está envuelta en una membrana de goma rodeada por un líquido que transmite las presiones laterales desarrolladas durante la aplicación de una carga vertical a la probeta. Las cargas verticales se aplican por incrementos sucesivos, midiéndose la presión lateral que aparece como consecuencia. El ensayo se realiza a temperatura ambiente.

Se representa en un gráfico la relación entre las presiones verticales y las laterales y se calculan por una fórmula establecida la cohesión y el ángulo de rozamiento interno de la probeta. Más adelante se incluyen también los criterios sugeridos (véase la tabla IV-9) para el proyecto de mezclas para pavimentación empleando este método. Los aparatos y procedimiento para la realización de este ensayo se describen en *Mix Design Methods for Hot Mix Asphalt Paving*, M. S. numero 2, publicado por el Instituto del Asfalto.

El ensayo de compresión triaxial del Instituto del Asfalto que hemos descrito es del **tipo** conocido como «en sistema cerrado», en el que no se produce verdadera rotura de la probeta.

Otro tipo de ensayo de compresión triaxial emplea aparatos similares, pero se llama de sistema abierto. En él se mide la carga vertical necesaria para que la probeta rompa mientras se mantiene constante la presión lateral.

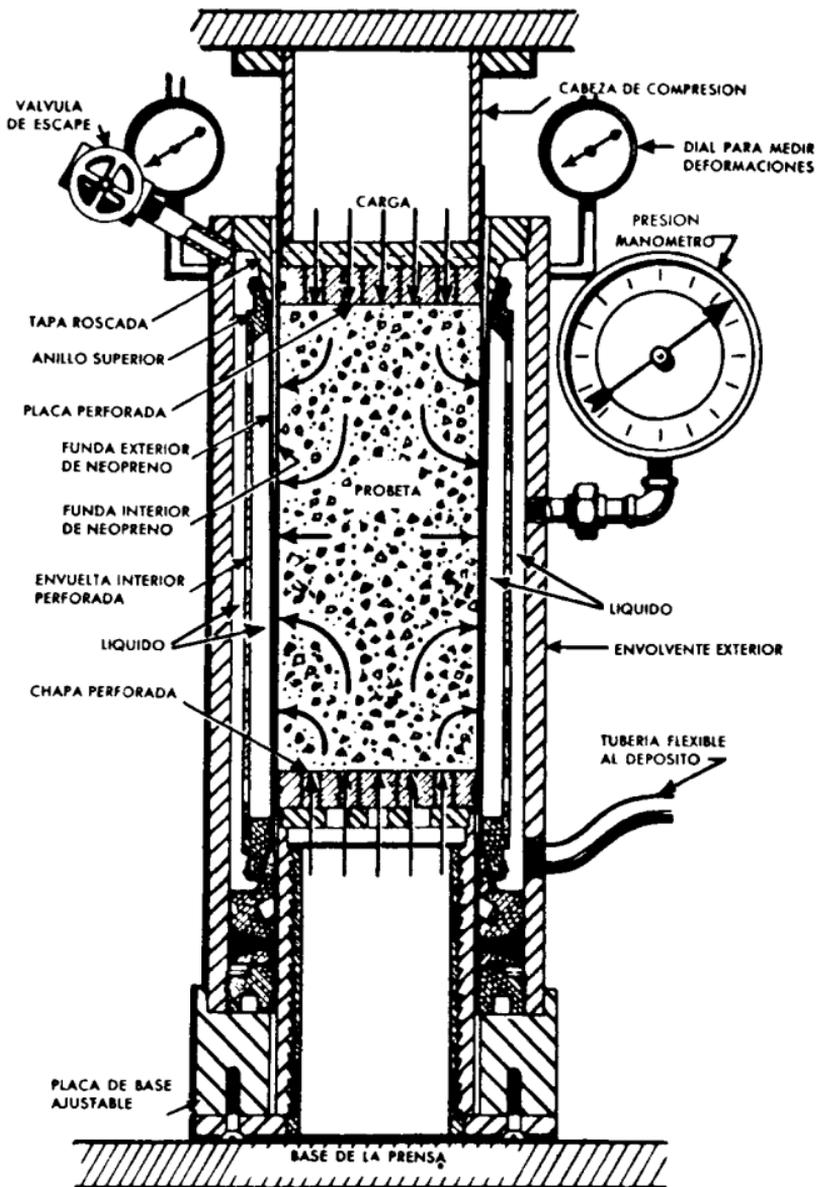


Figura III-19. Ensayo triaxial de Smith.

**3.45 DENSIDAD.** La densidad o peso unitario de una mezcla asfáltica para pavimentación se determina con las siguientes finalidades:

A) En probetas compactadas en laboratorio para:

1. Obtener un punto de partida para calcular el porcentaje de huecos y huecos rellenos de asfalto en las mezclas compactadas, parte integrante de algunos procedimientos de proyecto de mezclas asfálticas para pavimentación.
2. Dar una indicación del contenido de asfalto óptimo en algunos procedimientos de proyecto de mezclas.
3. Fijar una base para controlar la compactación durante la construcción del pavimento asfáltico.

B) En probetas obtenidas de pavimentos construidos, para comprobar la densidad del pavimento y la eficacia de las operaciones de apisonado.

El procedimiento **usual** para determinar la densidad es pesar la probeta, determinar su volumen y calcular la relación peso-volumen en unidades convenientes (p. ej., kilogramo por metro cúbico). El volumen de la probeta se mide frecuentemente determinando el volumen desplazado. La probeta se pesa primeramente al aire y después sumergida en agua, y la diferencia en peso da el volumen de la probeta. Cuando se mide el peso unitario en kilogramo por metro cúbico la densidad de la probeta se calcula según la fórmula siguiente:

$$d = \frac{W_a}{W_a - W_w}$$

donde  $d$  = densidad en kilogramo por litro.

$W_a$  = peso de la probeta al aire, en gramos.

$W_w$  = peso de la probeta sumergida en agua, en gramos.

Este procedimiento es satisfactorio si la probeta es relativamente impermeable al agua. Cuando las probetas son permeables al agua deben revestirse de parafina antes de la inmersión. El cálculo de la densidad debe tener entonces en cuenta el peso y volumen del revestimiento de parafina.

En algunos casos el volumen de la probeta se determina por medición directa, pero, en general, con este método es difícil obtener exactitud suficiente.

Puede encontrarse una discusión detallada de la relación peso-volumen y de los métodos para determinar la densidad de probetas compactadas en el apéndice 11 de *Mix Design Methods for Hot Mix Asphalt Paving*, M. S. número 2, publicado por el Instituto del Asfalto. También puede encontrarse la descripción detallada de estos ensayos en los métodos **AASHTO T166** y **ASTM D1188**.

**3.46 HUECOS.** Como antes se indicó, la determinación de los huecos contenidos en la probeta compactada forma parte del método de proyecto. Los huecos de estas probetas pueden calcularse conociendo la densidad de las probetas compactadas, el peso específico de los áridos y el del asfalto.

Para calcular el contenido de huecos de una probeta compactada debe fijarse primeramente la densidad máxima teórica de la mezcla. Este valor es la densidad teórica que se lograría si la probeta pudiera compactarse hasta formar una masa sin huecos. La densidad máxima teórica se determina por la siguiente fórmula, en la que  $D$  es la densidad máxima teórica,  $W$  y  $W_1$  los porcentajes de áridos y asfalto, respectivamente, y  $G$  y  $G_1$  sus respectivos pesos específicos.

$$D = \frac{100}{\frac{W}{G} + \frac{W_1}{G_1}}$$

Una vez determinada la densidad real,  $d$ , de la mezcla compactada, el porcentaje de huecos,  $V$ , se determina por la fórmula siguiente:

$$V = \frac{100(D - d)}{D}$$

Los procedimientos a emplear en la realización de estos cálculos se indican con detalle en el apéndice 11 de *Mix Design Methods for Hot Mix Asphalt Paving*, M. S. número 2 del Instituto del Asfalto.

La principal dificultad para llegar a una determinación exacta de los huecos de una probeta resulta de las características de porosidad de algunos áridos, que a su vez tienen influencia sobre el peso específico de los

áridos empleado en los cálculos, como discutimos al hablar del peso específico.

3.47 **EXTRACCION.** Llamamos extracción al procedimiento empleado para separar el asfalto de los áridos en una mezcla asfáltica para pavimentación. La finalidad de la extracción es determinar el contenido de asfalto de la mezcla y obtener áridos sin asfalto que puedan emplearse para el análisis granulométrico y cualquier otro ensayo sobre ellos que se desee realizar. Cuando se desea ensayar el asfalto extraído se hace un ensayo de «recuperación».

El método de extracción más empleado para determinar el contenido de asfalto y obtener áridos limpios es el centrífugo. En él se calienta la mezcla asfáltica, después de desmenuzada, en el recipiente de una centrifugadora. Después se añade un disolvente que disuelve el asfalto. Los disolventes normalmente empleados son tricloroetileno, benceno o tetracloruro de carbono. El asfalto disuelto se separa de los áridos en un tipo especial de centrifugadora. Durante el proceso de centrifugado debe añadirse disolvente varias veces hasta conseguir la total extracción del asfalto.

La diferencia entre el peso original de la mezcla asfáltica y el peso de los áridos secos después de la extracción se emplea como base para determinar las proporciones relativas de asfaltos y áridos. Deben hacerse correcciones para tener en cuenta la pequeña cantidad de áridos muy finos que puede pasar a través del anillo filtrante del recipiente de la centrifuga durante el proceso de extracción, lo que se logra determinando el contenido de cenizas de una parte de la solución de asfalto en disolvente. También deben hacerse correcciones para el agua, si existía en la mezcla asfáltica. Los aparatos y procedimientos para la realización del ensayo de extracción se detallan en los métodos **AASHO T164** y **ASTM D2172**.

Hay varios métodos de extracción por reflujo empleados para la determinación del contenido de asfalto y la obtención de áridos limpios para ensayo posterior. Normalmente se emplea un recipiente cilíndrico en el que se coloca una bandeja de disolvente inmediatamente sobre un elemento de calentamiento situado en

el fondo del recipiente. La mezcla asfáltica se cuelga sobre el disolvente en un cesto de malla de alambre. El disolvente se evapora y condensa en un serpentín, cayendo sobre la mezcla. El asfalto se disuelve y cae en la bandeja de disolvente, donde este último vuelve a evaporarse dejando el asfalto en ella. El principio es similar al del método de extracción descrito bajo el título ((Recuperación del asfalto» (véase 3.48).

**3.48 RECUPERACION DEL ASFALTO.** Cuando se desea realizar ensayos sobre el asfalto extraído de las mezclas de pavimentación, debe hacerse la recuperación del asfalto sin cambiar sus propiedades. Normalmente se emplea un método de extracción por reflujo.

El extractor consiste, generalmente, en un recipiente cilíndrico cerrado. Suspendido cerca del fondo hay otro recipiente perforado en el que se coloca la mezcla. Directamente sobre este recipiente se coloca un condensador. Se introduce en el extractor un disolvente —tricloroetileno o benceno— que se vaporiza por aplicación de calor. El vapor condensa y cae sobre la mezcla disolviendo el asfalto y llevándolo en disolución al fondo del extractor. Este procedimiento continúa hasta que el disolvente gotea limpio. A continuación se recupera el asfalto por destilación. El procedimiento incluye la introducción de un caudal conocido de bióxido de carbono gaseoso en el contenido del frasco de destilación para extraer las últimas trazas de disolvente. El material y procedimiento se describen con detalle en los métodos AASHO T170 y ASTM D2172.

**3.49 DESTILACION DE LA HUMEDAD Y SUSTANCIAS VOLATILES.** A veces es conveniente saber la cantidad de humedad y o sustancias volátiles en una mezcla asfáltica para pavimentación, especialmente cuando se emplean asfaltos líquidos. Estas determinaciones se hacen usualmente empleando algún procedimiento de destilación, como el indicado en el método ASTM D255. Algunos organismos emplean los procedimientos detallados en el método AASHO T110 y en el ASTM D1461.

**3.50 ENTUMECIMIENTO.** En las mezclas asfálticas que contienen finos de calidad dudosa se

determina a veces el entumecimiento como dato para juzgar los posibles efectos perjudiciales del agua sobre el pavimento. Este ensayo se usa con cierta frecuencia en las mezclas densas *en* las que se emplean asfaltos líquidos. Se compacta una muestra de la mezcla en un cilindro metálico, normalmente de 4" (10 *cm*) de diámetro, y *se* deja enfriar a temperatura ambiente. A continuación se colocan probeta y molde en una bandeja con agua y se monta sobre la probeta un medidor, como se indica en la figura 111-20. Se anotan la lectura inicial del medidor y sus indicaciones después de pe-

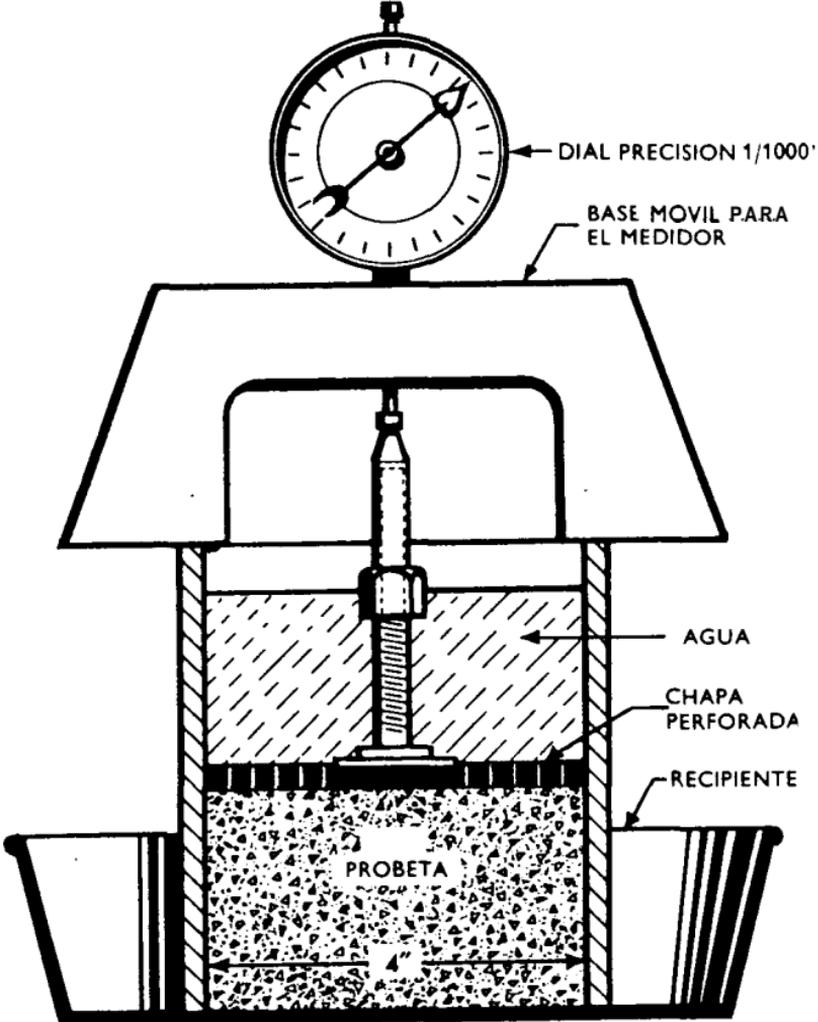


Figura III-20. Ensayo de entumecimiento.

ríodos determinados de tiempo, usualmente 24 h, o hasta que no se produce más entumecimiento. Los aparatos y procedimiento para realizar el ensayo, tal como lo hace el Departamento de Carreteras de California, se describen en el capítulo V de la obra *Mix Desing Methods for Hot Mix Asphalt Paving*, M. S. número 2, publicada por el Instituto del Asfalto. También se describen en el método AASHO T101.

Generalmente, se considera que un entumecimiento vertical de  $1/16''$  (1,58 mm) indica una mezcla de calidad mediocre, mientras que algunas mezclas absolutamente inadmisibles pueden sufrir entumecimientos hasta de  $3/4$  de pulgada (19 mm) en las condiciones del ensayo.

## Especificaciones normalmente empleadas para los ensayos.

### A) ASFALTOS

Párrafo		AASHO	ASTM
<b>Betún asfáltico</b>			
3.02	Penetración . . . . .	T49	D5
3.03	Viscosidad . . . . . (Véase también el ensayo Saybolt-Furol, Método de ensayo AASHO T72 o Método de ensayo ASTM D88.)	T201	D2140
3.04	Punto de inflamación . . . . . (Véase también el punto de inflamacion Pensky-Manens, Método AASHO T73 y ASTM D93.)	T.18	D92
3.05	Ensayo en estufa en película delgada . .	T179	D1754
3.06	Ductilidad . . . . .	T51	D113
3.07	Solubilidad . . . . .	T44	D4
3.08	Peso específico . . . . .	T43	D70
3.09	Punto de reblandecimiento . . . . .	TS3	D36
<b>Asfaltos de curado rápido y medio</b>			
3.10	Punto de inflamación . . . . .	T79	D1310
3.11	Viscosidad . . . . . (Véase también el ensayo Saybolt-Furol, Método de ensayo AASHO T72 o Método de ensayo ASTM D88.)	T201	D2170
3.12	Destilación . . . . .	T78	D402
3.13	Ensayos sobre el residuo (véase <i>Betunes asfálticos</i> , párrafos 3.02 al 3.07) . . . .		
3.14	Peso específico . . . . .	T43	D70

**Asfaltos de curado lento**

3.15	Punto de inflamación (véase <i>Bctm asfá- ricn</i> ) . . . . .	T48	D92
3.16	Viscosidad (vease <i>Asfaltos de curado rá- pido y medio</i> ) . . . . .	T201	D2170
3.17	Contenido de humedad . . . . .	T55	D95
3.18	Destilación . . . . .	T78	D402
3.19	Ensayo del flotador . . . . .	T50	D139
3.20	Residuo de asfalto de penetración 100 . .	T56	D243
3.21	Ductilidad . . . . .	T51	D113
3.22	Solubilidad (véase <i>Bctm asfáltico y Asfal- tos de curado rápido y medio</i> ) . . . . .	T44	D4
3.23	Peso específico . . . . .	T43	D70

**Emulsión asfáltica**

3.24	Viscosidad . . . . .	TS9	D244
3.25	Residuo de destilación . . . . .	TS9	D244
3.26	Sedimentación . . . . .	T59	D244
3.27	Demulsibilidad . . . . .	T59	D244
3.28	Tamizado . . . . .	TS9	D244
3.29	Mezclado con cemento . . . . .	TS9	D244
3.30	Ensayos sobre el residuo (vease <i>Betunes asfálticos</i> , párrafos 3.02 a 3.09) . . . . .		
3.31	Peso específico . . . . .	T43	D70

**B) ARIDOS**

3.33	Tamizado:		
	Tamizado por vía seca . . . . .	—	—
	Aridos gruesos y finos . . . . .	T27	C136
	Filler . . . . .	T37	D546
	Tamizado por vía húmeda . . . . .	—	—
	(Véase <i>Asphalt Plant Manual</i> , Insti- tuto del Asfalto, MS-3.)		
3.34	Equivalente de arena . . . . .	T176	—
3.35	Abrasión (desgaste) . . . . .	T96	C131
3.36	Resistencia a los sulfatos . . . . .	T104	C88
3.37	Peso específico:		
	Aridos gruesos . . . . .	T85	C127
	Aridos finos . . . . .	T88	C128
3.38	Peso unitario . . . . .	T19	C29
3.39	Humedad . . . . .	—	—

**C) MEZCLAS ASFALTICAS PARA PAVIMENTACIÓN**

3.41	Ensayo Marshall' . . . . .	—	D1559
3.42	Método de Hveem:'		
	Ensayos del estabilometro y del cohesió- metro . . . . .	—	D1560

Párrafo		AASHO	ASTM
	Compactador por amasado. . . . .	—	D1561
3.43	Método Hubbard-Field <sup>1</sup> . . . . .	T169	D1138
3.44	Método triaxial <sup>1</sup> . . . . .	—	—
3.45	Densidad <sup>1</sup> . . . . .	T166	D1188
3.46	Huecos <sup>1</sup> . . . . .	—	—
3.47	Extracción:		
	Procedimiento centrífugo . . . . .	T164	D2172
	Procedimiento de reflujo . . . . .	T170	D1856
3.48	Recuperación del asfalto . . . . .	T170	D1856
3.49	Determinación de humedad y o volátiles por destilación . . . . .	—	D255
	Otros métodos . . . . .	T110	D1461
3.50	Entumecimiento . . . . .	T101	—

---

Véase *Mix Design Methods for Hot Mix Asphalt Paving*, Asphalt Institute, M. S. 2.

3.51 REFERENCIAS. Las publicaciones siguientes del Instituto del Asfalto contienen detalles de muchos de los ensayos descritos en este capítulo:

1. *Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types*, Manual Series número 2 (MS-2).
2. *Asphalt Plant Manual*, Manual Series número 3 (MS-3).

# Capítulo IV

## RESUMEN DE LAS ESPECIFICACIONES Y RECOMENDACIONES PRINCIPALES

4.01 GENERALIDADES. Este capítulo contiene un resumen de las especificaciones del Instituto del Asfalto para asfaltos y áridos para construcción de pavimentos. Comprende, además, las principales recomendaciones del Instituto para este tipo de trabajo. Concretamente se incluyen las siguientes:

- A) Especificaciones para materiales asfálticos.
- B) Especificaciones para los áridos.
- C) Recomendaciones para la clasificación y gradación de las mezclas asfálticas para pavimentación.
- D) Recomendaciones para el proyecto de mezclas asfálticas para pavimentación.
- E) Recomendaciones para el control de las temperaturas de aplicación de los asfaltos.

Se han tomado de diversas publicaciones del Instituto del Asfalto.



### ***A) Especificaciones para los asfaltos***

En las tablas IV-1 a IV-5 se incluyen las especificaciones para los betunes asfálticos y los asfaltos líquidos.

### ***B) Especificaciones para los áridos***

1.02 ARIDOS GRUESOS. Llamamos áridos gruesos a los retenidos en el tamiz número 8. Consistirán en piedra o escoria machacada, grava machacada o combinaciones de estos materiales, o en materiales que se presenten naturalmente en estado fracturado (como granito disgregado) o en áridos naturales muy angulosos con textura superficial áspera o rugosa.

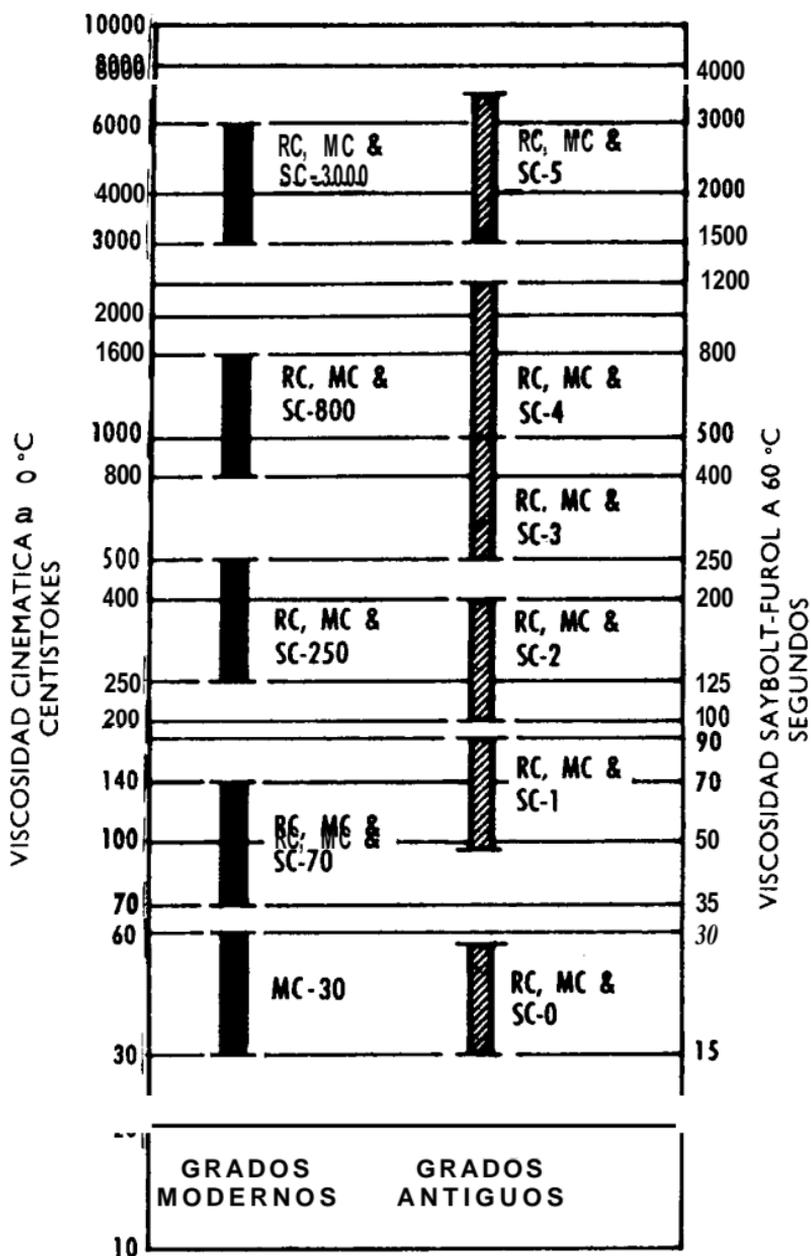


Figura IV-1. Comparación de los grados antiguos y modernos de asfalto líquido.

Características	Método de ensayo AASHO	Método de ensayo ASTM	TIPOS				
			Industria- les y es- peciales	Pavimentación			
				40-50	60-70	85-100	120-150
Penetración 25° C, 100 gr. 5 seg.	T-49	D-5	40-50	60-70	85-100	120-150	200-300
Viscosidad a 135° C. Saybolt-Furol, SSF Cinemática, centistokes.	—	E-102	120+	100+	85+	70+	50+
	—	D-445	240+	200+	170+	140+	100+
Punto de inflamación (vaso abierto Cleveland), °C	T-48	D-92	232+	232+	232+	232+	177+
Ensayo en horno en película delgada. Penetración después del ensayo, 25° C, 100gr. 5 seg., % de la original	T-179	—	—	—	—	—	—
	T-49	D-5	52+	50+	45+	42+	37+
Ductilidad: A 25° C, cmr. A 15,6° C, cms.	T-51	D-113	100+	100+	100+	60+	—
	—	—	—	—	—	—	60+
Solubilidad en C Cl <sub>4</sub> , %	T-44*	D-4*	99,5+	99,5+	99,5+	99,5+	99,5+
Condicioner generales.			El asfalto se preparará por destilación del petróleo. Será uniforme en su naturaleza y no formará espuma al calentarlo a 177° C.				

Tabla IV-2—ESPECIFICACIONES PARA ASFALTO FLUIDIFICADO DE CURADO RAPIDO (RC)

Características	Método de ensayo AASHO	Método de ensayo ASTM	GRADOS					
			RC-0	RC-1	RC-2	RC-3 FR-3	RC-4	RC-5
				—	26,7	26,7	26,7	26,7
Viocidad Furol a 25° C, seg.			75-150	—	—	—	—	—
» » a 50° C, seg.			—	75-150	—	—	—	—
» » a 60° C, seg.	T-72	D-88	—	—	100-200	250-500	—	—
» » a 82,2° C, seg.			—	—	—	—	125-250	300-600
<b>Destilación:</b>								
Destilado (porcentaje del total destilado a °C):								
A 190° C.			15+	10+	—	—	—	—
A 225° C.			55+	50+	40+	25+	8+	—
A 260° C.	T-78	D-402	75+	70+	65+	55+	40+	25+
A 316° C.			90+	88+	87+	83+	80+	70+
Residuo de destilación a 360° C, porcentale en volumen por diferencia.			50+	60+	67+	73+	18+	82+
<b>Ensayos sobre el residuo de destilación:</b>								
Penetración, 25° C, 100 gr., 5 seg.	T-49	D-5	80-120	80-120	80-120	80-120	80-120	80-120
Ductilidad, 25° C, cmr.	T-5f	D-113	100+	100+	100+	100+	100+	100+
Solubilidad en CCl <sub>4</sub> , %	T-44*	D-4*	99,5+	99,5+	99,5+	99,5+	99,5 x	99,5+
<b>Condiciones aenerales.</b>			El material no contendrá agua.					

° Salvo que se emplea tetracloruro de carbono como disolvente en lugar de sulfuro de carbono, el procedimiento n.° 1 del Método AASHO T U , o el n.° 1 del Método ASTM D-4.

Tabla IV-3—ESPECIFICACIONES PARA ASFALTO FLUIDIFICADO DE CURADO MEDIO (MC)

Características	Método de ensayo AASHTO	Método de ensayo ASTM	GRADOS					
			MC-0	MC-1	MC-2	MC-3	MC-4	MC-5
Punto de Inflamación, vaso abierto, °C.	T-79	D-1310	37.8	37,8	85.8	85,8	85,8	85,8
Viscosidad Furol a 25° C, sea.	T-72	D-88	75150	—	—	—	—	—
» w a 50° C, seo.			—	75150	—	—	—	—
» w a 60° C, seg.			—	—	100-200	250-500	—	—
w a 82,2° C, seg.			—	—	—	—	125-250	300-600
Destilación: Destilado (porcentaje del total destilado a 360° C): A 225° C. A 260° C. A 316° C. Residuo de la destilación a 360° C, porcentaje en volumen por diferencia.	T-78	D 4 2	25— 40-70 75-93	20— 25-65 70-90	10— 15-55 60-87	5— 5-40 55-85	0 30— 40-80	0 20— 20-75
Ensayos sobre el residuo de destilación: Penetración, 25° C, 100 gr., 5 seg. Ductilidad, 25° C, cms. Solubilidad en C Cl <sub>4</sub> , %	T-49 T-51 T-44**	D-5 D-113 D-4**	120-300 100 + 99,5 +	120-300 100 + 99,5 +	120-300 100 + 99,5 +	120-300 100 + 99,5 +	120-300 100 + 99,5 +	120-300 100 + 99,5 +
Condiciones generales.			El material no contendrá aaua.					

- Si la penetración del residuo es superior a 200 y su ductilidad a 25° C es inferior a 100, el material será aceptable si su ductilidad a 15,8° C es 100+.
- Salvo que se emplea tetracloruro de carbono como disolvente en lugar de sulfuro de carbono, el procedimiento n.° 1 del Método AASHTO T-4e) n.° 4, o 1 del Método ASTM D-4.



**Tabla IV-4—ESPECIFICACIONES PARA ASFALTO FLUIDIFICADO DE CURADO LENTO (SC)**

Características	de ensayo AASHO	de ensayo ASTM,						
			CC-O	SC-1	SC-2	<b>SC-3</b>	SC-4	SC-5
Punto de Inflamación, vaso abierto, °C.	T-48	D-92	65,6 +	65,6 +	79,4 +	<b>93,3 +</b>	<b>107,2 +</b>	121,1 +
Viscosidad Furol a 25' C, seg.			75-150	—	—	—	—	—
» » a 50° C, seg.			—	75-150	—	—	—	—
» » a 60° C, seg.	T-72	D-88	—	—	100-200	250-500	—	—
» » a 82,2° C, seg.			—	—	—	—	<b>125-250</b>	<b>300-600</b>
Agua %	T-55	D-95	0,5—	<b>0,5—</b>	0,0	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
Destilación:								
Total destilado a 360° C.	<b>T-78</b>	<b>D-402</b>	<b>15-40</b>	<b>10-30</b>	<b>5-25</b>	2-15	10—	5—
Ensayo del flotador sobre el residuo de destilación a 50° C, seg.	<b>T-50</b>	<b>D-139</b>	<b>15-100</b>	<b>20-100</b>	<b>25-100</b>	50-125	60-150	75-200
Residuo asfáltico de penetración 100, %		D-243	40f	<b>50 +</b>	60 +	70+	<b>75 +</b>	80 +
Ductilidad del residuo asfáltico de penetración 100, a 25° C, cms.	T-51	D-113	100 +	100 +	100 +	100 +	100 +	100 +
Solubilidad en C Cl <sub>4</sub> , %	T-44*	D-4*	99,5 +	99,5 +	<b>99,5 +</b>	<b>99,5 +</b>	99,5 +	99,5 +

- Salvo que se emplea tetracloruro de carbono como disolvente en lugar de sulfuro de carbono, el procedimiento n.º 1 del Método AASHO T-44, o el n.º 1 del Método ASTM D-4. Si el material **no** cumple las condiciones de solubilidad será aceptable si la **solubilidad** en sulfuro de carbono es **99 % +**, y la proporción de betún (material soluble en sulfuro de carbono) soluble en tetracloruro de carbono es 99 65 %



## Tabla IV-8—GRANULOMETRIAS SIMPLIFICADAS

### *Tamaño de los éridos gruesos*

(Piedra machacada, grava y escoria)

Tamaño número	Abertura nominal de las mallas cuadradas <sup>1</sup>	Cantidad que pasa por cada tamiz de laboratorio (aberturas cuadradas) porcentaje en peso															
		4	3½	3	2½	2	1½	1	¾	½	¼	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 60	
1-F <sup>2</sup>	3¼ a 1½	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5								
1-F <sup>3</sup>	3¼ a 2	100	90 a 100			0 a 10	0 a 2										
2-F <sup>3</sup>	3 a 1½		100	90 a 100		0 a 10	0 a 2										
2	2½ a 1½			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5								
24	2¼ a ¾			100	90 a 100	25 a 60	0 a 10	0 a 5									
3	2 a 1				100	95 a 100	35 a 70	0 a 15	0 a 5								
357	2 a No. 4				100	95 a 100	35 a 70	0 a 15	0 a 5								
4	1½ a ¾					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15								
467	1½ a No. 4					100	95 a 100	35 a 70	0 a 15	10 a 30	0 a 5						
5	1 a ½						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5						
56	1 a ¾						100	90 a 100	40 a 75	15 a 35	0 a 15	0 a 5					
57	1 a No. 4						100	95 a 100		25 a 60	0 a 10	0 a 5					
6	¾ a ½							100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5					
67	¾ a No. 4							100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5					
68	¾ a No. 8							100	90 a 100	30 a 65	5 a 25	0 a 10	0 a 5				
7	½ a No. 4								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5				
78	½ a No. 8								100	90 a 100	40 a 75	5 a 25	0 a 10	0 a 5			
8	½ a No. 8									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5			
80	½ a No. 8									100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5		
9	¾ a No. 16										100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5		
10	No. 4 a No. 16										100	85 a 100					
11	No. 4 a 9 <sup>4</sup>											100	20 a 40	15 a 35	5 a 25	0 a 10	0 a 2
G1 <sup>4</sup>	1½ a No. 50						100	90 a 100		50 a 85							
G2 <sup>4</sup>	1½ a No. 8						100	85 a 100		35 a 75							
G3 <sup>4</sup>	1½ a No. 4						100	60 a 95		25 a 50							

<sup>1</sup> En pulgadas, salvo cuando se indique de otro modo. Los tamices que se indican pertenecen a los tamices normalizados US Standard.

<sup>2</sup> Tamaños especiales empleados como medios filtrantes en sistemas de depuración.

<sup>3</sup> Desechos de machaqueo.

<sup>4</sup> Las exigencias en cuanto a granulometría dependen del porcentaje de partículas machacada contenido en la grava. El tamaño G1 corresponde a grava que contiene un 20 % o menos de partículas partidas; el G2 corresponde a grava que contiene más del 20 % y no más del 40 % de particular machacada; el G3 corresponde a grava que contiene más del 40 % de particular machacada.

Tomado de «Simplified Practice Recommendation R163-48, U. S. Department of Commerce»

La escoria machacada debe haberse obtenido por enfriamiento al aire de escoria de alto horno razonablemente uniforme en densidad y calidad. Según la designación AASHO T19 (designación ASTM C29) cada tamaño comercial empleado tendrá un peso compactado no inferior a 1,93 kg/l [1,80 kg/l para tamaños superiores a 2" (5 cm).

Los áridos gruesos no estarán recubiertos de arcilla, limo u otras sustancias perjudiciales ni contendrán trozos de arcilla ni otros agregados de material fino. El porcentaje de desgaste en áridos gruesos empleados en capas de base, intermedias o de nivelación, no será mayor que 50 cuando se ensaye según el método AASHO T96 (ASTM C131). El porcentaje de desgaste de los áridos gruesos empleados en las capas de desgaste no será mayor del 40 % cuando se ensayen por el método AASHO T96 (ASTM C131). En pavimentos para tráfico pesado, los áridos gruesos que no consistan en escorias o áridos naturales de superficie rugosa o áspera contendrán al menos un 60 % en peso de elementos con dos o más superficies o caras producidas por fractura. Se ensayará la resistencia a los sulfatos de los áridos gruesos por el método AASHO T104 (ASTM C88), a menos que hayan demostrado su comportamiento satisfactorio en empleos anteriores. No se utilizarán, en capas de superficie, áridos de los que se sepa tienen tendencia a pulimentarse.

Cuando la granulometría de los áridos gruesos es tal que el material tiende a la segregación durante el acopio o manipulación, deberá suministrarse el material en dos o más tamaños separados. Los áridos gruesos de cada tamaño necesario para producir la granulometría especificada, deberán almacenarse en pilas de acopio individuales situadas junto a la instalación mezcladora, que estarán separadas por muros o cualquier otro elemento equivalente que el ingeniero encargado considere satisfactorio. Cuando sea necesario mezclar dos o más áridos gruesos el mezclado deberá hacerse a través de tolvas separadas y los alimentadores en frío, y no en el acopio.

**4.03 ARIDOS FINOS.** Son los que pasan por el tamiz número 8. Constarán de arena natural y/o mate-

rial obtenido del machaqueo de piedra, escoria o grava.

Las partículas serán limpias, resistentes, duraderas, moderadamente angulosas y sin revestimiento de arcilla, limo u otras sustancias perjudiciales, y no contendrán grumos de arcilla u otros aglomerados de material fino. Se ensayará su resistencia a los sulfatos según el método AASHO T104 (ASTM C88) a menos que ya se sepa que su comportamiento es satisfactorio. Cuando se realice el ensayo de resistencia a los sulfatos el número de ciclos será..., la solución empleada tendrá una concentración..., la pérdida máxima será del... %<sup>1</sup>.

Cuando sea necesario mezclar áridos finos de uno o varios orígenes para producir la granulometría deseada, se acopiarán los áridos de cada tamaño u origen junto a la planta mezcladora en montones independientes, separados por muros u otros elementos equivalentes aceptados por el ingeniero encargado. Se hará el mezclado a través de tolvas separadas y los alimentadores en frío, y no en el acopio.

**4.04 FILLER MINERAL.** El filler mineral se compondrá de partículas muy finas de caliza, cal apagada, cemento portland u otra sustancia mineral aprobada no plástica. Estará perfectamente seco y no contendrá grumos. Ensayado por el método AASHO T37 (ASTM D546) su granulometría cumplirá las siguientes condiciones:

<i>Núm. del tamiz</i>	<i>Porcentaje en peso seco que pasa</i>
<b>30</b>	<b>100</b>
<b>100</b>	<b>90</b>
<b>200</b>	<b>65</b>

La parte del filler mineral que pase por el tamiz número **200** se considerará como polvo mineral. **Más** del 50 % de la parte de filler mineral que pasa por vía húmeda a través del tamiz número 200 pasará por ese tamiz por tamizado en seco.

---

<sup>1</sup> El ingeniero debe rellenar los huecos con el número de ciclos, la solución y el porcentaje de pérdida que desea se empleen.

Nota: En el ensayo AASHO T104 (ASTM C88), el Instituto del Asfalto recomienda los siguientes valores: número de ciclos, 5; solución, sulfato de sodio; máxima pérdida, 15 %.

**4.05 POLVO MINERAL.** Es la parte de los áridos que pasa por el tamiz número 200. Puede consistir en partículas finas de los áridos finos o gruesos y/o filler mineral. No contendrá sustancia orgánica ni partículas de arcilla. El polvo mineral, ensayado según los métodos AASHO T89, T90 y T91, resultara no plástico.

**4.06 ARIDOS LOCALES EXCEPCIONALES.** Hay cierto número de tipos locales de áridos que frecuentemente no pasan los ensayos normalizados, pero que, a causa de ciertas propiedades especiales, dan lugar a excelentes mezclas asfálticas. En las regiones donde escasean los áridos que cumplan las especificaciones es posible frecuentemente emplear materiales inferiores si la experiencia ha demostrado que son satisfactorios, o cuando la investigación y el ensayo autoriza su uso.

**4.07 EQUIVALENTE DE ARENA DE LOS ARIDOS COMBINADOS.** Cuando los áridos se combinan en las proporciones necesarias para obtener la granulometría exigida deben ensayarse por el método para determinación del equivalente de arena a que nos hemos referido en el artículo 3.34. Ensayado de esta forma, el equivalente de arena deberá ser el siguiente:

Aridos combinados-para hormigón asfáltico en capas intermedias y de superficie . . .	50 +
Aridos combinados para mezclas en instalación mezcladora para capas asfálticas intermedias o de superficie . . . . .	45 +
Aridos para capas de base y de superficie mezcladas <i>in situ</i> . . . . .	35 +
Aridos combinados para sellados con lechada asfáltica . . . . .	40 +
Aridos para capas de base, asfálticas o no .	30 +
Sub-bases no asfálticas . . . . .	25 +

### **C) Clasificación de las mezclas asfálticas para pavimentación**

**4.08 DESCRIPCION.** Pueden producirse mezclas asfálticas para pavimentación con una amplia gama

de combinaciones de áridos, cada una de las cuales tiene sus características peculiares y es adecuada para empleos específicos. Aparte del contenido de asfalto, las principales características de una mezcla se determinan fundamentalmente por las proporciones de:

Aridos gruesos (retenidos en el tamiz núm. 8)<sup>1</sup>.

Aridos finos (que pasan por el tamiz núm. 8).

Polvo mineral (que pasa por el tamiz núm. 200).

La composición de los áridos puede variar desde una mezcla de textura grosera, en la que predominan los áridos gruesos, a una mezcla de textura fina, en la que predominan los áridos finos.

Para encerrar estas variables en expresiones generales el Instituto del Asfalto clasifica las mezclas asfálticas en caliente para pavimentación basándose en las proporciones de áridos gruesos y finos y polvo mineral. Los límites generales para cada tipo de mezcla (I a VIII) se indican en forma de gráfico (véase la figura IV-2) con la designación de la mezcla y el máximo tamaño de los áridos normalmente empleados.

El gráfico tiene en cuenta, para determinar el tipo de mezcla, primordialmente, las proporciones de áridos finos y gruesos. Importancia análoga tiene la proporción de polvo mineral, cuyos límites normales se representan por franjas sombreadas. Este tipo de representación indica límites flexibles y no un valor numérico fijo.

El gráfico de clasificación (véase la fig. IV-2) indica el campo de variación del contenido de polvo mineral para cada tipo de mezcla, incluyendo capas de superficie, de nivelación, intermedias y de base. Dada una combinación cualquiera de áridos gruesos y finos (esto es, un tipo de mezcla) las mezclas para capas de superficie contendrán normalmente más polvo mineral que las de base o intermedias, y las de base contendrán

---

<sup>1</sup> Ya se sabe que diversos Organismos emplean diferentes tamices como punto de separación entre áridos gruesos y finos. Después de estudiar las razones que aconsejan los diversos puntos de separación, el Instituto del Asfalto ha adoptado el tamiz número 8.

normalmente una proporción mínima de polvo mineral. Por consiguiente, dado un tipo particular de mezcla, las mezclas para capas intermedias y de base caerán normalmente a la izquierda del gráfico y las mezclas para capa de superficie a la derecha de las anteriores. Las mezclas para capas de nivelación pueden caer en cualquier zona del gráfico. Desde luego, hay que hacer resaltar que todas estas reglas admiten excepciones.

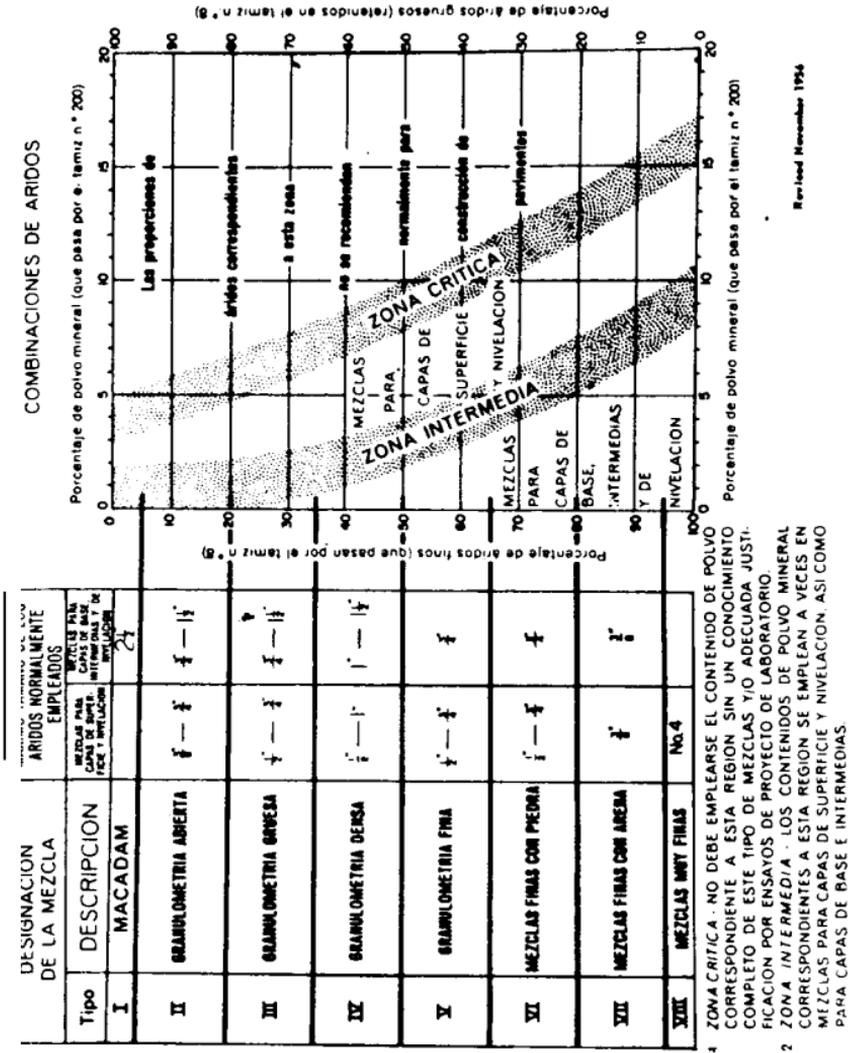


Figura N-2. Clasificación de las mezclas asfálticas para pavimentación.

Tipo de mezcla <i>f</i>	2½ in	1½ in	1 in	¾ in	½ in	¼ in	# 4	# 8	# 16	# 30	# 50	# 100	# 200	Porcentaje de asfalto
II a					100	100	40-85	5-10					0-4	4,0-5,0
II b					100	70-100	20-40	5-20					0.4	4,0-5,0
II b						100	20-40	5-20					0,4	4,0-5,0
II c				100	70-100	45-75	20-40	5-20					0-4	3,0-6,0
III a				100	100	75-100	35-55	20-35		10-22	6-16	4-12	2-8	3,0-6,0
III b				100	75-100	60-85	35-55	20-35		10-22	6-16	4-12	2-8	3,0-6,0
IV a					100	80-100	55-75	35-50		18-26	13-23	8-16	4-10	3,5-7,0
IV b				100	80-100	70-90	50-70	35-50		18-29	13-23	8-16	4-10	3,5-7,0
IV c			100	80-100	60-80	48-65	35-50			19-30	13-23	7-15	0-8	3,5-7,0
V a					100	85-100	65-80	50-65	37-52	25-40	18-30	10-20	3-10	4,0-7,5
V b*				100	85-100	65-80	50-65	37-52	25-40	18-30	10-20	10-20	3-10	4,0-7,5
VI a					100	85-100	65-78	50-70	35-60	25-4X	15-30	10-30	6-12	4,5-8,5
VI b*				100	85-100	65-80	65-80	47-68	30-55	20-40	10-25	10-25	3-8	4,5-8,5
VII a'					100	85-100	85-100	80-95	70-89	55-80	30-60	10-35	4-14	6,0-11,0
VIII a						100	85-100	Y5-100	85-98	70-95	40-75	20-40	8-16	6,5-12,0

II c			100	100	70-100	45-75	20-40	5-20					0-4	3,0-6,0
II d			100	70-100		35-60	15-35	5-20					0-4	3,0-6,0
III b			100	100	75-100	60-85	35-55	20-35	10-22	6-16	4-12		2-8	3,0-6,0
III c			100	100	75-100	60-85	30-50	20-35	5-20	3-12	2-8		0-4	3,0-6,0
III d			100	75-100		45-70	30-50	20-35	5-20	3-12	2-8		0-4	3,0-6,0
IV c			100	80-100		60-80	48-65	35-50	19-30	13-23	7-15		0-8	3,5-7,0

10-25

I a	100	35-70		0-15				0-5					0-3	3,0-4,5
II d			100	70-100		35-60	15-35	5-20					0-4	3,0-6,0
III e		100	70-100	50-80		25-60	10-30	5-20					0-4	3,0-6,0
III d			100	75-100		45-70	30-50	20-35	5-20	3-12	2-8		0-4	3,0-6,0
III e		100	75-100	60-85		40-65	30-50	20-35	5-20	3-12	2-8		0-4	3,0-6,0
N d		100	80-100	70-90		55-75	45-62	35-50	19-30	13-23	7-15		0-8	3,5-7,0

GRADACIONES INTERMEDIAS QUE SE HAN EMPLEADO CON EXITO

A				100	95-100		50-70	30-50			5-25		2-10	4,0-9,5
B		100	95-100		60-80		30-50	20-40			3-25		1-10	4,0-9,5
C	100	95-100		60-80			25-45	15-35			3-20		0-5	4,0-9,5



Este método de clasificación se desarrolló para codificar la terminología y designaciones para mezclas asfálticas en caliente normalmente empleadas en distintas partes de los Estados Unidos. Los términos y límites incluidos concuerdan en general con la práctica general, pero pueden no hacerlo con la de una región determinada. Aparte de las ventajas de normalizar la terminología, el empleo de este método de clasificación de mezclas para pavimentación permite una subdivisión lógica de cada tipo en una serie de subtipos de empleos específicos, como capas de superficie, mezclas para sellado, capas intermedias, de nivelación o de base. La descripción, usos principales y aplicaciones en pavimentación de la serie completa de tipos de mezclas se desarrollan con detalle en el capítulo II, «Procedures for Developing Specifications», de *Specifications and Construction Methods for Hot-Mix Asphalt Paving for Streets and Highways*, S. S. 1, publicado por el Instituto del Asfalto. La tabla IV-7 contiene un sumario de las composiciones recomendadas.

## D) Proyecto de mezclas asfálticas

Tabla IV-8

### CAMPO DE EMPLEO DE LOS METODOS DE PROYECTO DE LABORATORIO<sup>1</sup>

Tipo y descripción de la mezcla para pavimentación <sup>2</sup>	Hubbard-Field original	Hubbard-Field modificado	Marshall	Hveem	Triaxial de Smit
I Macadam ....	X	X	X	X	X
II Tipo abierto ..	X	X	X	D	D
III Granulometría gruesa....	X	D	D	A	A
IV Granulometría mediana .....	X	A	A	A	A
V Granulometría fina.....	X	A	A	A	A
VI Sheet asphalt con piedra. *	A	A*	A	A	A
VII Sheet asphalt con arena (rand asphalt) .....	A	A*	A	A	e
VIII Sheet asphalt fino .....	A	A*	A	A	A

A—Adecuado.

D—Dudoso.

X—NO utilizable.

\* Este método es aceptable para estas mezclas. Sin embargo, el molde de 2" de diámetro empleado en el ensayo original Hubbard-Field resulta preferible.

<sup>1</sup> Véase 3.41, 3.42, 3.43, 3.44 para la descripción de los métodos.

<sup>2</sup> Véase 4.00.

**Tabla IV-9**  
**LIMITES SUGERIDOS PARA LOS**  
**RESULTADOS DE LOS ENSAYOS<sup>1</sup>**

Método de proyecto <sup>2</sup>	Tráfico pesado y muy pesado		Tráfico medío		Tráfico ligero	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
<b>MARSHALL</b>						
Número de golpes de compactación en cada extremo de la probeta.						
Estabilidad, libras	750	—	500	—	500	—
Fluencia <sup>3</sup> , expresada en 0.01 pulgadas	8	18	8	18	8	20
Huecos en la mezcla total %						
Capas de superficie o nivelación	3	5	3	5	3	5
Sheet asphalt con arena o piedra	3	8	3	8	3	8
Capas intermedia o de base	3	8	3	8	3	8
Huecos de los áridos rellenos de asfalto %						
Capas de superficie o nivelación	75	82	15	85	75	85
Sheet asphalt con arena o piedra	65	12	65	75	65	15
Capas intermedia o de base	65	12	65	75	65	75
<b>HUBBARD-FIEL</b>						
Método original						
Estabilidad, libras.	2000	—	1200	2000	1200	2000
Huecos en la mezcla total, %	2	5	2	5	2	5
Método modificado						
Estabilidad, libras.	3500	6000	2500	6000	2500	6000
Huecos en la mezcla total, %	2	5	2	5	2	5
<b>IVEEM</b>						
Valor del estabilómetro	35	—	35	—	30	—
Valor del cohesiómetro	50	—	50	—	50	—
Intumescimiento, pulgadas	—	.03	—	.03	—	.03
Huecos de mezcla total, %	4	—	4	—	4	—
<b>MÉTODO TRIAXIAL DE SMITH</b>						
Adhesión unitaria, C, libras por pulgada cuadrada						
Ángulo de rozamiento interno, φ, grados						
Huecos en la mezcla total, %						
		10	5	10	5	10

Véase la figura 45 de la página 141,  
*Mix Design Methods for Hot-Mix Asphalt Paving, M. S. n.º 2.*

1. Criterios aplicables solamente cuando el ensayo se hace de acuerdo con los métodos descritos en la publicación del Instituto del Asfalto, "Mix design methods for hot mix asphalt paving, M. S. n.º 2".
2. Véase 3.41, 3.42, 3.43 y 4.44 la descripción de los métodos de proyecto, con referencia a detalles de procedimiento y equipo.
3. Se sugiere que en las paradas de autobuses, cruces y zonas similares se especifique el empleo de valores de la fluencia próximos al mínimo.
4. Aunque no forma parte del método de proyecto normal, se hace lo posible por lograr un contenido mínimo de huecos en la mezcla total del 4%.

## ***E) Control de las temperaturas de aplicación del asfalto***

4.09 GENERALIDADES. El asfalto es un material termoplástico cuya viscosidad disminuye al crecer su temperatura. La relación entre la temperatura y la viscosidad, sin embargo, puede no ser la misma para diferentes orígenes o tipos y grados de material asfáltico.

4.10 TEMPERATURAS DE APLICACION. Normalmente se especifican las temperaturas de aplicación para diversos empleos de los materiales asfálticos, pero como consecuencia de las variaciones de viscosidad, el especificar solamente la temperatura no es suficiente para hacer un uso adecuado de los materiales. Por ello, el Instituto del Asfalto recomienda que se tenga en cuenta la relación viscosidad-temperatura de cada material asfáltico antes de fijar la temperatura adecuada para el tipo de procedimiento constructivo empleado.

La viscosidad más conveniente para la aplicación depende de varios factores, como:

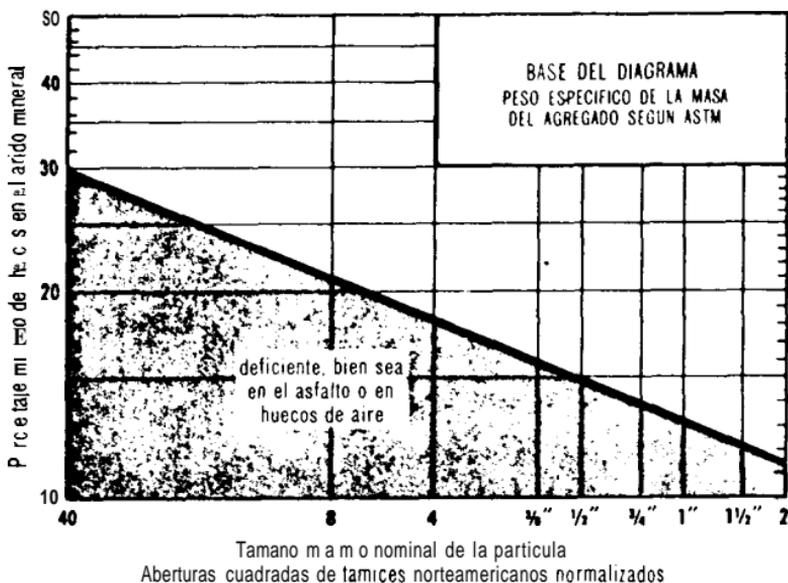
1. Tipo de aplicación (mezcla o riego).
2. Características y granulometría de los áridos.
3. Condiciones atmosféricas (importantes en la aplicación por riego).

Como consecuencia de estos factores variables, la viscosidad adecuada para una aplicación específica debe fijarse, por ensayo, dentro de márgenes que especificamos más adelante.

La temperatura más adecuada para mezclado en instalación mezcladora es aquella a que la viscosidad del asfalto está comprendida entre 75 y 150 s Saybolt Furol. Las temperaturas más elevadas de este campo de variación son normalmente más adecuadas para mezclas con áridos gruesos, y las más bajas para mezclas con áridos finos. No hay que olvidar que la temperatura de los áridos regula en medida importante la temperatura de la mezcla.

La viscosidad más adecuada para el riego está comprendida normalmente entre **25** y **100 SSF**. Se emplean las viscosidades más elevadas de este margen para sellado y penetración de superficies abiertas, y las más bajas para sellado y penetración de superficies cerradas.

A falta de datos adecuados sobre la relación viscosidad-temperatura puede emplearse la tabla IV-10, que da una orientación para la determinación de las temperaturas de aplicación.



**Figura IV-3. Relación entre los huecos mínimos en el árido mineral y el tamaño máximo nominal de partículas de áridos para mezclas de pavimentación compactas de gradación densa.**

**4.11 ESPECIFICACIONES.** El contratista o el suministrador del asfalto dará al ingeniero datos sobre la relación temperatura-viscosidad de cada uno de los asfaltos a emplear en la obra. Estos datos cubrirán el margen de temperaturas y viscosidades dentro del que puede ser empleado el asfalto. Tomando como base estos datos, el ingeniero especificará la temperatura de empleo de cada material.

Para mezclas la temperatura especificada será tal que la viscosidad del asfalto esté comprendida dentro del margen de **75** a **150 SSF**.

Tabla IV-10

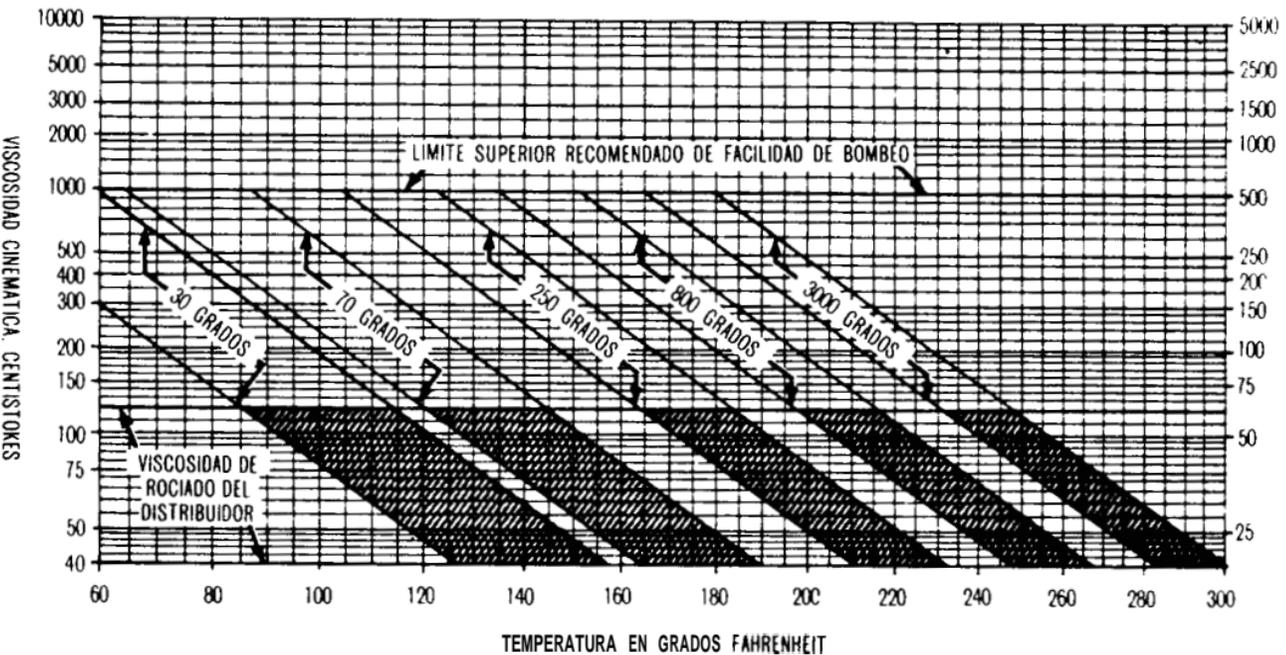
Tipo y grado de asfalto	Temperatura de empleo recomendada	
	'ara mezcla	Para riego'
<i>Bctunes asfálticos:</i>		
40-50 . . . . .	150-180 °C	2
60-70 . . . . .	135-165 °C	140-175 °C
85-100. . . . .	135-165 °C	140-175 °C
120-150. . . . .	135-165 °C	140-175 °C
200-300. . . . .	95-135 °C	125-160 °C
<i>Asfalros liguidos de ripo RC:</i>		
RC-O. . . . .	10-50 °C	18-58 °C
RC-1. . . . .	25-52 °C	45-83 °C
RC-2. . . . .	25-52 °C	60-99 °C
RC-3. . . . .	50-80 °C	77-115 °C
RC-4. . . . .	65-95 °C	83-125 °C
RC-5. . . . .	80-110 °C	100-140 °C
<i>Asfalros liguidos de tipo MC:</i>		
MC-0 . . . . .	10-50 °C	21-60 °C
MC-1 . . . . .	25-52 °C	43-85 °C
MC-2 . . . . .	38-93 °C	60-102 °C
MC-3 . . . . .	65-95 °C	80-121 °C
MC-4 . . . . .	80-110 °C	88-129 °C
MC-5 . . . . .	94-121 °C	104-144 °C
<i>Asfalros liguidos de tipo SC:</i>		
sc-0. . . . .	10-50 °C	21-60 °C
sc-1. . . . .	25-93 °C	43-85 °C
sc-2. . . . .	65-93 °C	60-102 °C
sc-3. . . . .	80-121 °C	80-121 °C
sc-4. . . . .	80-121 °C	88-129 °C
SC-5. . . . .	94-135 °C	104-144 °C
<i>Emulsiones asfálticas:</i> <sup>3</sup>		
RS-1. . . . .	4	24-54 °C
RS-2. . . . .	4	43-71 °C
MS-2 . . . . .	38-71 °C	38-71 °C
SS-1 . . . . .	24-54 °C	24-54 °C
SS-1h . . . . .	24-54 °C	24-54 °C

<sup>1</sup> La temperatura inferior corresponde a una viscosidad de 100<sup>7</sup> segundos Saybolt-Furol pan el asfalto liquido, correspondiente al limite inferior de esta especificación, y la temperatura superior corresponde a una viscosidad de 25 s

<sup>2</sup> Rara vez se emplea en riego

Como las temperaturas de empleo de las emulsiones son relativamente bajas y se fijan solamente determinando la temperatura necesaria para que la viscosidad sea tal que la emulsión pueda pulverizarse para las boquillas, se recomienda la misma temperatura pan riego que pan mezcla

<sup>3</sup> No se emplea en mezclas



**Figura IV-4. Viscosidad-temperatura de los asfaltos líquidos**

$$\text{Viscosidad cinemática, centistokes} = \frac{\text{viscosidad absoluta, centistokes}}{\text{densidad}}$$

Viscosidad Saybolt-Furol = 0.5 de la viscosidad en centistokes

### VISCOSIDAD/TEMPERATURA EN LOS ASFALTOS

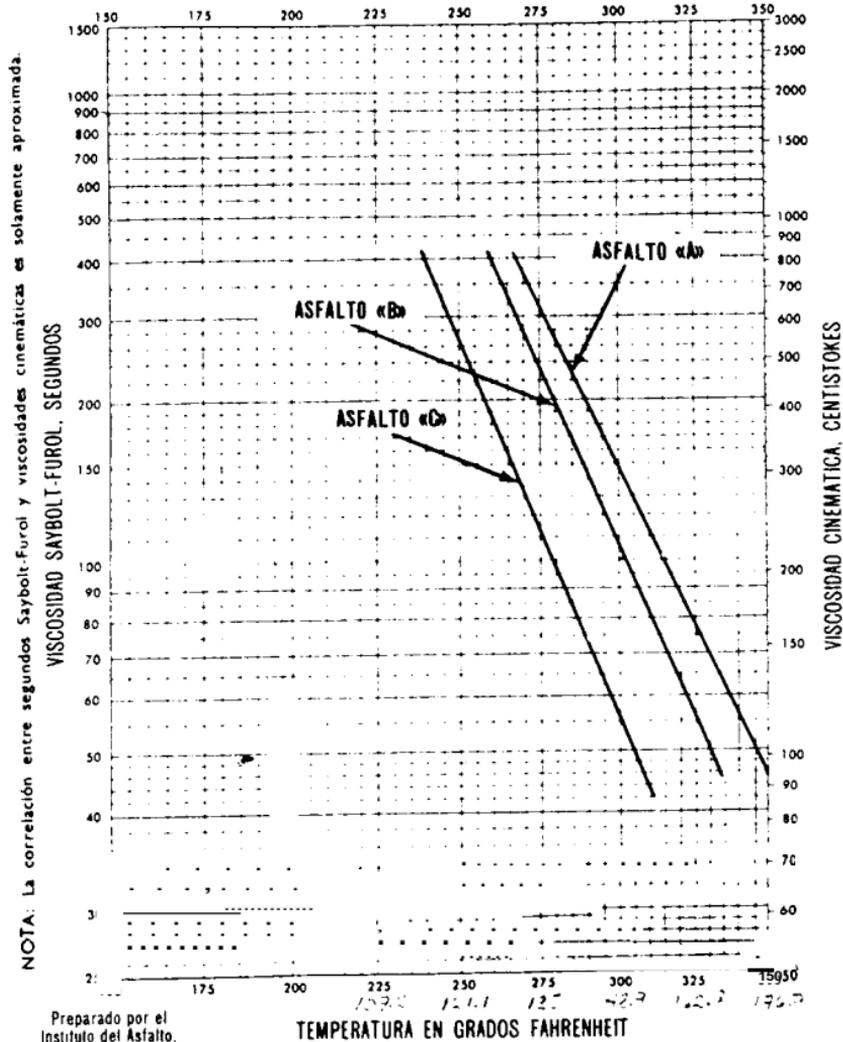


Figura IV-5. Relaciones viscosidad-temperatura en los asfaltos.

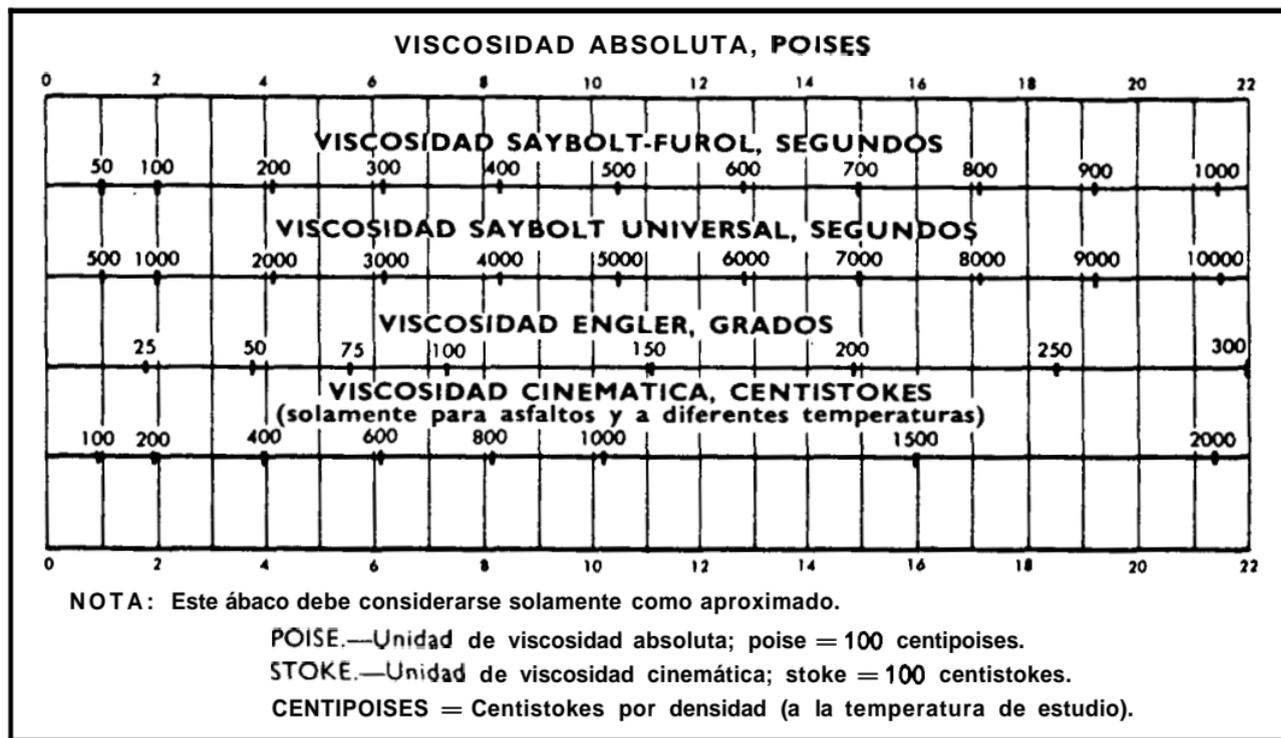


Figura IV-6. Conversión de unidades de viscosidad.

Para riegos la temperatura especificada será tal que la viscosidad del asfalto esté comprendida dentro del margen de 25 a 100 SSF.

#### ATENCION

La tabla de temperaturas de empleo recomendadas indica las temperaturas necesarias para conseguir una viscosidad del asfalto adecuada para las aplicaciones por riego y por mezcla en los tipos indicados. Hay que tener en cuenta **sin** embargo que las temperaturas indicadas **son** generalmente superiores a los puntos de **inflamación mínimos** de **tos** asfaltos fluidificados, según las especificaciones del Instituto del Asfalto y otros organismos.

De hecho, algunos de estos asfaltos fluidificados **son** muy inflamables incluso a temperaturas por debajo de las que **se** dan en la tabla, por lo que es indispensable tomar las medidas de precaución adecuadas siempre que **se** manejen estos materiales. Entre estas medidas de precaución figuran las **siguientes**:

1. No debe permitirse la presencia de llamas abiertas o chispas en la **proximidad** de estos materiales. El calor necesario debe aplicarse en forma controlada en calderas, mezcladores, distribuidores u **otra** maquinaria de aplicación proyectada y aprobada para este fin.
2. No deben **utilizarse** llamas abiertas para **examinar** bidones, cisternas u otros recipientes en los que **se** hayan almacenado estos materiales.
3. Todos los vehículos **que** transporten materiales de este **tipo** deben tener **bocas** de ventilación adecuadas.
4. Sólo debe vigilar el manejo de estos materiales personal experimentado.

4.12 REFERENCIAS. Las siguientes publicaciones del Instituto del Asfalto contienen más información sobre las normas y recomendaciones para emplear asfaltos, áridos y mezclas:

1. *Specifications and Cmstruction Methods for Asphalt Concrete and Other Plant-Mix Types*, Specification Series núm. 1 (SS-1).
2. *Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types*, Manual Series núm. 2 (MS-2).

# Capítulo V

## PROYECTO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

### *A) Cálculo de los espesores*

portante cada vez más elevados desde el terreno hasta la superficie del pavimento. Las características de los materiales utilizados influirán en el espesor de cada

han determinado con precisión los coeficientes de sustitución de espesores y las duraciones previsibles de estas mezclas.

**5.02 METODO DE CALCULO.** El método del Instituto del Asfalto para la determinación de espesores de los pavimentos asfálticos utiliza como datos el tráfico previsto, la resistencia de la superficie de sustentación existente (CBR, Valor R, Valor Portante y Ensayo de Placa), la calidad de los materiales a utilizar y los procedimientos de construcción.

1. *Estudio del tráfico.* El tráfico previsto se materializa en un *Indice de Trafico de Proyecto*, que es el numero medio de ejes simples de **18 000** libras previsible por día y vía de tráfico más pesado durante el período de proyecto, que es normalmente de **20** años. Hay varios métodos para calcular el Indice de Tráfico de Proyecto. Las figuras V-1 y V-2 son ábacos simplificados para la determinación de este valor.
2. *Resistencia del terreno y de los materiales de subbase y base.* Debe medirse la resistencia del material que vaya a utilizarse en la construcción de la estructura de un pavimento asfáltico consiguiendo datos para un proyecto adecuado y económico (véase el apéndice A). También es necesario estudiar los materiales para determinar su calidad y establecer las exigencias de compactación. Los ensayos para la determinación de la resistencia mecánica que se indican a continuación son los más frecuentemente utilizados y los recomendados por el Instituto del Asfalto:
  - a) Valor portante de California (CBR).
  - b) Valor portante en el ensayo de placa, en **kg/cm<sup>2</sup>**, placa de **30** cm, asiento de **5** mm, 10 repeticiones.
  - c) Valor R (Hveem).

Los métodos para determinar la resistencia de los materiales de cimentación se describen con detalle en el libro *Soils Manual for the Design of Asphalt Pavement Structures*, Manual Series núm. 10 (**MS-10**).

3. *Métodos de proyecto.* Después de determinar la resistencia de los materiales de cimentación y el Índice de Tráfico de Proyecto, se determina el espesor de la estructura del pavimento mediante el empleo del ábaco de proyecto adecuado (figs. V-3 y V-4). Como consecuencia de las dife-

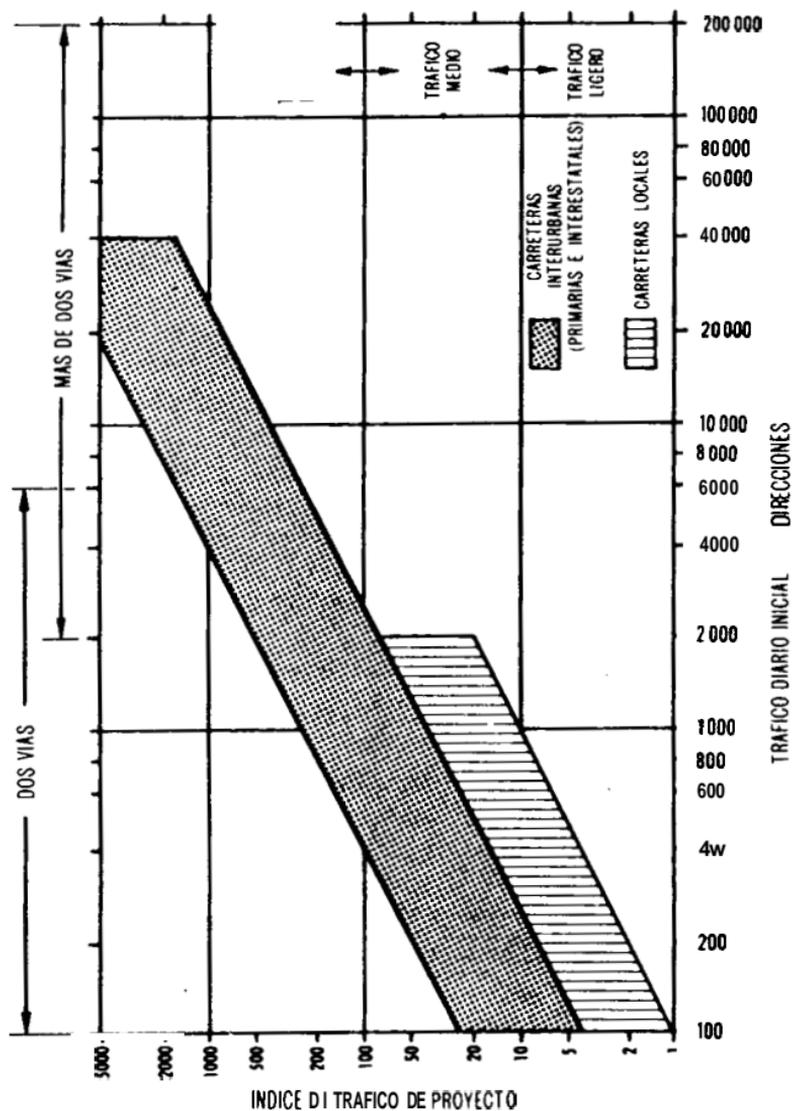


Figura V-1. Gráfico del análisis de la circulación, carreteras interurbanas y caminos vecinales.

rencias de procedimiento y valores numéricos en los valores del CBR y del valor R, se dan ábacos de proyecto separados para cada uno. Como puede establecerse una correlación entre los valores portantes en el ensayo de placa y el CBR obtenido por ensayo en laboratorio de muestras

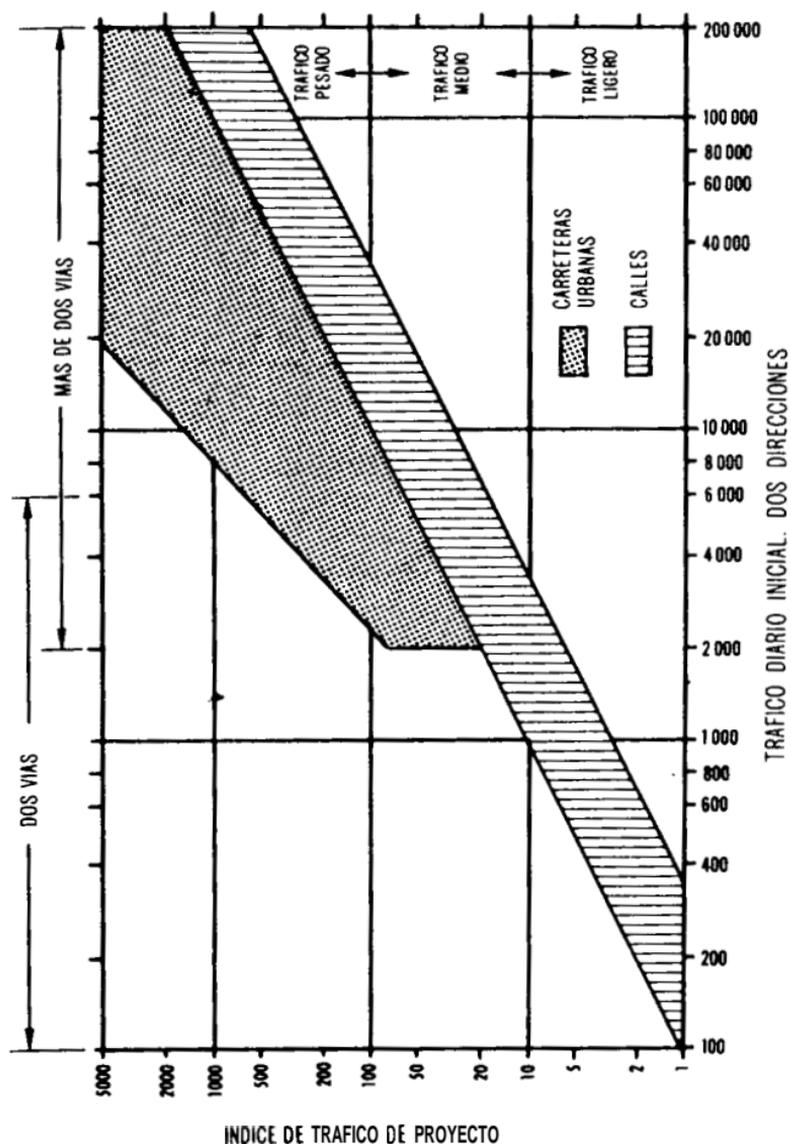
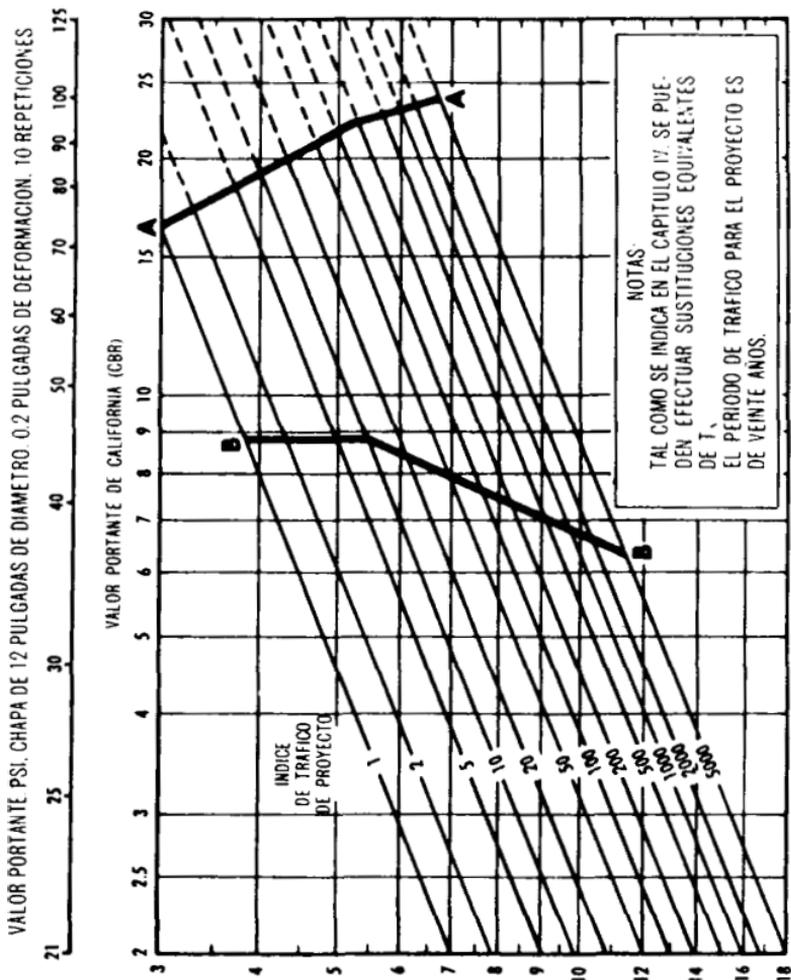


Figura V-2. Gráfico de análisis de la circulación, carreteras urbanas y calles.



T - ESPESOR TOTAL DE LA BASE Y SUPERFICIE DEL HORMIGON ASFALTICO, EN PULGADAS

La línea A determina el espesor mínimo necesario del hormigón asfáltico

La línea B determina el espesor mínimo de la base para que se permita el empleo de material granulado de subbase

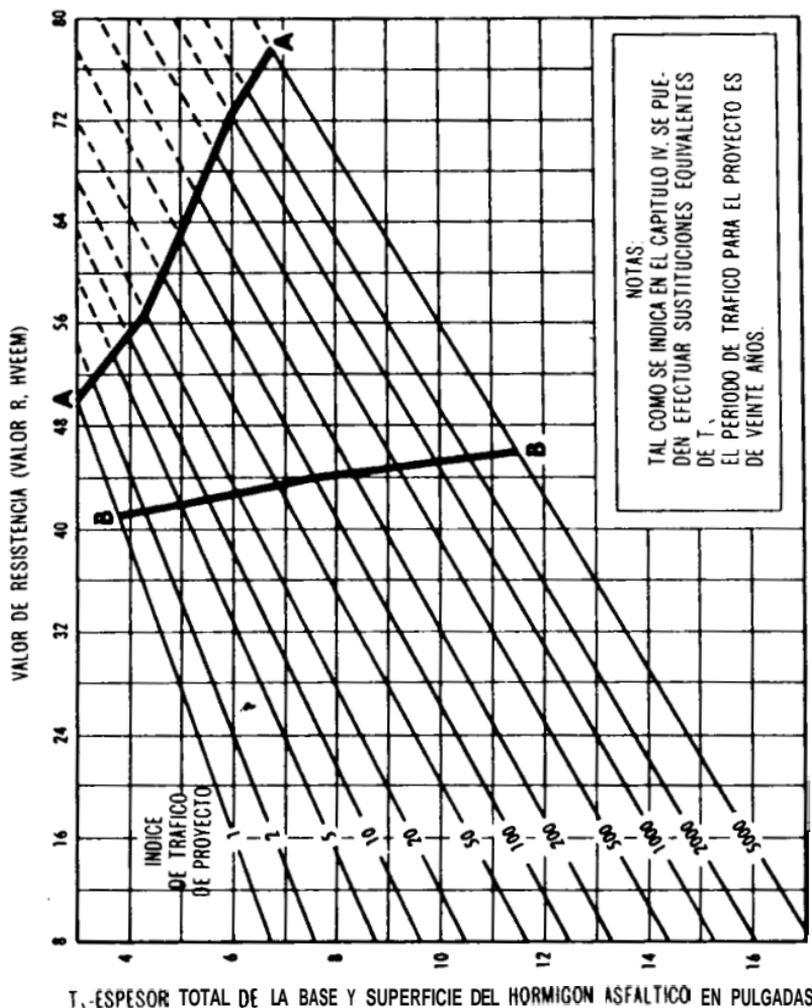
**Figura V-3. Condiciones de espesor para pavimentos de asfalto cuando se emplean valores portantes en el ensayo de placa o valores portantes de California para calcular la resistencia del terreno.**

no perturbadas, puede utilizarse el mismo ábaco sea cual fuere el ensayo utilizado de estos dos.

Cuando existe cierta variedad de materiales disponibles para la construcción de la estructura de un pavimento asfáltico, deben estudiarse diversas variantes utilizando combinaciones distin-

tas de estos materiales para determinar el pavimento más económico.

4. *Estudio económico y selección de la solución.* Después de proyectar diversas variantes, se determina el costo estimado de cada sección, incluyendo otros elementos, como los costos anuales medios



La línea A determina el espesor mínimo necesario del hormigon asfáltico  
 La línea B determina el espesor mínimo de la base y de la superficie que hace falta para que se permita el empleo de materia granulado de subbase

**Figura V-4. Espesor necesario de las estructuras de pavimentación de asfalto empleando valores de resistencia del terreno.**

de conservación, las condiciones climatológicas y los resultados obtenidos en la práctica con pavimentos asfálticos construidos utilizando los materiales locales. En el capítulo VI se dan procedimientos detallados para calcular el costo anual de las carreteras o de sus pavimentos.

En ciertas zonas, la experiencia y condiciones locales pueden justificar una modificación del espesor del proyecto. Los espesores obtenidos por el mi-todo del Instituto del Asfalto están del lado de la seguridad y son adecuados para las condiciones más difíciles. Sin embargo, los ensayos físicos y químicos, normalmente utilizados pueden no ser suficientes para prever el comportamiento de los suelos. Cuando hay motivos para creer que existe este tipo de circunstancias, debe consultarse a un experto en el tipo de suelos en cuestión.

**5.03 PERIODO DE PROYECTO.** El período de proyecto es el número de años que debe pasar antes de que sea necesario aplicar el primer refuerzo al nuevo pavimento asfáltico. El procedimiento que se describe en el Manual de Cálculo de Espesores (MS-1, *Thickness Design*) del Instituto del Asfalto, se basa en un período de proyecto de 20 años, pero se dan los métodos que pueden utilizarse para períodos de proyecto de duración mayor o menor. Se estima que el final del período de proyecto es el momento en que el pavimento alcanza un índice de utilidad de 2,5<sup>1</sup>.

**5.04 PREVISION DE LA CONSTRUCCION POR ETAPAS.** Muy frecuentemente puede preverse la construcción por etapas para lograr mayor economía y mejor comportamiento del pavimento. Un posible método es proyectar para períodos relativamente cortos, por ejemplo cinco años o menos, previendo los refuerzos que puedan ser necesarios. Otro método es proyectar para un período de 20 años por ejemplo,

---

<sup>1</sup> El índice de utilidad es un número comprendido entre 0 y 5 que permite clasificar un pavimento según sus cualidades de rodadura. Los firmes a los que corresponde una puntuación de 2,5 necesitan un nuevo pavimento.

reduciendo después el espesor en 3 a 5 cm y previendo añadir el espesor restante cuando el índice de utilidad se aproxime a 2,5. Ambos métodos se describen con detalle en el Manual MS-1 *Thickness Design* del Instituto del Asfalto. También en los capítulos VI y IX de la presente obra se trata de la construcción por etapas.

**5.05 DRENAJE Y COMPACTACION.** Un buen drenaje y una completa preparación y compactación del terreno y de la base son características esenciales de un pavimento adecuadamente proyectado y construido. El Manual sobre cálculo de espesores (MS-1) contiene información sobre el drenaje de las estructuras de los pavimentos asfálticos, lo mismo que el capítulo VIII de esta obra. También se dan detalles sobre la compactación de las diversas capas de la estructura de un pavimento asfáltico en el citado manual MS-1, *Thickness Design*.

**5.06 EFECTOS DE LAS HELADAS.** La susceptibilidad a las heladas está estrechamente relacionada con la susceptibilidad al agua, por lo que, tanto la selección como el tratamiento de los materiales encaminados a conseguir la resistencia a uno de los efectos, lo conseguirá también respecto al otro. En los lugares en que se producen temperaturas muy bajas que puedan dar lugar a la congelación del terreno deben elegirse para la subbase y la capa de terreno mejorado, materiales que no puedan tener un comportamiento perjudicial cuando sean sometidos a ciclos de hielo y deshielo. Debe tenerse en cuenta la posibilidad de utilizar membranas asfálticas para controlar la humedad de los terraplenes construidos con suelos susceptibles de grandes cambios de volumen.

Los problemas que produce la congelación y sus posibles soluciones, incluso el empleo de las membranas asfálticas, se estudian detalladamente en el manual de cálculo de espesores del Instituto del Asfalto (MS-1, *Thickness Design*).

**5.07 RECARGOS ASFALTICOS SOBRE PAVIMENTOS EXISTENTES.** Los pavimentos existentes pueden mejorarse aplicándoles una capa de rodadura de hormigón asfáltico o, en caso de que sea

necesario, una capa de base y otra de rodadura. En ciertas condiciones, puede incluirse en el recargo una base de alta calidad no asfáltica. Los recargos pueden dividirse en dos categorías, según su finalidad:

1. Recargos destinados a conseguir superficies de rodadura lisas, antideslizantes e impermeables, o a conseguir mejora de los perfiles longitudinal o transversal.
2. Recargos destinados a reforzar pavimentos existentes de forma que puedan soportar cargas mayores o incrementos del tráfico.

En el primer caso, los recargos se componen usualmente en su totalidad de hormigón asfáltico y el espesor necesario está determinado por factores no relacionados con el incremento de la resistencia del pavimento.

En el segundo caso, en el que es necesario un aumento de la resistencia de la estructura, el procedimiento de proyecto se basa en el concepto de que las capas antiguas y las nuevas deben formar una estructura compuesta, con la resistencia y características de funcionamiento necesarias para las nuevas condiciones.

El manual de cálculo de espesores MS-1 describe los procedimientos para determinar el espesor de los recargos.

## ***B) Cálculo de espesores para pavimentos de aeropuertos***

5.08 GENERALIDADES. Lo mismo que en las carreteras, el proyecto de la estructura del pavimento para un aeropuerto debe comenzar con el estudio y clasificación del terreno sobre el que hay que trabajar. Deben determinarse las propiedades que afectan al comportamiento del suelo, como la granulometría, el contenido de humedad y el poder de sustentación, estimando a continuación las máximas cargas previstas por rueda. Los espesores de las capas del pavimento dependen de las características de los materiales de construcción que se utilicen.

5.09 METODOS DE PROYECTO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO. Actualmente

hay tres métodos frecuentemente utilizados para la determinación de los espesores totales necesarios en las estructuras de los pavimentos asfálticos para aeropuertos. Son el CBR, el ensayo de placa y el de la FAA (Federal Aeronautics Administration). Estos tres métodos difieren fundamentalmente en los procedimientos empleados para determinar la resistencia del terreno. El CBR mide esta resistencia mediante el ensayo CBR (California Bearing Ratio). El método de ensayo de placa utiliza este ensayo para determinar el valor portante del terreno y el de la FAA se basa en la clasificación del terreno (valores F) que depende de su textura y de las condiciones climatológicas y de drenaje. Los organismos que emplean cada uno de los tres métodos citados para valorar el terreno han desarrollado los correspondientes ábacos de curvas de proyecto. Estas curvas indican el espesor de las estructuras de los pavimentos necesario para soportar ruedas o aeronaves de pesos diversos sobre terrenos con valores portantes comprendidos dentro de determinados límites. El manual *Asphalt Pavements for Airports* (MS-11) del Instituto del Asfalto, contiene curvas de proyecto desarrolladas por el Instituto del Asfalto para una amplia gama de trenes de rodadura. Estas curvas, aunque similares en términos generales a las creadas por otros organismos, no son idénticas en todos los aspectos.

**5.10 RECARGOS ASFÁLTICOS PARA PAVIMENTOS DE AEROPUERTOS.** Los pavimentos de aeropuertos antiguos no fueron proyectados o construidos para soportar el tráfico y las cargas impuestas por las aeronaves más grandes y pesadas que hoy los utilizan. Otros fueron construidos de forma deficiente y se están averiando, y otros a su vez sufren los efectos de la falta de una conservación adecuada durante períodos prolongados. El recargo de estos pavimentos mediante de hormigón asfáltico puede mejorar y reforzar su estructura de una forma eficaz. El manual *Asphalt Pavements for Airports* (MS-11) describe los métodos de valoración, proyecto y construcción indicados para el refuerzo de los pavimentos en aeropuertos.

### ***C) Proyecto de mezclas asfálticas***

5.11 GÉNERALIDADES. El proyecto de mezclas asfálticas en caliente destinadas a soportar tráfico pesado debe basarse en las consideraciones siguientes:

1. Cuando esté perfectamente compactada, la mezcla debe presentar una estabilidad no inferior a los mínimos establecidos.
2. Cuando estén perfectamente compactadas, las capas de rodadura con áridos de granulometría densa no deben contener más del 5 % ni menos del 3 % de huecos. El límite superior asegura la impermeabilidad del pavimento y el inferior garantiza la estabilidad y ausencia de exudaciones.
3. La mezcla debe contener un porcentaje de asfalto lo más alto posible siempre que se cumplan las condiciones 1 y 2. De esta forma se consigue la máxima durabilidad del pavimento en condiciones de trabajo y se evita la disgregación debida a la escasez de asfalto.
4. La mezcla debe ser fácilmente trabajable cuando se calienta a la temperatura especificada para su extendido, de forma que resulte fácil el extendido uniforme y la compactación durante la construcción del pavimento. No hay ningún ensayo establecido para determinar la docilidad o trabajabilidad de las mezclas asfálticas, pero la experiencia capacitará al laborante o al inspector de construcción para determinar si una mezcla es agria, rígida o elástica en grado indeseable. Frecuentemente, puede hacerse la mezcla menos agria utilizando un porcentaje más reducido de áridos gruesos. La rigidez puede reducirse utilizando porcentajes inferiores de arena fina y filler. La elasticidad puede reducirse a veces disminuyendo el porcentaje de asfalto y filler. Naturalmente, no deben hacerse cambios de este tipo sin comprobar sus efectos sobre la estabilidad, cuya conservación dentro de los límites establecidos puede exigir a su vez nuevos cambios.

5.12 METODOS PARA PROYECTO DE MEZCLAS. Puede consultarse el capítulo IV del manual *Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types* (MS-1) del Instituto del Asfalto para obtener detalles sobre los métodos de proyecto de mezclas.

5.13 REFERENCIAS. Se estudian con detalle los métodos para proyecto de estructuras de pavimentos asfálticos en las siguientes publicaciones del Instituto del Asfalto:

1. *Thickness Design-Asphalt Pavement Structures for Highways and Streets*, **MS-1**.
2. *Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types*, **MS-2**.
3. *Soils Manual for Design of Asphalt Pavement Structures*, **MS-10**.
4. *Asphalt Pavements for Airports*, **MS-11**.

# Capítulo VI

## ECONOMIA DE LOS PAVIMENTOS ASFALTICOS

6.01 INTRODUCCION. Al proyectar un pavimento, debe elegirse la sección que presente una combinación óptima de cualidades técnicas y costo. Debe empezarse por estudiar varias soluciones comparables, teniendo en cuenta todos los materiales disponibles, realizando a continuación un análisis económico para determinar cuál es la solución más satisfactoria.

Este análisis se realiza usualmente refiriéndose al costo anual por kilómetro durante el período establecido para la amortización de la inversión, cuya duración es normalmente de 40 años. Si no existe una diferencia evidente entre dos o más soluciones, deben proponerse todas ellas como soluciones alternativas.

6.02 ECONOMIA DE LA CONSTRUCCION POR ETAPAS. Frecuentemente, resulta menor el costo anual de un pavimento proyectado para su construcción por etapas que si se especifica la construcción de la estructura completa desde el primer momento. La economía se debe principalmente a la mayor duración de la estructura con una inversión aproximadamente igual.

Otra ventaja económica de la construcción por etapas se debe a la intensidad del tráfico que utiliza el pavimento. Para establecer el proyecto inicial debe estimarse la intensidad del tráfico, de manera que el aplazamiento de las últimas etapas de la construcción haga posible lograr una adaptación mejor al tráfico real que utiliza la carretera, ya que es posible realizar correcciones en el proyecto aumentando o disminuyendo el espesor final. Si es posible disminuir este espesor porque el tráfico es inferior al que se estimó previamente, se logra una economía en la construcción, mientras que si es necesario incrementarlo, se logra un

ahorro al evitar las averías que producirían las cargas excesivas.

**6.03 DETERMINACION DEL COSTO ANUAL DE LAS CARRETERAS.** Este capítulo se basa en un trabajo de R. H. Baldock<sup>1</sup> en el que estudia los métodos existentes para la determinación del costo anual de las carreteras, encontrando que **todos** ellos son similares al considerar que una carretera es una inversión de fondos públicos o privados y dan un procedimiento para determinar el costo anual, que incluye muchos factores además del costo de construcción. R. H. Baldock propuso un procedimiento adicional que describe con mayor precisión los costos totales.

Este procedimiento para valoración de carreteras incluye todos los factores que afectan al costo anual a lo largo de un periodo de estudio razonable. Para evitar la pérdida de actualidad como consecuencia de cambios tecnológicos importantes en relación con el transporte, se ha fijado un periodo de estudio de 40 años a lo largo del cual se amortiza la totalidad de la inversión, aunque indudablemente la carretera continuará teniendo utilidad como parte del sistema original o de otro de menor importancia.

Se proponen dos métodos para el estudio del costo anual. El primero comprende todos los costos de la carretera terminada y se utiliza para valorar la obra completa. El segundo estudia solamente los costos correspondientes a la obra propiamente dicha, que incluye la estructura del pavimento, los arcenes y, cuando es preciso, el drenaje. Para valorar y comparar proyectos alternativos y determinar la sección más adecuada para una carretera dada, sólo es necesario el segundo método.

**6.04 FACTORES BASICOS PARA DETERMINAR EL COSTO ANUAL.** Son los siguientes:

---

<sup>1</sup> R. H. Baldock *Determination of the Annual Cost of Highways* Highway Research Board Record 12, Highway Research Board, Washington D. C., 1963.

Nota: R. H. Baldock, ingeniero consultor y economista, fue antes ingeniero, de carreteras de la Comisión de Carreteras del Estado de Oregón.

1. **Costo inicial (por kilómetro).** El costo inicial debe comprender la construcción y las expropiaciones. El costo de construcción debe dividirse entre la estructura del pavimento y los arcones y todos los demás gastos de construcción. Esta división hace más fácil comparar los costos anuales de las diversas soluciones.

2. **Costo de conservación (por kilómetro).** Debe dividirse el costo total de conservación por kilómetro en conservación del pavimento, de los arcones y de otros elementos. La suma de estos costos debe utilizarse para la determinación del costo anual total por kilómetro, pero sólo el primero de los sumandos —que corresponde al costo de la conservación del pavimento— debe utilizarse para comparar diversas soluciones.

3. **Costo de explotación (por kilómetro).** Estos costos deben incluir todos los gastos distintos del de conservación del valor inicial de la inversión necesarios para el servicio del usuario de la carretera. Incluyen la eliminación de la nieve, el extendido de arena, pintado de franjas, establecimiento de señales y servicios similares. Muchos estados cargan alguno de los elementos indicados a la conservación y para la determinación del costo anual de la carretera no es necesario la separación de estos conceptos.

4. **Administración y gastos generales (por kilómetro).** Estos gastos son considerables y hay que tenerlos en cuenta. Se sugiere que se prorateen sobre el kilometraje total de la red basándose en el costo inicial de construcción.

5. **Costo de nueva pavimentación y frecuencia de ésta (por kilómetro).** Los costos de nueva pavimentación se estiman basándose en la experiencia. El método de proyecto de espesores que damos en este manual se basa en la aplicación de un nuevo pavimento a los veinte años de servicio, periodo que debe utilizarse como frecuencia de nueva pavimentación.

6. **Valor residual (por kilómetro).** En este procedimiento se amortiza la totalidad de la inversión realizada en una carretera a lo largo del período de estudio de 40 años, por lo que puede considerarse que

el valor residual de la obra al final de este periodo es nulo y no entra en los cálculos.

**7. Interés.** Para hacer posible una valoración económica de un proyecto es necesario tener en cuenta el interés de la inversión. Si la carretera se construye con fondos prestados es necesario pagar el interés de fctos. Por otra parte, si la obra se financia con los ingresos del propietario, el interés es una carga fija de la obra que debe compensar la pérdida de poder adquisitivo del dinero «congelado» en ella. En el caso de fondos públicos obtenidos mediante impuestos, estos fondos, si no se hubieran inmovilizado de esta forma, podrían haber sido invertidos por el público para obtener una rentabilidad segura y razonable y, por consiguiente, el interés del dinero representa un costo.

Los economistas han utilizado para el estudio de la economía de las carreteras tasas de interés comprendidas entre el 5 y el 10 %. Se recomienda el empleo del 6 % anual.

**8. Costo anual del pavimento (por kilómetro).** Cuando se realizan estudios económicos para determinar cuál es el mejor de varios proyectos posibles para un pavimento, deben utilizarse solamente los costos de construcción inicial y de conservación de la estructura propiamente dicha, prescindiendo de expropiaciones, administración y gastos generales, explotación y otros costos, ya que inciden igualmente sobre todas las soluciones.

**6.05 DETERMINACION DEL COSTO ANUAL DE LAS CARRETERAS.** En el trabajo de R. H. Baldock se dan dos expresiones para determinar el costo anual de las carreteras. La numero 1 incluye todos los costos de construcción, conservación, explotación y administración y se utiliza para calcular el costo total.

### 1. Expresión número 1

La expresión número 1 da el costo total anual de la forma siguiente:

$$C + CRF_n [A + E \cdot PWF_n] + E \cdot PWF_n \quad (1 \quad \frac{Y}{X})$$

$$(E_1 \text{ o } E) \cdot PWF_n + M + O + D$$

donde:

- C** costo anual total por kilómetro de carretera  
**CRF** valor del término neccario para amortizar un capital  

$$\frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$$
  
**PWF** valor actual de una unidad  $\frac{1}{(1+r)^t}$   
**r** interés (6 %) ,  
**n** periodo de estudio (40 años)  
**n<sub>i</sub>** número de años desde la construcción hasta la realización de trabajos complementarios  
 (Nota del instituto del Asfalto: n presentará valores diferentes en el mismo estudio según se utilice con E<sub>1</sub> o con E<sub>2</sub>.)  
**A** costo total de construcción y expropiaciones por kilómetro  
**E<sub>1</sub>** costo por kilómetro del primer refuerzo del pavimento  
**E<sub>2</sub>** costo por kilómetro del segundo refuerzo del pavimento  
**Y** numero de años entre el ultimo refuerzo del pavimento y el final del periodo de estudio  
**X** vida útil estimada del ultimo refuerzo, en años  
**M** costo anual total de conservación por kilómetro  
**O** costo de explotación anual por kilómetro  
**D** costo anual de administración y gastos generales por kilómetro.

## 2. Expresión número 2

La expresión número 3 incluye solamente los costos necesarios para comparar proyectos alternativos de pavimentos. Da el costo anual por kilómetro de la obra.

$$C_1 = \frac{CRF}{(E_1, O \ E_2)} [A_1 + E_1 PWF_1 + E_2 PWF_{n_i} + M] \left(1 + \frac{Y}{X}\right)$$

donde:

- C<sub>1</sub>** costo anual de la obra por kilómetro  
**A** costo inicial de construcción de la obra por kilómetro  
**M** costo anual de conservación de la obra por kilómetro  
 Todos los demás términos se definen bajo la expresión numero 1.

## 6.06 EJEMPLOS.

### Ejemplo número 1

Costo anual de la obra. Proyecto completo.

#### *Elementos del costo*

Periodo de estudio, **n** . . . . . 40 años.  
 Interés, **r** . . . . . 6 %

Costo inicial, <b>A</b> . . . . .	70 710 \$
Costo del refuerzo, <b>E</b> . . . . .	11 705 \$
Vida útil estimada del último refuerzo, en años, <b>X</b> .	20 años.
Costo anual de conservación, <b>N</b> , . . . . .	190 \$
Numero de años entre el último refuerzo del pavimento y el final del periodo de estudio, <b>Y</b> . . .	20 años.
Valor del término necesario para amortizar el capital (CRF 40) . . . . .	0,06646
Valor actual (PWF 40) . . . . .	0,09722
Valor actual (PWF 20) . . . . .	0,31180

$$C_1 = 0,06646 (70\ 710 + (11\ 705) (0,31180) + 0) + 190$$

$$C_1 = 0,06646 [70\ 710 + 3650] + 190$$

$$C_1 = 0,06646 [74\ 360] + 190$$

$$C_1 = 4942 + 190$$

$$C_1 = 5132\ 8 \text{ (costo anual por kilómetro).}$$

## Ejemplo número 2

Costo anual de la obra. Construcción por etapas.

### Elementos del costo

Periodo de estudio, <b>n</b> . . . . .	40 años.
Interés, <b>r</b> . . . . .	6 %
Costo inicial, <b>A</b> , (4 cm de hormigón asfáltico diferidos para el futuro) . . . . .	61 980 \$
Costo de la segunda etapa, <b>E</b> , (colocación de 4 cm a los 5 años) . . . . .	8 810 \$
Nueva pavimentación, <b>E</b> , (colocación de 5 cm a los 25 años) . . . . .	11 705 \$
Vida estimada de la segunda etapa y del nuevo pavimento . . . . .	20 años.
Costo anual de conservación, <b>M</b> , . . . . .	190 \$
Numero de años entre el último refuerzo del pavimento y el final del periodo de estudio, <b>Y</b> . . .	15 años.
Valor del término necesario para amortizar el capital (CRF - 40) . . . . .	0,06646
Valor actual (PWF 40) . . . . .	0,09722
Valor actual (PWF 5) . . . . .	0,74726
Valor actual (PWF 75) . . . . .	0,23300

$$C_1 = 0,06646 [61\ 980 + (8810) (0,74726) + (11\ 705) (0,23300) + (1 - \frac{15}{20}) (11\ 705) (0,09722)] + 190$$

$$C_1 = 0,06646 [61\ 980 + 6.583 + 2727 + 284] + 190$$

$$C_1 = 0,06646 [71\ 066] + 190$$

$$C_1 = 4719 + 190$$

$$C_1 = 4909\ $ \text{ (costo anual por kilómetro).}$$

6.07 REFERENCIAS. Las siguientes publicaciones del Instituto del Asfalto contienen información adicional sobre la economía de los pavimentos:

1. *Thickness Design-Asphalt Pavement Structures for Highways and Streets*, Manual Series núm. 1 (MS-1).
2. «The Annual Cost of Highways», por R. H. Baldock, Information Series núm. 128 (IS-128), reproducido del *Highway Research Record número 12*, Highway Research Board, Washington, D.C., 1963.

# Capítulo VII

## MAQUINARIA PARA LA APLICACION DEL ASFALTO

7.01 INTRODUCCION. Con maquinaria moderna cualquier tipo de construcción asfáltica puede reducirse esencialmente a un proceso mecánico. La finalidad de las especificaciones es fijar los diversos pasos indispensables en el proceso para que se obtengan resultados uniformemente buenos. Para conseguir esta finalidad la tendencia es conseguir nuevos tipos de maquinaria y mejorar aun más los ya disponibles. Las especificaciones de construcción deben promover este progreso y utilizar las ventajas tan pronto como aparezcan.

Este capítulo no intenta describir todos los tipos de maquinaria, sino más bien atraer la atención del lector hacia algunos de los elementos principales de uso más frecuente. El Instituto del Asfalto es imparcial en cuanto a los diversos tipos de maquinaria que pueden emplearse en cualquier tipo de operación constructiva y respecto a los fabricantes de máquinas de análoga finalidad. Para conservar esta imparcialidad se emplean dibujos de diversos tipos de maquinaria, indicando solamente las partes esenciales y sus relaciones generales en lugar de intentar dar una descripción exacta. A veces cuando no es posible representar lo que se desea mediante dibujos, se presentan ilustraciones de los catálogos de determinados fabricantes, pero esto no ha de considerarse como una garantía o recomendación de esta marca particular por parte del Instituto del Asfalto en contra de cualquier otro fabricante de maquinaria análoga.

7.02 VAGONES CISTERNAS. Existen vagones cisternas de diversos tamaños, siendo el más común el de 40 000 l de capacidad, o sea, aproximadamente, 40 t. También los hay de 32 000 y 26 000 l de capacidad. Los vagones disponen de serpentes que pueden

emplearse para calentar el producto cuando sea necesario.

Pueden emplearse también cisternas aisladas de forma que, llenas de asfalto caliente en la refinería, puedan descargarse sin calentamiento o con un calentamiento muy leve.

**7.03 CAMIONES CISTERNAS.** Se emplean tanques de acero o aluminio con rompeolas para evitar derrames. Pueden estar aislados, y frecuentemente contienen serpentines de calefacción. También es deseable el equipo de bombeo. A veces se emplean dos remolques unidos en serie tras la unidad motora. Se construyen de diversos tamaños, siendo los más comunes de 9000 a 20 000 l. Un camión cisterna con remolque puede transportar de esta forma aproximadamente la misma cantidad que un vagón cisterna.

**7.04 BIDONES DE ACERO.** Los bidones de acero son usualmente de 200 a 220 l de capacidad. El betún asfáltico puede transportarse en tambores de chapa de 0,39 a 0,62 mm de espesor con tapa a fricción.

Los tambores de acero de chapa de 0,62 mm pueden emplearse para asfalto hasta una penetración de 100, mientras que la chapa de 0,39 mm de espesor suele ser suficientemente resistente para betún asfáltico de penetración inferior a 85. Los betunes asfálticos de penetración superior a 100 y los productos asfálticos líquidos exigen tambores de chapa más gruesa, usualmente de 1,24 mm, con tapas a rosca. El asfalto se transporta a granel también en barcazas y buques.

**7.05 CALENTADORES PARA ASFALTO.** Los calentadores para asfalto pueden ser de los siguientes tipos principales:

1. Calentadores para tanques, que calientan el asfalto haciendo circular vapor o aceite caliente a través de serpentines situados en el interior del tanque.
2. A veces se calienta el asfalto en los tanques mediante serpentines solamente hasta alcanzar la viscosidad de bombeo; a continuación se calienta en un calentador la cantidad de asfalto necesaria para uso inmediato hasta obtener la viscosidad

necesaria para el empleo. Por este medio se obtienen economías en el Calentamiento y se somete el asfalto a las temperaturas mas elevadas durante el mínimo tiempo posible.

3. Para trabajos de conservación se emplean pequeñas calderas. Existen en diversos tamaños, siendo los más comunes de 300 a 900 l. Algunas tienen una pluma para levantar los tambores de acero cuando el asfalto se recibe de esta forma. Preferiblemente deben estar equipadas con bomba y lanza de riego. En los diversos tipos de equipo para calentamiento de asfalto se emplea como fuente de calor fuel-oil, gas-oil o electricidad.

**7.06 ESCOBAS Y EQUIPO DE LIMPIEZA.** Antes de la aplicación de un tratamiento superficial o de la construcción de una nueva capa de superficie sobre un pavimento viejo es necesario limpiar perfectamente la superficie existente y las grietas. Las escobas para la limpieza de la superficie varían desde pequeños tambores barredores giratorios remolcados a complicados aparatos autopropulsados que combinan barras regadoras y escobas con la aplicación de vacío y aparatos magnéticos para eliminación de residuos metálicos.

La maquinaria para la limpieza de grietas consta de 1) una máquina impulsada a mano con un dispositivo vertical de limpieza con motor, mediante el que el operario puede seguir las grietas sin aumentar su anchura. Frecuentemente estas máquinas están provistas de un cepillo de alambre de acero para limpiar la grieta y para eliminar por soplado el polvo resultante de la operación de limpieza; 2) arado unido a un tractor o motoniveladora; 3) muelas para limpiar y recortar grietas para rellenarlas adecuadamente, y 4) chorro de aire comprimido. Las superficies no accesibles a la maquinaria con motor deben barrerse con escobas de mano. Se emplean escobas de acero, raíces o plástico.

**7.07 ESCARIFICADORES.** En conservación y reconstrucción es frecuentemente deseable destruir la superficie antigua, regularizarla y añadir nuevo material. Esta operación de romper la superficie existente se llama esscarificado, y existen máquinas especiales para realizarla. Los esscarificadores pueden estar unidos a la

estructura portante de la hoja de una motoniveladora o al chasis de una apisonadora. Para escarificado más profundo y difícil *se* emplean escarificadores remolcados por tractor. Constan de un pesado chasis de acero con grandes dientes curvos de acero. Son muy pesados, es posible regular su profundidad y, al avanzar el tractor, tienden a hundirse en su totalidad bajo la superficie (véase la fig. VII-1).

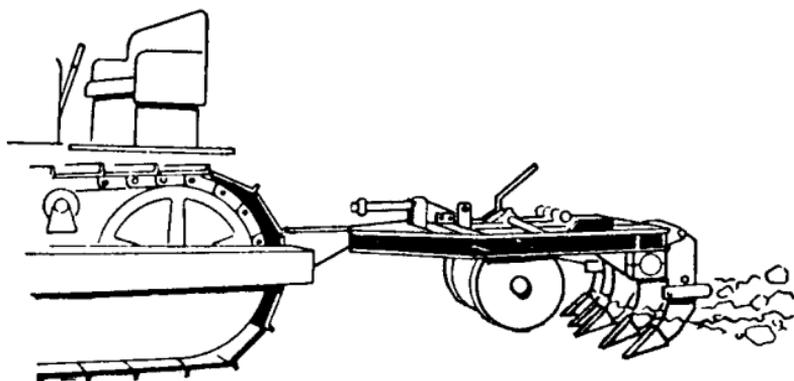


Figura VII-1. Escarificador.

7.08 PULVERIZADORES. Después de escarificado, el material de la superficie antigua se disgrega mediante un pulverizador de tipo giratorio semejante a los empleados en la construcción por mezcla *in situ* o mediante apisonadoras de martillo o de rejilla. Cuando *se* emplean pulverizadores del tipo apisonadora de martillos o de rejilla puede reducirse el material a partículas tan pequeñas como se quiera, aumentando el número de pasadas de la máquina. Generalmente, cuando se emplea este tipo de maquinaria es necesario formar un caballón con el material escarificado.

7.09 DISTRIBUIDOR DE ASFALTO. Es el elemento clave en la construcción de tratamientos superficiales, mezclas *in situ* y macadam por penetración. Consiste en un camión o semirremolque sobre el que se monta un tanque aislado provisto de un sistema de

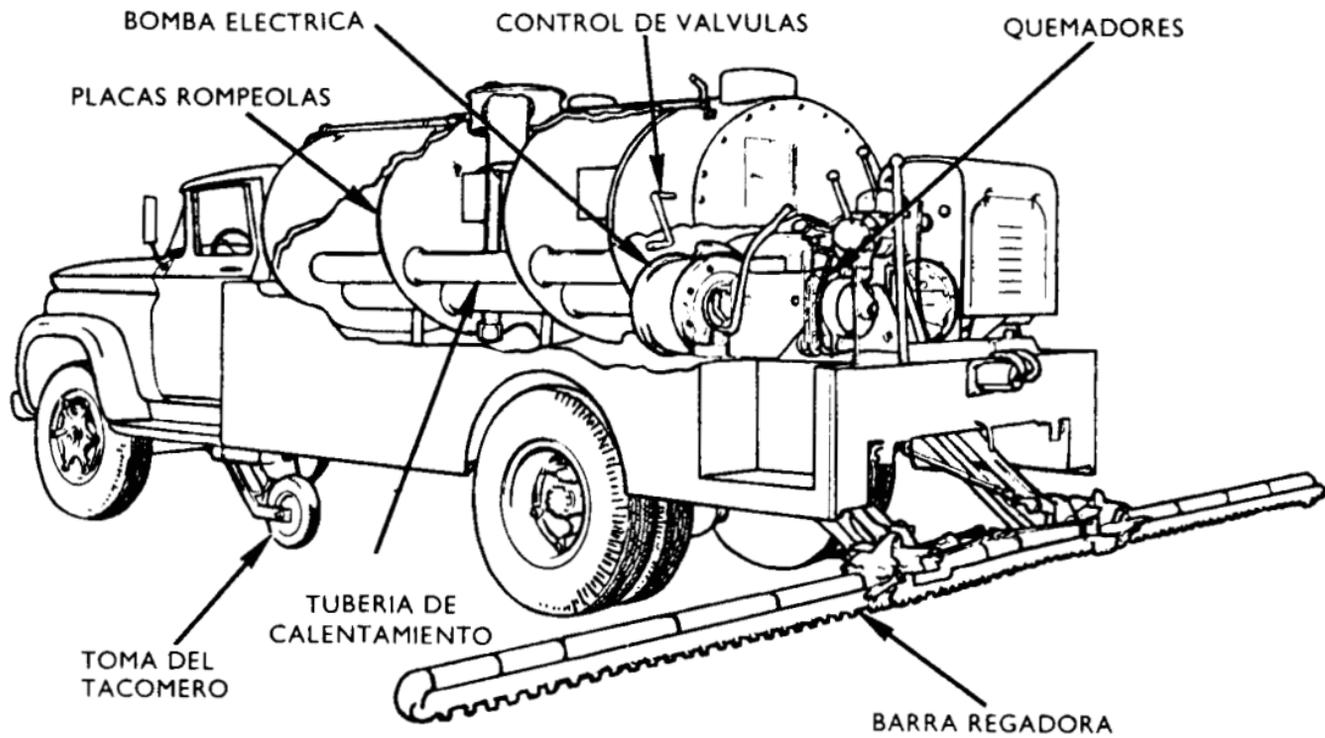


Figura VII-2. Distribuidor.

calentamiento, generalmente con quemador de fuel-oil, que calienta el tanque haciendo pasar los gases a través de tuberías situadas en su interior. Cuenta, además, con un grupo motobomba útil para manejar productos que varían desde asfaltos líquidos ligeros, que se aplican en frío, a betunes asfálticos muy viscosos calentados hasta obtener la viscosidad de riego'. En el extremo final del tanque existe un sistema de barras de riego y boquillas a través del cual se riega el asfalto sobre la superficie del camino. La barra debe ser de tal tipo que el asfalto circule a través de ella cuando no se esté regando. La longitud mínima de esta barra debe ser de 3 m, y en los modelos más grandes puede cubrir hasta 8 m de una sola pasada si la capacidad de la bomba es suficiente. En el tanque debe existir un termómetro adecuado para determinar la temperatura del contenido, También debe existir una conexión para una manguera con barra de riego con boquilla sencilla o doble para regar zonas del camino que no puedan alcanzarse con la barra regadora, así como para hacer llegar una corriente de asfalto a cualquier punto que se desee en el sellado inferior de losas de pavimentos rígidos. Se fabrican distribuidores con capacidades de 3200 a 16 000 l. También se fabrican algunos tipos para conservación hasta de 1600 l. La figura VII-2 representa el esquema de un tipo de distribuidor y sus elementos.

**7.10 MISION DEL DISTRIBUIDOR.** La misión del distribuidor es aplicar asfalto sobre una superficie en cantidades medidas exactamente y mantener uniformemente la dosificación especificada en toda la anchura y longitud de la aplicación de la totalidad de su carga, independientemente de los cambios en pendiente o dirección y de la carga del tanque. Para asegurar una dosificación uniforme de asfalto sobre la superficie es necesario que:

1. La viscosidad del asfalto sea la adecuada, normalmente comprendida entre 25 y 100 SSF.

---

Véase lo que se dice en el capítulo IV sobre la relación temperatura-viscosidad en los diversos materiales asfálticos.

2. Se mantenga continua y uniformemente la presión correcta en la totalidad de la longitud de la barra regadora.
3. Se calienta a la temperatura de riego la barra regadora y las boquillas antes de comenzar a regar.
4. La forma de las boquillas sea tal que la anchura del abanico de todas ellas sea idéntica.
5. Las boquillas estén fijadas sobre la barra regadora de forma que el plano de su abanico forme con ella el ángulo adecuado, usualmente 15 a 30°, para evitar que los abanicos se mezclen o interfieran unos con otros.
6. El ángulo de llegada a la superficie del camino sea tal que se rieguen ambos lados de los áridos. Normalmente se logra con un ángulo de 90°.
7. Las boquillas se fijan y mantengan sobre la superficie del camino a una altura conveniente para asegurar el adecuado solape de los abanicos de distribución. Algunos distribuidores están provistos de soportes regulables que mantienen la barra a una altura uniforme independientemente de la carga del camión.
8. La velocidad del distribuidor sea constante.

7.11 TACOMETROS. La velocidad del distribuidor y, en algunas marcas, la de la bomba de asfalto, se controlan por tacómetros. Conociendo la anchura de la barra regadora, los litros impulsados por revolución de la bomba y la velocidad de ésta, un simple cálculo indica la velocidad que debe marcar el tacómetro, o sea, la Velocidad a que debe conducirse el camión para aplicar la dosificación fijada. La relación entre el caudal de la barra regadora, la velocidad del distribuidor y la dosificación de asfalto por metro cuadrado puede expresarse mediante las fórmulas siguientes:

$$S = \frac{G_t}{WR} \quad R = \frac{G_t}{SW} \quad G \quad SRW$$

$$S = \frac{G}{R} \quad R = \frac{G}{S} \quad RS$$



Recientemente han aparecido máquinas que combinan el distribuidor de asfalto y el de áridos y que riegan el asfalto y lo cubren de gravilla en una sola pasada de la máquina.

7.11 EXTENDEDORES DE ARIDOS. Hay cuatro tipos generales de extendedores de áridos:

1. El tipo de disco giratorio que se une al camión de áridos. Los áridos se vierten sobre el disco extendedor a través de una abertura regulable y la velocidad del disco puede regularse usualmente para obtener la anchura de extensión deseada (véase la Gg. VII-3).
2. Cajas con abertura regulable que se unen a la compuerta del camión volquete de la que están colgadas. Algunas van provistas de aletas que contribuyen a lograr una mejor extensión del árido en la totalidad de la anchura de la caja (véase la fig. VII-+).
3. Caja extendedora montada en sus propias ruedas, unida al camión volquete que la empuja (véase la fig. VII-5). Algunos de estos tipos tienen:
  - a) Aletas y una espiral o agitador de paletas que ayudan en la distribución de los áridos en la totalidad de la longitud de la caja.
  - b) Extendedora o alimentadora giratoria y compuerta graduable para facilitar la obtención de la dosificación de áridos deseada.
4. Extendedor de áridos autopropulsado. Algunas de las características de un extendedor de áridos moderno autopropulsado son:
  - a) Tolva receptora en la parte trasera y tolva extendedora en la parte frontal.
  - b) El extendedor remolca al camión volquete facilitando la adecuada alineación de la extensión.
  - c) La anchura de extensión es regulable.
  - d) Cintas transportadoras y compuertas manejables independientemente.
  - e) Barra distribuidora de tornillo, aletas y deflector regulable para evitar la segregación de los áridos.

- f) Una pantalla de tela metálica que elimina los áridos de tamaño excesivo y las materias extrañas.
- g) Compuerta de regulación ajustable accionada a mano.
- h) Rodillo extendedor.
- i) Pantalla regulable que permite aplicar sobre el asfalto primeramente los áridos gruesos y después los finos.
- j) Un extendedor de áridos autopropulsado normalmente trabaja a todo gas en una marcha fijada, trabajando contra el regulador para asegurar velocidad constante.

## Maquinaria para mezcla *in situ*

7.13 GENERALIDADES. La maquinaria para mezcla *in situ* puede ser de los siguientes tipos principales:

1. De tipo giratorio, con ejes transversales que mezclan el asfalto y los áridos agitándolos con paletas bajo una cubierta; actualmente casi todas están equipadas con un sistema de pulverización que aplica el asfalto durante el mezclado. La mayor parte de las marcas tienen solamente un rotor, pero otras tienen hasta cuatro situados bajo una larga cubierta.
2. Aún se emplean ampliamente en pequeñas obras motoniveladoras y diversos tipos de arados.



Figura VII-3. Extendedor centrífugo.

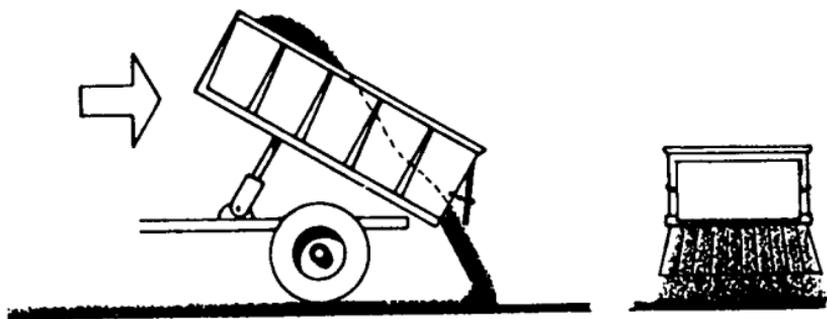


Figura VII-4. Extendedor de compuerta.



Figura VII-5. Extendedor con tolva (sobre ruedas).

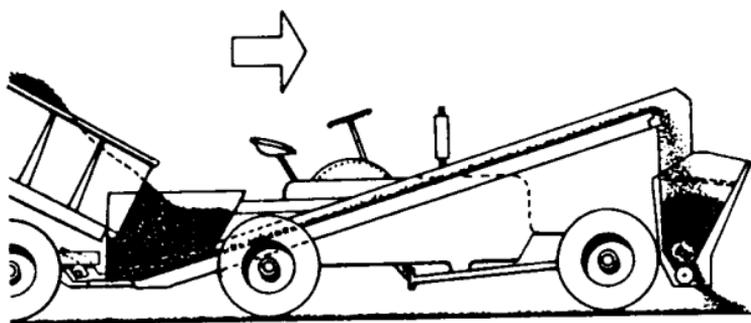


Figura VII-6. Extendedor autopropulsado.

3. Instalaciones mezcladoras móviles. El tipo de mezcladora conocida como instalación mezcladora móvil ocupa un lugar intermedio entre la maquinaria de mezcla *in situ* y la instalación mezcladora fija. Contiene todos los elementos de las instalaciones mezcladoras usuales, salvo el secador y los tamices. Las instalaciones mezcladoras móviles pueden ser de dos tipos:

a) Un tipo en cuya tolva son volcados los áridos por los camiones; los áridos y el asfalto se mezclan, y se extiende la mezcla, en una sola pasada de la máquina.

b) Otro tipo toma los áridos de caballones, mezcla los áridos y el asfalto y, normalmente, deja la mezcla tras la máquina en forma de caballón. A continuación se extiende la mezcla con motoniveladora, se ventila si es necesario y se compacta.

7.14 INSTALACIONES MEZCLADORAS. Una instalación mezcladora es una fábrica que prepara mezclas asfálticas para pavimentación de acuerdo con las exigencias de las especificaciones. Sus elementos constituyentes y métodos de trabajo pueden variar con el tipo de mezcla.

La más sencilla y rudimentaria es una instalación para producir pequeñas cantidades de mezcla en frío para bacheo. Si se emplea como ligante emulsión asfáltica, la única maquinaria necesaria es una hormigonera y carrtilias y cubos para dosificar los áridos y la emulsión por volumen.

La tendencia es ir a instalaciones más complicadas y totalmente automáticas para producir hormigón asfáltico en caliente de elevada calidad en amasadas de 500 a 4000 kg e instalaciones continuas con capacidades que pueden llegar a ser superiores a 200 t/h. Los diferentes elementos de estas instalaciones se discuten en el siguiente capítulo bajo el título «Fabricación de mezclas asfálticas en instalación mezcladora»). En la figura VII-7 se indica el paso de los materiales a través de una instalación característica moderna de tipo discontinuo, y en la figura VII-8 a través de una planta moderna de tipo continuo.

## **Maquinaria para la extensión de mezclas asfálticas**

7.15 Las mezclas asfálticas se extienden empleando los siguientes elementos:

A) Motoniveladoras.

8) Máquinas extendedoras y terminadoras, llamadas usualmente pavimentadoras.

C) Cajas extendedoras remolcadas por el camión volquete.

7.10 EXTENSION CON MOTONIVELADORA. Las mezclas asfálticas, tanto en caliente como en frío, se descargan desde los camiones sobre formadoras de caballones que depositan por metro lineal de camino la cantidad necesaria de mezcla, que a continuación se extiende con motoniveladora. Para la construcción de pavimentos se emplean motoniveladoras de ejes muy separados. La necesidad de ceñirse a estrechas tolerancias en determinadas superficies ha dado lugar a una gran extensión del empleo de este método para la extensión de capas de base y nivelación como superficie de apoyo muy regular para las capas siguientes, extendidas con pavimentsadora. Empleando aparatos electrónicos automáticos para controlar la pendiente transversal de la hoja y un indicador unido a la hoja guiado por un cordel como control longitudinal, es posible obtener superficies muy uniformes. La extensión con motoniveladora se ejecuta frecuentemente a la vez que el apisonado con compactadoras de neumáticos.

7.17 PAVIMENTADORAS. Las máquinas terminadoras de pavimentos asfálticos, normalmente llamadas pavimentadoras, que se usan actualmente, son similares en muchos aspectos. Estas máquinas constan de dos unidades, una de las cuales se llama tractora y la otra extendedora (véase la fig. VII-9).

La unidad tractora contiene los mandos que regulan el paso de materiales a la maestra. Tiene una tolva en la que los camiones vierten la mezcla y desde la que transporta el material a la unidad extendedora por medio de transportadores de cinta. La unidad tractora produce también la fuerza motriz, no sólo para sí

misma y para la unidad extendedora, sino para empujar al camión que está descargando en la tolva.

La unidad extendedora consta de brazos niveladores o brazos de maestra, una placa maestra, un dispositivo compactador y dispositivo de regulación de espesor. La conexión básica entre la unidad extendedora y la tractora son los brazos de la maestra, que están articulados con el chasis de la unidad tractora. En teoría, esto da lugar a una maestra flotante que extiende el material que le llega en la forma descada. Cuando las fuerzas que actúan sobre la maestra están equilibradas se obtiene un espesor uniforme. Si se cambian estas fuerzas, la maestra subirá o bajará. La regulación del espesor se consigue combinando la inclinación de la placa maestra, variando con ello las fuerzas que actúan sobre el mecanismo de la maestra. Este mecanismo reacciona contra las nuevas fuerzas que aparecen hasta que se equilibra de nuevo, durante cuyo proceso se produce un cambio de espesor.

**7.18 MARCAS DE PAVIMENTADORAS.** Son de uso general muchas marcas de pavimentadoras, entre las que se incluyen las siguientes: 1) Barber-Greene; 2) Blaw-Knox; 3) Cedar Rapids, y 4) Pioneer. La principal diferencia entre estos diversos tipos es el método de compactación inicial: 1) las pavimentadoras Barber-Greene y Blaw-Knox tienen, inmediatamente delante de la maestra, una barra apisonadora que compacta inicialmente la mezcla antes de que le alcance el borde de la maestra; 2) la pavimentadora Cedar-Rapids obtiene la compactación inicial por vibración de la maestra; 3) la pavimentadora Pioneer tiene una barra oscilante situada delante de la maestra y articulada con ella que produce cierto grado de compactación inicial, que se refuerza por vibración de la maestra, como en las pavimentadoras Cedar-Rapids y Pioneer.

Todas las pavimentadoras trabajan básicamente sobre los mismos principios en cuanto a nivelación y regularización del espesor de extensión. Cuando la unidad tractora remolca la maestra sobre el material, la maestra busca automáticamente el nivel en que su superficie inferior es paralela a la dirección de tracción, dejando una capa de espesor definido y fijo hasta que

se hacen girar los volantes de regulación que mueven la articulación de la maestra. Las maestras se calientan y su forma puede regularse para ajustarlas a la sección transversal de la superficie.

**7.19 CAJAS EXTENDEDORAS.** Las cajas extendedoras son remolcadas por camiones volquete y se emplean para trabajos pequeños. Normalmente se apoyan en sus propias ruedas y tienen una maestra de altura regulable que permite obtener el espesor y sección transversal deseados. Algunas cuentan incluso con tornillos extendedores y maestra vibratoria. Para mayor información sobre la extensión de mezclas asfálticas véase el manual número **8** del Instituto del Asfalto: *Asphalt Paving Manual*.

## **Maquinaria de compactación**

**7.20 GENERALIDADES.** A continuación se describirá brevemente la maquinaria de que, generalmente, se dispone para la compactación de terreno y de las capas de subbase, base, intermedia y de superficie de la estructura del pavimento asfáltico (véase también el cap. VIII).

**7.21 COMPACTADORES DE PATA DE CABRA.** El equipo de compactación más frecuentemente utilizado en tierras se llama rodillo de pata de cabra. Consta de un tambor del que surgen pies o brazos que son los que compactan el terreno. Varían en tamaño y peso y, normalmente, son remolcados por un tractor. Se emplean en diversas formas para lograr la compactación adecuada y dan resultados óptimos en suelos ricos en finos.

**7.22 COMPACTADORES DE NEUMATICOS.** Pueden ser de tres tipos:

1. Autopropulsados de tipo tándem con tres, cuatro o cinco ruedas en la parte anterior y cuatro, cinco o seis en la posterior; las ruedas, generalmente, oscilan (esto es, el eje puede moverse hacia arriba y hacia abajo); pesan de 3 a 35 t.
2. De tipo remoicado, que pueden ser de una sola

fila de ruedas o tándem y pesan de 2 a 50 t, con ruedas oscilantes.

3. De tipo carro, que tiene solamente dos ruedas grandes.

### 7.23 RODILLOS DE LIANTA METALICA.

Pueden ser de los tipos siguientes:

1. Apisonadora triciclo. Tiene dos ruedas motoras, normalmente de 1,50 ó 1,75 m de diámetro por 0,50 a 0,60 m de anchura, y una rueda de dirección de menor diámetro, pero más ancha. Los pesos varían de 5 a 6 t hasta 16 a 20 t. Algunas tienen ruedas lastrables para aumentar su peso.

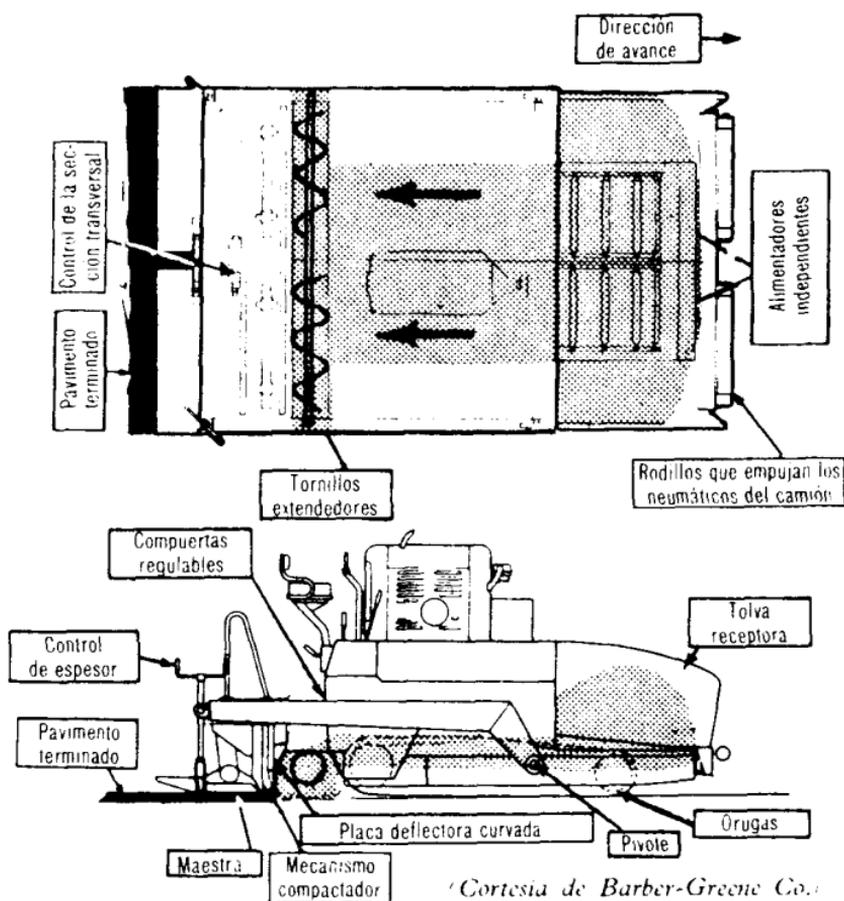


Figura MI-7. Esquema de una laminadora para pavimentos asfálticos.

sonado inicial de mezclas asfálticas y capas de base.

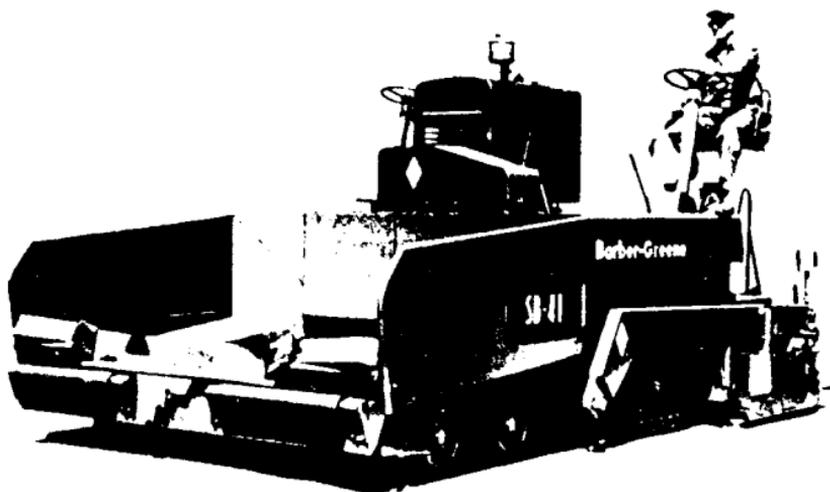
2. Apisonadoras tándem:

a) De dos ejes. Tienen pesos que varían de 3 a 20 t o más. Generalmente, tienen ruedas lastrables; algunos de los tipos más pequeños tienen neumáticos auxiliares para aumentar la facilidad de desplazamiento entre obras pequeñas, y otras tienen solamente un rodillo ancho con ruedas neumáticas auxiliares para transporte.

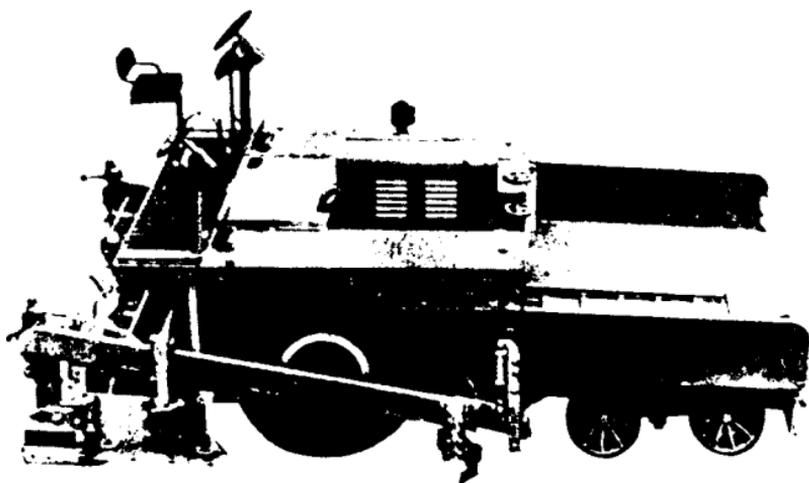
b) Apisonadoras tándem de tres ejes. El eje central se ha dispuesto de tal forma que gran parte del peso total de la apisonadora pueda aplicarse sobre él, si se desea, en los puntos altos. Estas apisonadoras tienen pesos que varían de 10 a 12 ó 20 t o más. Estas apisonadoras son normalmente lastrables. Algunas apisonadoras tándem de tres ejes están provistas de una unidad motora separada para hacer vibrar el rodillo central, funcionando, por lo tanto, como combinación de compactador vibratorio y apisonadora tándem.

**7.24 COMPACTADORES VIBRATORIOS.** Son generalmente de dos tipos:

1. Zapatas o placas vibratorias. El tipo de zapata vibratoria puede tener desde una sola zapata para bacheos, zanjas y pequeñas superficies, a 6 o más, para trabajo normal en compactación de carreteras. Pueden disponerse en serie o en tándem. Los compactadores vibratorios de zapatas se emplean fundamentalmente para compactación de macadam y otras capas de base granulares. Las unidades pequeñas se emplean mucho para compactación de las mezclas asfálticas empleadas en bacheos en pequeñas superficies inaccesibles a grandes apisonadoras.

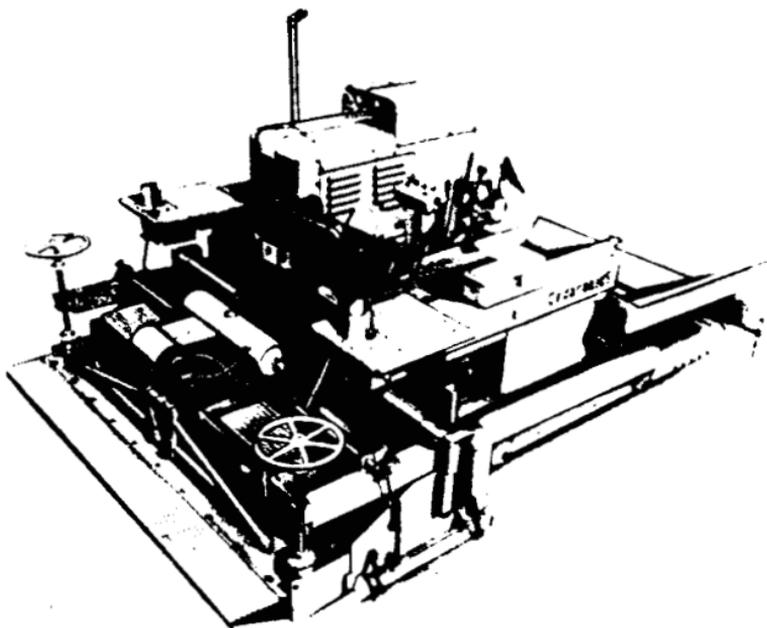


**Barber-Greene**

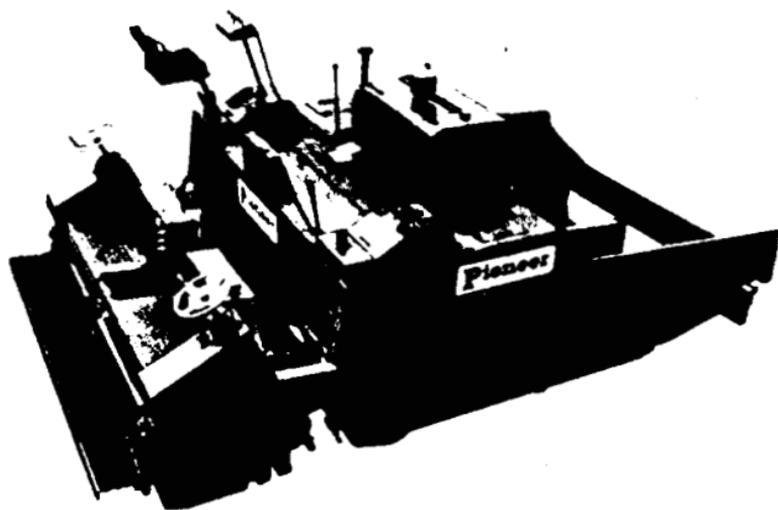


**Blaw-Knox**

**Figura VII-8. ALGUNOS TIPOS CARACTERISTIC**



Cedarapids



Pioneer

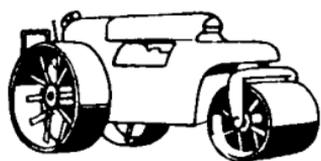
## E MAQUINAS PAVIMENTADORAS.

2. Rodillos vibratorios. Tienen uno o dos rodillos de llanta lisa de diámetro comprendido entre 90 cm y 1,50 m con una anchura de 1,20 m a 1,80 m, y pueden ser de tipo remolcable o tándem. El peso estático es usualmente de 3 a 5 t. Sin embargo, pueden encontrarse unidades con peso estático hasta de 10 a 11 t. También están empezando a utilizarse rodillos vibratorios autopropulsados con un peso estático de 4 a 6 t. Como ya se indicó, en algunas apisonadoras tándem de gran tamaño, de tres ejes, es posible la vibración del rodillo central. Los rodillos vibratorios pueden emplearse para compactar casi todos los tipos de suelos granulares y mezclas asfálticas. Sin embargo, en algunos es necesario regular la frecuencia de la vibración según el tipo de materiales compactados.

7.25 TIPOS MIXTOS. Hay una gran tendencia, creciente cada día, hacia el empleo de compactadores de tipos mixtos. Además del tándem de tres ejes con tercera rueda vibratoria a que nos hemos referido, hay cierto número de combinaciones de ruedas neumáticas y de llanta metálica. También existe una apisonadora triciclo de llanta metálica con vibradores de tipo zapata que pueden elevarse hidráulicamente cuando no se emplean.

7.26 PLANCHAS CALENTADORAS Y ALISADORAS. Una plancha calentadora consiste en una combinación de calentador de superficie y aplanadora que se utiliza para calentar la superficie del pavimento asfáltico y regularizar la superficie de la mezcla caliente de áridos y asfaltos. Pueden conseguirse máquinas grandes y eficientes capaces de velocidades que varíen desde un lento deslizamiento a unos 10 m/min. Algunas cuentan con hojas en diente de sierra y lisas. Las hojas están dispuestas usualmente de tal forma que el material explanado se sitúa en un caballón continuo detrás de la aplanadora. Después de la aplicación de la plancha calentadora puede aplicarse a la superficie una nueva capa de hormigón asfáltico o utilizarse tal como la deja la máquina.

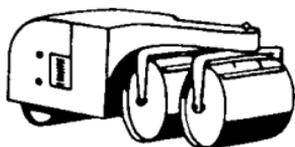
7.27 MAQUINAS PARA CONSTRUCCION DE BORDILLO ASFALTICO. Véase el capítulo X.



TRICICLO



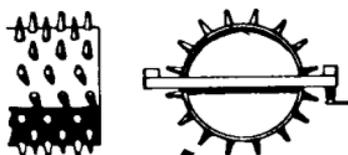
TANDEM. RUEDAS METALICAS



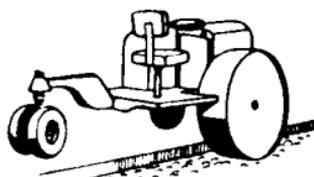
TANDEM. TRES EJES



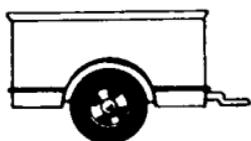
DE NEUMATICOS



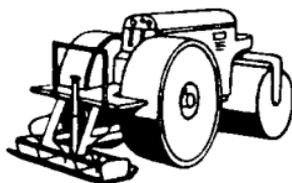
PATA DE CABRA



PARA ZANJAS



DE ENSAYO



COMPACTADOR VIBRATORIO

Figura W-9. Tipos de compactadores.

nes del Instituto del Asfalto contienen detalles acerca del equipo de construcción descrito en este capítulo: acerca del equipo de construcción descrito en este capítulo:

1. *Asphalt Plant Manual*, Manual Series núm. 3 (MS-3).
2. *Asphalt Paving Manual*, Manual Series núm. 8 (MS-8).
3. *Asphalt Surface Treatments*, Manual Series núm. 13 (MS-13).
4. *Asphalt Mixed-in-Place (Road-Mix) Manual*, Manual Series núm. 14 (MS-14).
5. *Specifications and Construction Methods for Asphalt Curbs and Gutters*, Specification Series número 3 (SS-3).

# Capítulo VIII

## CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS ASFALTICOS

### *Introducción*

**8.01 IMPORTANCIA DEL EMPLEO DE METODOS DE CONSTRUCCION ADECUADOS.** La clave de la buena construcción de pavimentos asfálticos es la selección inteligente, no sólo de los áridos y del aglomerante, sino también de los métodos constructivos que permitirán satisfacer económica y adecuadamente las exigencias fijadas para la estructura del pavimento asfáltico por el tráfico y las condiciones atmosféricas.

Usualmente existen muchas soluciones posibles. El ingeniero progresivo debe hacer un nuevo estudio para cada aplicación específica. Existe el peligro de que limite su estudio a los tipos de construcción asfáltica conocidos localmente, olvidando analizar completamente las necesidades de cada uno de los elementos comprendidos. *fil* fijar el tipo de pavimento debe tenerse en cuenta el **tipo de control** necesario. Por ejemplo, no es posible construir hormigón asfáltico de gran calidad si no es posible una **vigilancia** adecuada.

#### NOTA

Independientemente de los métodos o materiales de construcción elegidos, el factor que más influye en que **se produzca** solamente un trabajo aceptable o un trabajo de alta calidad **es** la habilidad de los **operarios**. Este factor **es el** que da lugar a más problemas y a **más** resultados deficientes. **Nunca** subrayaremos suficientemente la **importancia** de prestar **atención** a los pequeños **detalles** y de emplear los procedimientos de construcción adecuados.

**8.02 RESUMEN.** En el resto de este capítulo se estudian muy brevemente los siguientes métodos de construcción:

- A) Preparación de cimentaciones para pavimentos asfálticos.
- B) Empleo, fabricación e inspección de mezclas asfálticas en instalación mezcladora.
- C) Transporte, extensión y compactación de mezclas asfálticas.
- D) Macadam asfáltico.
- E) Mezcla *in situ*.
- F) Tratamientos asfálticos superficiales y riegos de sellado.

Otras publicaciones del Instituto del Asfalto estudian en detalle diversas fases de las construcciones asfálticas, como se indica a continuación:

1. Tomo de especificaciones número 1: *Especificaciones y métodos de construcción para mezclas asfálticas en caliente para calles y carreteras.*
2. Manual número 2: *Métodos de proyecto de mezclas para mezclas asfálticas en caliente para pavimentación.*
3. Manual número 3: *Manual de Instalaciones asfálticas.*
4. Manual número 8: *Manual de Pavimentación* (en preparación).
5. Tomo de especificaciones número 7: *Especificaciones y métodos de construcción para riegos de sellado y tratamientos superficiales* (en preparación).

## **A) Preparación de cimentaciones para pavimentos asfálticos**

### **Drenaje y control de la humedad**

**8.03 GENERALIDADES.** La acumulación de humedad en las capas de la estructura del pavimento es probablemente la principal causa de sus averías, hecho reconocido y comprendido por todos los ingenieros. Sin embargo, los pavimentos más anchos de nuestra época, frecuentes en las autopistas con muchas vías de circulación, se aproximan gradualmente a las dimensiones de un campo de aviación y exigen la apli-

cación de principios y métodos empleados en el drenaje de campos de aterrizaje, hecho no reconocido por completo por todos.

**8.04 SISTEMAS DE DRENAJE.** Los sistemas de drenaje pueden clasificarse en dos grupos - de superficie y de subsuelo—, y cada uno funciona independientemente del otro. El drenaje superficial permite la recogida y rápida eliminación del agua de la superficie del pavimento y de los paseos. El drenaje del subsuelo debe interceptar, recoger y eliminar el agua del terreno, evitando que penetre en la estructura del pavimento.

**8.05 DRENAJE SUPERFICIAL.** El drenaje superficial se consigue de la forma más eficaz pavimentando la totalidad de la anchura del camino. En los terraplenes el agua debe conducirse por medio de parapetos o bordillos de asfalto contruidos en el borde extremo exterior del paseo a mechinales especiales revestidos de asfalto. En las trincheras también se debe pavimentar toda la anchura del camino, incluso los paseos, dirigiendo el agua superficial a cunetas o drenes pavimentados. En muchas secciones en excavación es necesario también un drenaje subterráneo longitudinal para evitar que el agua de las zonas más elevadas se acumule bajo el pavimento.

**8.06 DRENAJE DEL SUBSUELO.** Los ingenieros conocen en general los métodos de drenaje, y los detalles de las estructuras destinadas a este fin se han divulgado en muchas publicaciones. Sin embargo, la zona intermedia elevada y sin pavimentar que se emplea frecuentemente en las carreteras da lugar a difíciles problemas de drenaje. Cualquiera que sea el número de drenes transversales empleados, grandes cantidades de agua de lluvia y procedente de la fusión de la nieve penetran en el terreno y en la estructura del pavimento desde tal zona, debilitando el conjunto. Siempre que es posible, se recomienda el empleo de zonas intermedias a nivel inferior, y si las circunstancias hacen forzosa la construcción con zona intermedia elevada, los drenes transversales deben unirse mediante un dren longitudinal situado bajo esta zona y a profundidad suficiente para recoger toda el agua del terre-

no antes de que pueda buscarse camino a través de la estructura.

La existencia de agua bajo la superficie puede dar lugar, en ciertas condiciones, bajo el pavimento, a una presión hidrostática suficiente para levantarlo completamente, separándolo de la base, produciendo agrietamientos y, en casos extremos, la completa disgregación de la estructura. Este problema tiene mayor importancia en las zonas con fuertes pendientes, en las que el agua puede desplazarse longitudinalmente sobre la base en la dirección de la pendiente y causar grandes presiones hidrostáticas en las curvas verticales o en la parte inferior de las curvas horizontales con peralte. Si no se la intercepta adecuadamente, el agua procedente de la trinchera puede correr a través del terraplén, causando su asentamiento y el agrietamiento del pavimento. Debe prestarse gran atención a la elección del material del filtro y el proyecto del sistema de drenajes: teniendo en cuenta tanto el tipo del material a drenar como el caudal previsible.

Si se emplea en los drenes piedra gruesa es posible que la contaminación producida por el suelo adyacente, particularmente por las arenas finas y limos sin cohesión, termine por causar la completa obstrucción del dren. Si para evitar esto se emplean materiales de filtro más finos puede suceder que no se obtenga en el dren la capacidad necesaria para dar paso a la cantidad necesaria de agua. Si es de prever la eliminación de grandes caudales en suelos limosos, puede ser necesario un sistema bicapa, compuesto de material de filtro que evite la contaminación y un dren de roca gruesa que permita alcanzar la capacidad necesaria.

**8.07 LIMITES GRANULOMETRICOS DEL MATERIAL DE FILTRO.** El criterio sugerido por Terzaghi y ensayado y adoptado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos para evitar la contaminación de los drenes se basa en la relación entre los tamaños de los tamices por los que pasa el 15 % y el 85 %, tanto del terreno a drenar como del material de filtro. Los más importantes de estos criterios son:

1. La relación de la abertura del tamiz por el que pasa el 15 % del material del filtro a la del tamiz por el que pasa el 85 % del material a drenar no debe ser superior a 5.
2. La relación de la abertura del tamiz por el que pasa el 50 % del material de filtro a la de aquel por el que pasa el 50 % del material a drenar no debe ser superior a 25.
3. Para evitar la obturación del tubo de drenaje, la relación de la abertura del tamiz por el que pasa el 85 % del material de filtro al diámetro de la perforación del tubo no debe ser inferior a 2.

Si se trata de drenar arcillas plásticas que contienen lentejones de arena o limo debe emplearse la distribución de tamaños del limo y de la arena más bien que la de la arcilla.

Si los suelos a drenar no son homogéneos, el material de filtro necesario para evitar la obturación en una zona puede no ser suficientemente permeable para permitir eliminar el volumen de agua encontrado en otras, lo que hará necesario el empleo de un sistema bicapa. Véase más adelante el proyecto de zanjas de drenaje.

**8.08 PROYECTO DE ZANJAS DE DRENAJE.** Pueden emplearse drenes en una amplia variedad de condiciones y con una amplia variedad de fines. La construcción del dren estará influenciada por las condiciones existentes y debe proyectarse de forma que resulte de construcción fácil y económica cumpliendo las funciones que debe realizar.

En los drenes superficiales empleados para eliminar el agua de las capas de base situadas inmediatamente bajo el pavimento, generalmente lo más cómodo es el empleo de zanjas en V. La zanja puede construirse con una motoniveladora. Esta sección es la más adecuada para la eliminación del agua y facilita la colocación del tubo y del material de relleno. En los drenes profundos empleados para interceptar el agua de una capa permeable, o para hacer bajar la capa freática en un suelo uniforme, normalmente lo más económico será, teniendo en cuenta el menor volumen de excavación, una

zanja de paredes verticales. Además, el apuntalamiento es muy fácil en este caso.

Se sugieren las siguientes soluciones:

A) Trincheras en las que se encuentra agua.—Si el material encontrado en el corte está estratificado uniformemente puede ser posible eliminar el agua por drenes interceptores al pie del talud de la trinchera. Sin embargo, un defecto de este tipo de construcción es que frecuentemente el agua soslayará el dren apareciendo bajo el pavimento. Esto puede deberse a variaciones de la curvatura de las estratificaciones o a zonas perturbadas por antiguos movimientos de la corteza terrestre. Un medio de evitar la humedad mucho más positivo es emplear una capa de material permeable de subbase que cubra toda la sección transversal del camino, recogiendo cualquier agua que pueda surgir bajo él. Este material de subbase puede drenarse después por medio de una zanja en V relativamente superficial en el punto más bajo de la sección transversal.

Si se espera la aparición de grandes volúmenes de agua, puede ser aconsejable construir un sistema bicapa para mayor capacidad del dren (&ase la fig. VIII-1).

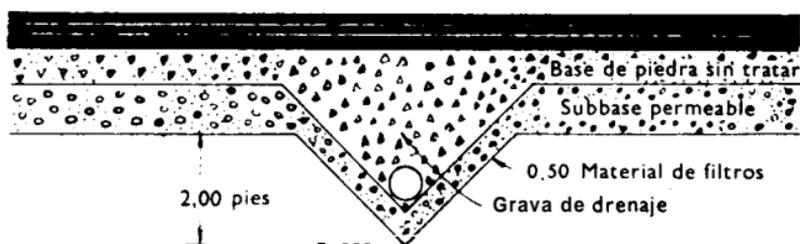


Figura VIII-1. Sistema de drenaje bicapa para caudales importantes.

Si la pendiente es considerable, se construirá, en el extremo inferior de la trinchera, un dren transversal que intercepte el agua que pudiera afluir longitudinalmente con peligro de saturación de los terraplenes y corrimiento de sus taludes.

Al situar los drenes en las trincheras las zanjas no deben descalzar los taludes laterales. La aparición de caudales de agua que exijan la instalación de drenes puede dar también lugar a una inestabilidad de los taludes que exija tratamientos especiales o disminución de su pendiente, y una zanja de drenaje situada al pie del talud puede dar lugar a corrimientos durante su construcción. Además, este tipo de zanjas puede ocasionar dificultades constructivas. Las zanjas de paredes verticales se excavan normalmente con zanjadoras, que no pueden trabajar con una de sus orugas sobre el talud de la trinchera (véase la fig. VIII-2).

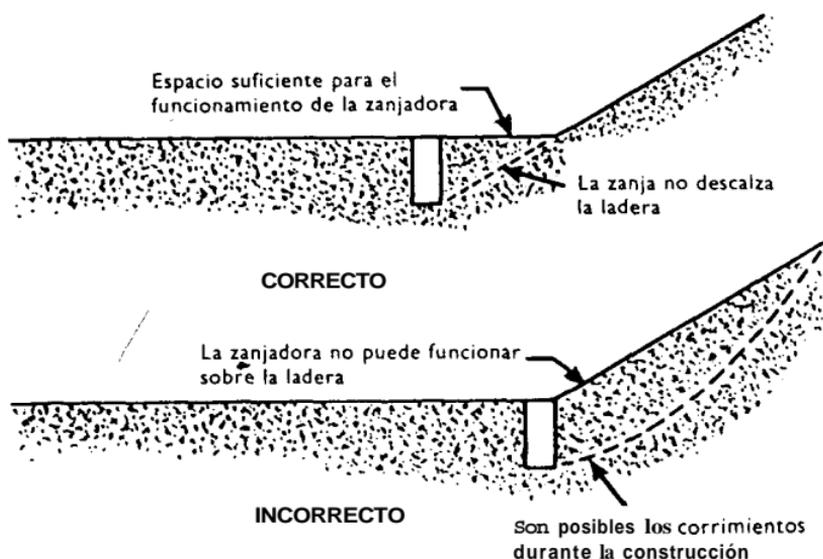


Figura VIII-2. Sección de zanja de drenaje.

B) Capa freática muy elevada. — Pueden construirse a ambos lados del camino profundas zanjas verticales que hagan descender la capa freática por debajo del pavimento. Los drenes proyectados con esta finalidad deben estudiarse mediante una red de líneas de corriente para obtener la máxi-

ma seguridad posible de que funcionaran como *se* desea.

En las zonas en que la capa freática es muy elevada lo mejor y, probablemente, lo más económico, es elevar el camino mediante un relleno de material granular hasta conseguir separar la estructura del pavimento del agua del terreno.

**8.09 CONTROL DE LA CONSTRUCCION DE LOS DRENES.** No es posible exagerar la importancia de una rígida inspección durante la construcción de los drenes. Esto es especialmente cierto en cuanto se refiere a la granulometría del material de filtro. La elevación del contenido de polvo del material de filtro en sólo unas pocas unidades por ciento puede disminuir la permeabilidad hasta una décima parte de la que debería obtenerse. La inclusión de masas de arcilla puede impedir completamente el paso del agua, y la segregación ¿el material de filtro puede dificultar gravemente el funcionamiento del dren.

**8.10 CONTROL DE LA HUMEDAD.** Además del drenaje adecuado, tanto superficial como profundo, para soportar las cargas del tráfico en todas las condiciones atmosféricas, debe contarse con un espesor adecuado de capas de base impermeabilizadas y estabilizadas con asfalto. Debe recordarse que: 1) la capilaridad y la condensación del vapor de agua pueden producir un aumento del contenido de humedad en la estructura del pavimento, a menos que se impermeabilicen los materiales con asfalto, y 2) que cuando la humedad se eleva, en los materiales no asfálticos, por encima de la óptima a la que se compactaron, pierden parte de su resistencia. Por ello **es** esencial que el espesor de la base asfáltica sea suficiente.

## **Compactación**

**8.11 GENERALIDADES.** La importancia de la adecuada compactación de las diversas capas de terreno natural, terraplenes, terreno mejorado y capas de base **es** reconocida universalmente. La compactación

hace crecer gradualmente el poder portante del terreno. Cuando no se compacta el terreno suficientemente durante la construcción, puede producirse bajo el tráfico una consolidación adicional con posible asentamiento y **quizás** rotura del pavimento.

**8.12 ENSAYOS DE COMPACTACION.** En el laboratorio se realizan ensayos de compactación con los materiales que van a emplearse en la construcción, determinando la máxima densidad que puede obtenerse prácticamente. Las densidades de laboratorio deben fijarse tomando como base el método de ensayo **AASHO T180**.

**8.13 CRITERIOS DE COMPACTACION.** Para la construcción de estructuras de pavimentos asfálticos se recomiendan los siguientes criterios de compactación:

1. Terrenos coherentes. 95 % de la densidad **AASHO** modificada (T180, método D), como mínimo, en los 30 cm superiores de relleno, y en el resto 90 % como mínimo. El contenido de agua óptimo para la compactación de suelos coherentes debe determinarse por ensayo directo, de forma que se obtenga la máxima resistencia después del remoldeo, teniendo en cuenta la posible expansión. Generalmente, los suelos no expansivos deben compactarse con una humedad un 1 o un 2 % inferior a la óptima determinada en laboratorio.
2. Terrenos no coherentes. 100 % de la densidad **AASHO** modificada (T180, método D), como mínimo, en los 30 cm superiores, y 95 % como mínimo en el resto del relleno.
3. Base, subbase y terreno mejorado. 100 % de la densidad **AASHO** modificada (T180, método D), como mínimo. La carga de compactación y la presión de contacto deben ser las más elevadas que el material compactado pueda soportar sin desplazamiento. Al poner en obra capas más resistentes, la carga y la presión de contacto deben incrementarse hasta las presiones de contacto pre-**visibles** o por encima de ellas.

- que pueda aplicarse sin desplazamiento indebido.
8. La vibración aumenta en eficacia a medida que disminuye la cohesión y aumenta el carácter granular del material, alcanzando **su** valor máximo en las arenas y **su** mínimo en las arcillas.

Esta efectividad varía en las mezclas asfálticas con la temperatura, siendo máxima con las temperaturas más elevadas.

En los suelos varía con el contenido de humedad, creciendo con él. Naturalmente, no ha de considerarse esto como un argumento para sobrecalentar los materiales asfálticos o inundar de agua los suelos; en ambos

casos los límites adecuados quedan establecidos por los ensayos y especificaciones normalizadas.

De estos hechos conocidos se deduce que la compactación necesaria puede obtenerse de la forma más fácil solamente con la adecuada combinación de carga por rueda, presión de contacto, acción de amasado y vibración. Las exigencias en cuanto a suavidad de acabado de la superficie limitan el tipo de la maquinaria de compactación. La experiencia y la investigación actuales indican que las máquinas de compactación más adecuadas para los diversos tipos de materiales detallados son las siguientes:

<i>Materiales</i>	<i>Tipo de maquinaria de compactación</i>
a) Terraplenes y terrenos naturales de grano <b>fino</b> .	Rodillos de pata de cabra. Rodillos de llanta de acero segmentada. Rodillos neumáticos con ruedas oscilantes. Rodillos vibratorios con llanta metálica.
b) Capas granulares de base, subbase y terreno mejorado.	Rodillos de neumáticos. Compactadores vibratorios (tanto de zapatas como de rodillos de llanta metálica). Rodillos neumáticos de ruedas oscilantes. Rodillos de llanta metálica segmentada.
c) Capas de base de macadam y otros, <b>tipos</b> de áridos gruesos.	Compactadores vibratorios de zapatas. Compactadores vibratorios de rodillo y llanta metálica. Compactadores de llanta metálica. Compactadores de neumáticos.
d) Capas asfálticas de base mezcladas <i>in situ</i> .	Apisonadoras de neumáticos. Apisonadoras de llanta metálica. Apisonadoras de llanta metálica segmentada.
e) hllacadam asfáltico.	Compactadores vibratorios (de zapatas o de rodillos). Rodillos vibratorios de llanta metálica. Rodillos metálicos (de tipo tándem o triciclo). Rodillos neumáticos.
f) Capas de base, intermedias o de superficie mezcladas <b>en</b> instalación mezcladora.	Apisonado inicial. Aoisonadoras triciclo de llanta metálica. Aoisonadoras de llanta metálica (tipo tándem dos ejes).

**Apisonado intermedio.**

Apisonadoras de neumáticos (auto-propulsadas).

Kodillos de tipo tándem de dos y tres ejes.

**Apisonado final.**

**8.16 ESPESOR DE LAS TONGADAS.** Generalmente, los terraplenes deben construirse en capas cuyo espesor, después de la compactación, no exceda de 15 cm; los compactadores neumáticos de gran peso y los vibratorios pueden emplearse satisfactoriamente con tongadas hasta de **30** cm, pero sólo deben extenderse capas de este espesor si los ensayos demuestran que se obtiene una densidad adecuada y uniforme. En algunos casos puede ser aconsejable construir un pequeño terraplén de ensayo para obtener la información necesaria sobre el contenido de humedad, espesor de las tongadas y número de pasadas del equipo de compactación necesarios.

Al determinar el espesor de las tongadas debe recordarse que la efectividad del esfuerzo de compactación en una tongada decrece con la profundidad. Por consiguiente, usualmente cada tongada estará más compactada **en** la parte superior que en la inferior, y cuanto menos perfecta sea la coincompactación mayor será la diferencia. Este efecto de la profundidad **se** reduce por vibración en los materiales sensibles a ella (materiales secos o saturados sin cohesión). La acción de amasado también es una ayuda, especialmente en materiales cuya resistencia a la compactación se debe tanto a la cohesión o viscosidad como **al** rozamiento interno.

Estas mismas consideraciones se aplican a las capas asfálticas, pero en menor proporción, porque usualmente son más delgadas.

**8.17 COMPACTACION EN LAS SECCIONES EN DESMONTE.** Los criterios de compactación deben aplicarse también a las secciones en desmonte. A veces es posible compactar algunos suelos, especialmente si son arenas sin cohesión, en los espesores necesarios, **sin** necesidad de sacarlos de la caja, empleando el equipo disponible. **Sin** embargo, en algunos casos, para lograr la densidad adecuada puede ser

necesario sacar el suelo de la caja, darle la humedad adecuada, volverlo a colocar y compactarlo.

Esto hace posible también obtener una uniformidad del terreno que permite evitar asientos diferenciales. En cualquier caso, si se desea que el pavimento dé servicio en condiciones satisfactorias, deben obtenerse las densidades prescritas.

**8.18 CASOS ESPECIALES.** Aunque la compactación aumenta la estabilidad de la mayor parte de los suelos, algunos de ellos pierden estabilidad cuando son escarificados, mezclados y apisonados. Hay también algunos suelos que retraen excesivamente durante los períodos secos y se expanden excesivamente cuando absorben humedad. Cuando se encuentren estas condiciones será necesario emplear tratamientos especiales y debe consultarse a un ingeniero de suelos. Entre los suelos en que se presentan estos fenómenos podemos citar:

1. Arcillas que pierden resistencia cuando se las remoldea.
2. Limos que se fluidifican cuando se les remoldea.
3. Suelos con características expansivas.

### **Compactación con neumáticos**

**8.19 GENERALIDADES.** Al preparar las especificaciones para la compactación del terreno y de las capas de la estructura del pavimento asfáltico ha de procurarse que no sean demasiado restrictivas o tiendan a limitar el empleo de maquinaria nueva o mejorada. Esta observación se aplica especialmente a la maquinaria de compactación con neumáticos o por vibración, que está en período de rápido desarrollo.

**8.20 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PRESION DE CONTACTO.** La presión de contacto de los compactadores de neumáticos depende de los siguientes factores:

1. Tamaño del neumático.
2. Número de lonas.
3. Carga por rueda.
4. Presión de inflado.

Tabla VIII-1

**SUPERFICIES Y PRESIONES DE CONTACTO  
PARA DIVERSAS PRESIONES DE INFLADO  
Y CARGAS POR RUEDA**

**NEUMATICO DE COMPACTADOR 9,00-20-12**

Superficie de contacto

Carga por rueda kg	Presión de inflado kg cm'	Asiento cm	Longitud cm	Anchura cm	Superficie cm'	Presión de contacto kg cm'
907,1 . . .	2,81	1,98	21,16	16,08	269	3,39
" . . .	4,22	1,72	18,81	14,70	233	3,89
" . . .	5,63	1,47	18,72	13,66	203	4,48
" . . .	7,03	1,32	17,55	12,98	183	4,96
" . . .	8,44	1,27	17,22	12,59	169	5,35
1587,5 . . .	2,81	3,15	26,54	20,21	432	3,68
" . . .	4,22	2,57	24,23	18,29	359	4,42
" . . .	5,63	2,16	22,45	16,84	308	5,15
" . . .	7,03	1,96	21,54	16,18	281	5,62
" . . .	8,44	1,88	20,83	15,60	259	6,17
2267,9 . . .	2,81	4,45	31,12	22,91	583	3,97
" . . .	4,22	3,40	27,89	21,18	474	4,77
" . . .	5,63	2,79	25,88	20,22	413	5,48
" . . .	7,03	2,54	24,71	18,47	369	6,15
" . . .	8,44	2,39	23,90	17,88	347	6,54
2721,5 . . .	2,81	5,23	33,99	23,62	690	3,94
" . . .	4,22	4,01	30,28	22,56	554	4,91
" . . .	5,63	3,25	27,91	21,18	477	5,70
" . . .	7,03	2,87	26,39	19,96	421	6,45
" . . .	8,44	2,72	25,25	19,00	392	6,94

Incluso sería posible especificar todos los factores que acabamos de citar y que la especificación resultara restrictiva, porque sería posible ejercer presiones de contacto comparables empleando neumáticos de otro tamaño con diferente carga por rueda. Los principales criterios para determinar los neumáticos a emplear deben ser la presión y superficie de contacto. El campo de variación de la presión de contacto cambia según el tipo y tamaño de neumático, la carga por rueda y la presión de inflado.

Algunas especificaciones contienen la siguiente cláusula:

«El contratista entregará al ingeniero ábacos o tablas que indiquen las áreas y presiones de contacto para las diversas presiones, inflado y carga por rueda, para cada tipo y tamaño de neumático empleado en la compactación.»

La tabla VIII-1 indica las áreas y presiones de contacto para diversas cargas y presiones de inflado de un tipo y tamaño determinados de neumático de compactación. Existen tablas y gráficos (fig. VIII-3) similares que dan esta información para otros tamaños y tipos de neumáticos.

**8.21 PRESION MEDIA DE CONTACTO.** A partir de datos similares a los contenidos en la tabla VIII-1 es posible calcular la presión media de contacto para los diversos tamaños de neumáticos. Se emplea el término «presión media de contacto» porque la presión no es constante en toda la huella del neumático. La presión media de contacto en kilogramo por centímetro cuadrado se obtiene dividiendo la carga por rueda por el área de contacto. Las áreas de contacto, para diferentes cargas por rueda y presiones de inflado, se obtienen dibujando sobre una placa de vidrio o de acero el área de contacto del neumático cargado estáticamente.

Las tablas VIII-2 y VIII-3 dan las presiones de contacto medias para neumáticos de camión e indican posibles campos de variación para las presiones de contacto en las apisonadoras de neumáticos. Si las presiones de contacto son demasiado elevadas para las condiciones de viscosidad y estabilidad del hormigón asfáltico en caliente, pueden aparecer en el ondulaciones y grietas durante el apisonado intermedio. En este caso deben bajarse las presiones de contacto reduciendo la presión de inflado, la carga por rueda o ambos. A medida que progresa el apisonado pueden incrementarse las presiones hasta los límites recomendados en las tablas.

**8.22 CARGAS POR RUEDA Y PRESIONES DE INFLADO.** Los neumáticos para compactador están previstos para cargas por rueda y presiones de inflado dadas que no pueden excederse.

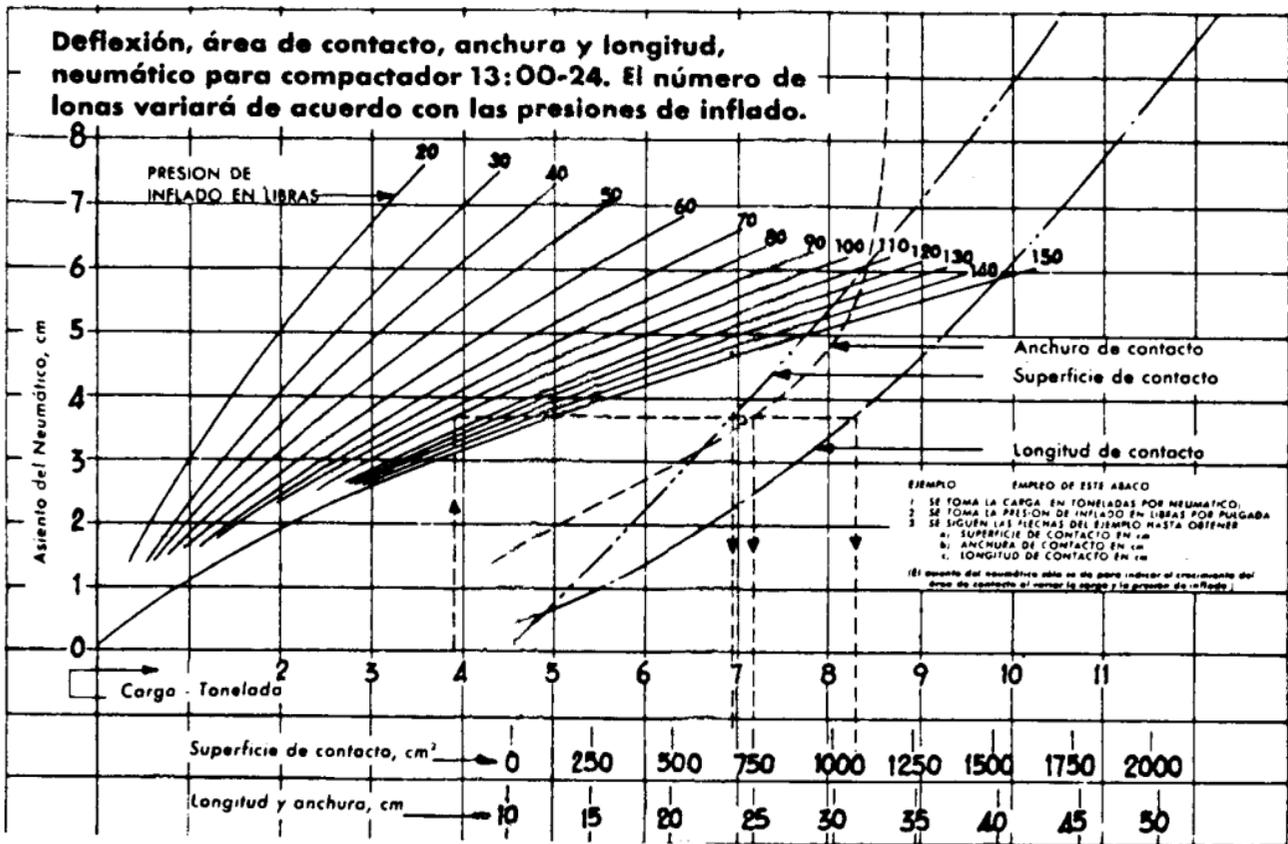


Figura VIII-3. Asiento, área, anchura y longitud de contacto: neumático para compactador 13:00 - 24.

**Tabla VIII - 2**  
**PRESIONES MEDIAS DE CONTACTO PARA NEUMATICOS DE CAMION**  
**DE TIPO CONVENCIONAL**

(Con ruedas gemelas)

Tamaño del neumático	Carga por eje	Caiga por rueda	PRESION EN FRIO		INFLADO EN CALIENTE			Margen de presiono. recomendadas para el compactador kg/cm <sup>2</sup>
			Presión de inflado kg/cm <sup>2</sup>	Presión de contacto total kg/cm <sup>2</sup>	Presión de inflado kg/cm <sup>2</sup>	Presión de contacto total kg/cm <sup>2</sup>	Máxima presión de contacto neta kg/cm <sup>2</sup>	
11.00 y 20-14 (2,51T a 6 kg/cm <sup>2</sup> )	8,16T	2,04T	6,0	4,40	7,38	4,70	6,26	5,6-6,3
	10,20T	2,55T	6,0	4,91	7,38	5,21	6,96	5,6-6,7

Nota: Algunos de los valores de las presiones de **contacto** son aproximados y se han obtenido por interpolación. Error probable  $\pm 0,5$  kg/cm<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Las cargas por rueda de esta magnitud pueden ser soportadas también por los neumáticos del eje frontal.

<sup>2</sup> Basadas en una media del 25 % de huecos en el contacto entre neumático y terreno.

### Tabla VIII-3 PRESIONES MEDIAS DE CONTACTO PARA NEUMATICOS DE ALTA PRESION PARA CAMION

(Para ruedas gemelas)

			PRESION DE INFLADO EN FRIO		PRESION DE INFLADO EN CALIENTE			Campo sugerido para variación de las presiones de inflado del compactador kg/cm <sup>2</sup>
			de inflado kg/cm <sup>2</sup>	contacto kg/cm <sup>2</sup>	de inflado kg/cm <sup>2</sup>	Presión bruta de contacto kg/cm <sup>2</sup>	Máxima presión neta de contacto <sup>1</sup> kg/cm <sup>2</sup>	
10.00 20 acero	8,16T	2,04T	6,7	5,08	8,09	5,54	7,32	5,97-7,03
						6,06	8,09	5,97-7,73
						5,67	7,52	5,97-7,03
	10,20T					6,17	8,23	5,97-7,73

Nota: Algunos de los valores de la presión de contacto son aproximados y se han obtenido por interpolación. Error probable  $\pm 0,5$  kg/cm<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Las cargas por rueda de esta magnitud pueden ser soportadas también por los neumáticos del eje delantero.

<sup>2</sup> Basados en una media del 25 % de huecos en el dibujo del contacto del neumático.

La tabla VIII-5 indica la carga **por** rueda o neumático y las presiones de inflado que han sido recomendadas por la Tire and Rim Association Inc., para servicio de compactación (8 km/h). En la tabla, los números en negritas indican la máxima carga recomendada para los tamaños y número de lonas indicados.

**Tabla VIII-4**

**COMPARACION DE LAS SUPERFICIES Y ANCHURAS DE CONTACTO PARA CARGAS POR RUEDA Y AREAS DE CONTACTO COMPARABLES EN NEUMATICOS LISOS PARA COMPACTADOR**

Tamaño del neumático	Carga por rueda t	Presión de inflado kg/cm <sup>2</sup>	Superficie de contacto	Anchura de contacto	Presión de contacto
7,50 · 15-10.	2,27	5,63	390	18,69	5,81
9,00 · 20-12.	2,27	5,98	402	19,79	5,63
10,00 · 15-14.	2,27	6,33	396	18,75	5,72
13,00 · 24-22.	2,27	<b>8,44</b>	403	15,24	5,62

NOTA.—La carga por rueda y las presiones de inflado indicadas sólo tienen carácter orientativo y no deben emplearse como guía en la redacción de especificaciones para compactadores (véanse las tablas VIII-5 y VIII-6). Esta tabla indica también que, para cargas por rueda iguales, cuanto más ancho es el neumático del compactador más presión de inflado es necesaria para obtener una presión de contacto de 5,6 kg/cm<sup>2</sup> aproximadamente. También es evidente que la presión de inflado no es un indicador seguro del esfuerzo de compactación cuando se comparan neumáticos diferentes, lo que es necesario tener en cuenta al preparar especificaciones no restrictivas. Las presiones de inflado y las cargas por rueda para neumáticos de un tamaño dado pueden emplearse en la construcción para obtener la presión de contacto deseada. Estos datos pueden obtenerse de ábacos o tablas de neumáticos.

Puede emplearse cualquier combinación carga-presión de inflado de las indicadas en la tabla VIII-5 si no se excede la carga y presión de inflado indicadas para un determinado número de lonas. Por ejemplo, puede emplearse un neumático de compactador de tipo 9,00 · 20 con 12 lonas, con una carga de 5020 libras (2259 kg) con cualquier presión de inflado, entre 35 y 90 lb/pulg<sup>2</sup> (2,45 y 6,30 kg/cm<sup>2</sup>). Este amplio campo de variación de la relación presión-carga da una amplia gama de presiones de contacto que resulta útil en numerosos casos. Por ejemplo, la compactación inicial de

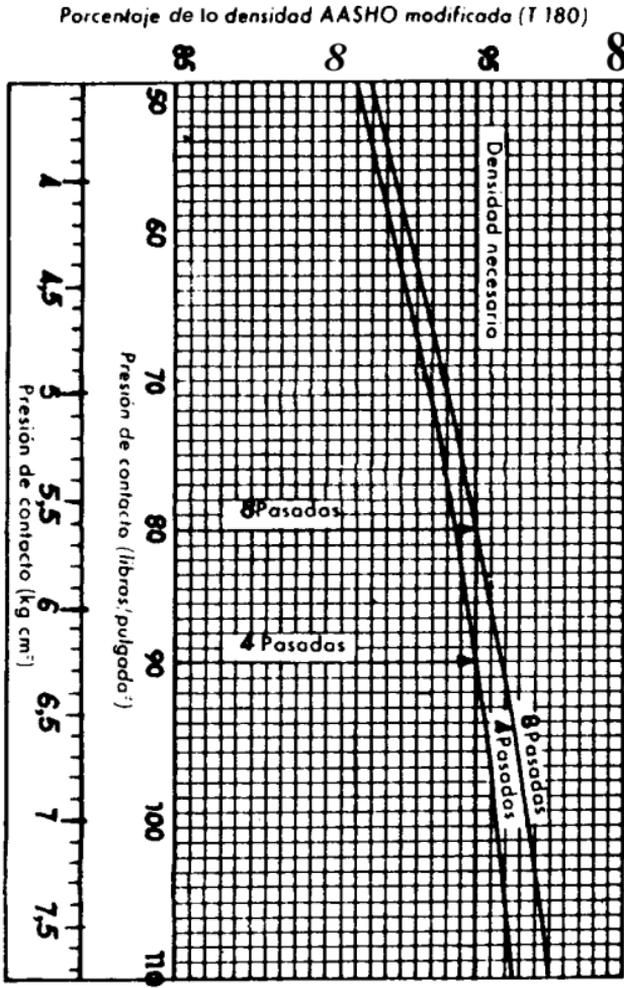


Figura VIII-4. Datos característicos sobre rendimientos de compactación con compactadores de neumáticos.

las mezclas asfálticas y materiales más débiles puede exigir presiones de inflado comprendidas entre 35 y 50 lb/pulg<sup>2</sup> (2,45 y 3,50 kg/cm<sup>2</sup>) y la consiguiente reducción de las cargas por rueda.

La tabla VIII-6 indica el campo completo de variación de presiones, dentro de los márgenes de cargas y presiones de inflado establecidos por la Tire and Rim Association Inc., para los neumáticos de compactador más empleados. El peso de un compactador sin lastre puede evitar que se alcancen los límites inferiores. Las presiones de contacto indicadas se han obtenido de información proporcionada por varias compañías fabricantes de neumáticos y son valores medios. Como consecuencia de pequeñas variaciones en las características de proyecto de los neumáticos, las presiones unitarias de contacto de los neumáticos fabricados por diferentes compañías puede tener variaciones hasta del 5%. Para control en obra de la compactación se recomienda emplear los datos sobre los neumáticos proporcionados por su fabricante.

Empleando la tabla VIII-5 y otra similar a la VIII-1, correspondientes a los neumáticos del compactador empleado, el ingeniero puede determinar la presión de inflado y la carga más indicada para la compactación de la capa en construcción. La presión de contacto debe ser la más alta que el material compactado pueda soportar sin que se formen rodadas.

El examen de la tabla VIII-6 indica que para el neumático 9,00 - 20-12 indicado en la tabla VIII-5, la presión de contacto puede variar desde 51,0 lb/pulg<sup>2</sup> (3,60 kg/cm<sup>2</sup>) con una presión de inflado de 35 lb/pulg<sup>2</sup> (2,45 kg/cm<sup>2</sup>) y una carga de 5020 lb (2259 kg) por neumático, a 95,0 lb/pulg<sup>2</sup> (6,65 kg/cm<sup>2</sup>), o sea, aproximadamente el doble, con una presión de inflado de 90 lb/pulg<sup>2</sup> (6,30 kg/cm<sup>2</sup>) y una carga de 8720 lb (3924 kg) por neumático. Puede lograrse una flexibilidad semejante en las presiones de contacto variando la presión de inflado y la carga, en todos los otros neumáticos para compactador, dentro de límites previamente establecidos y con la presión de inflado máxima permitida por la llanta empleada.

Esta flexibilidad de las presiones de contacto em-

## GAS POR NEUMÁTICO A DIVERSAS PRESIONES DE INFLADO

VELOCIDAD MÁXIMA: 8 KM/HORA

Tamaño del neumático	7.50-15(L.T.)	7.50-15	9.00-20	13.00-24	16.00-21	18.00-25	21.00-25	30.00-33
Presión de inflado:								
2.46	<b>1290(4)</b>	1330	2280	4260	5950	8530	10890	22450
2.81	1400	1450	2460	6615	6440	9210	11790	24270
3.16	1490	1550	2630	4944	6890	9890	12610	25990
3.52	1590	1650	2800	5261	7350	10520	13430	27070
3.87	<b>1700(6)</b>	1740	2970	5567	7770	11110	14240	29210
4.22		1830	3120	5851	8160	11700	14970	30750
4.57		1920	3270	6124	8560	12270	15690	32200
4.92		2010	3410	6396	8940	12840	16380	33660
5.27		2080	<b>3550(10)</b>	6667	9300	13340	17060	35020
5.63		2170	3690	6917	<b>9660</b>	13840	17690	36330
5.98		2240	3820	7166	10020	14330	18330	37650
6.33		<b>2320(10)</b>	<b>3960(12)</b>	7416	10340	14860	18960	39010
6.68		2400	4080	7643	10680	15330	19600	40190
7.03		2460	4200	<b>7881(18)</b>	11000	15790	20185	41460
7.38		2550	<b>4330(14)</b>	8119	11340	16240	20730	42640
7.73		<b>2620(12)</b>	4450	8350	11630	16690	21320	<b>UNO</b>
6.09		2690	4560	8560	11930	17150	21910	44910
8.44		2750	<b>4670(16)</b>	8780	12250	17600	22450	46080
8.79		<b>2810(14)</b>			<b>12570(28)</b>	17990	23000	47170
9.14					12840	18420	23540	48350
9.49				9390	13110	18820	24040	49440
9.84				9620	13430	19150	24590	50440
10.20				9800	13650	19600	25080	51480
10.55				<b>10000(26)</b>	13970	20000	<b>25580(44)</b>	<b>52570(64)</b>
10.90					14240	20410		
11.25					<b>14490(36)</b>			

Nota 1: Los números entre paréntesis indican el número de lonas.

Nota 2: Los números en negritas indican las máximas cargas recomendada. para los neumáticos correspondientes.

Nota 3: (L.T.) indica llanta de camión ligero.

Nota 4: Para presiones de inflado por encima de 7,0 kg/cm<sup>2</sup> consúltese al suministrador de la llanta sobre la resistencia de ésta y el tipo de rueda.

**Tabla VIII-6—PRESIONES DE CONTACTO APROXIMADAS A DIVERSAS  
PRESIONES DE INFLADO**

**NEUMATICOS PARA COMPACTADORES RECOMENDADOS POR LA ASOCIACION DE WEUMATICOS Y LLANTAS**

Preparado por Division of Development, Bureau of Public Roadr, a partir de los datos existentes

<b>Tamaño del neumático</b>	<b>7.50-15(L.T.)-S</b>	<b>7.50-15-S</b>	<b>9.00-20-S</b>	<b>13.24-S</b>	<b>16.00-21</b>	<b>18.00-25</b>
	<i>Presión de contacto<sup>1</sup> kg/cm<sup>2</sup></i>					
<b>Número de lonas</b>						
6	2,95-3,94	2,95-4,08	—	—	—	—
8	—	2,95-5,63	—	—	—	—
10	—	2,95-6,05	3,59-5,98	—	—	—
12	—	2,95-6,75	3,59-6,68	—	—	—
14	—	2,95-7,52	3,59-7,31	—	—	—
18	—	—	—	3,52-7,17	—	—
22	—	—	—	3,52-8,23	—	—
26	—	—	—	3,52-9,49	—	—
28	—	—	—	—	4,22 <sup>1</sup> -7,95	4,22 <sup>1</sup> -8,19
32	—	—	—	—	—	4,22 <sup>1</sup> -7,03
36	—	—	—	—	4,22 <sup>1</sup> -9,35	—
40	—	—	—	—	—	4,22 <sup>1</sup> -8,23

Notar: <sup>1</sup> Presión media de contacto sobre una superficie plana.

<sup>2</sup> No se dispone de datos para presiones de 2,45 kg/cm<sup>2</sup>. Los valores indicados corresponden a presiones de 3,50 kg/cm<sup>2</sup>. Síndica que pueden encontrarse neumáticos de este tipo con dibujo acanalado y liso. Para neumáticos acanalados, los valores indicador corresponden al área de contacto bruta.

pleando el mismo compactador de neumáticos es la razón de su creciente popularidad, pero hace también evidente la necesidad de su empleo inteligente. Son instrumentos a la vez útiles y peligrosos. El mismo compactador puede realizar un excelente trabajo de compactación o compactar el material sólo a medias, según se regulen las presiones de inflado y cargas por rueda.

Las curvas indicadas en la figura VIII-4 se obtuvieron por determinaciones de la densidad en obra después de la compactación, con diversas presiones de contacto y para cuatro y ocho pasadas del compactador. Las curvas indican que la densidad depende directamente de estos dos factores, si la humedad es constante, siempre que no se supere la resistencia del material a esfuerzo cortante. Los suelos de bajo poder portante son una excepción, ya que la mayor parte de los trabajos exigen su exclusión. Las curvas indican que si se desea obtener una densidad del 95 % de la determinada con el método AASHO T180 D, es necesario trabajar con una presión media de contacto de 80 lb/pulg<sup>2</sup> con ocho pasadas de la apisonadora de neumáticos. Sin embargo, si se aumenta la presión de contacto hasta aproximadamente 90 lb/pulg<sup>2</sup>, puede conseguirse la misma densidad con sólo cuatro pasadas.

## **Compactación vibratoria**

8.23 GENERALIDADES. Los compactadores vibratorios se emplean cada vez más en la compactación del terreno y de las diversas capas de la estructura de los pavimentos asfálticos. Se ha demostrado que una combinación de compactadores vibratorios y de neumáticos con las cargas por rueda y presiones de inflado adecuadas, permiten obtener densidades considerablemente más altas y más uniformes de las que pueden lograrse sin el empleo de compactadores vibratorios. Sin embargo, aún no se han fijado los criterios para determinar los diversos factores de la compactación por vibración. Desde un punto de vista práctico no es difícil determinar la frecuencia de resonancia adecuada

para material y maquinaria dados, y con alguna experiencia y unos pocos ensayos puede determinarse en cada caso el procedimiento a seguir.

### **Apisonado de prueba**

8.24 GENERALIDADES. Frecuentemente el aumento de la densidad de las capas inferiores bajo los efectos del tráfico, especialmente en las zonas cubiertas



**Figura WI-5. Extensión de arena-asfalto con una pavimentadora.**

por las ruedas, dan lugar en los pavimentos asfálticos a irregularidades superficiales. Estas irregularidades indican que una o varias capas no fueron adecuadamente compactadas durante la construcción, o que existen en la estructura zonas blandas o inestables. Para evitar estas deficiencias está generalizándose rápidamente el empleo del apisonado de prueba de las capas inferiores.

8.25 DESCRIPCION. El apisonado de prueba se realiza por aplicación de compactadores neumáticos pesados sobre la capa terminada, usualmente como un

suplemento de la compactación inicial por medios convencionales. Las principales finalidades del apisonado de prueba son:

1. Determinar las zonas inestables.
2. Obtener una compactación adicional.

Inicialmente, los compactadores muy pesados se emplearon únicamente para comprobar la uniformidad de la compactación obtenida con compactadores convencionales. Sin embargo, la facilidad con que puede lograrse una compactación adicional empleándolos ha tendido a convertirlos en un instrumento práctico de compactación. Se emplean en la construcción de cada capa de terraplén, terreno mejorado y base inmediatamente después de la maquinaria convencional.

Los compactadores de prueba pueden producir beneficios en suelos cuyo contenido de humedad está por debajo del óptimo de proyecto. Producen una compactación adicional con menos esfuerzo que la maquinaria convencional y aumentan la densidad hasta la de proyecto o por encima de ella. Si el contenido de humedad es el óptimo prefijado, el esfuerzo de compactación adicional, por encima del necesario para obtener la densidad de proyecto, puede debilitar el suelo. Por ello, cuando la humedad del suelo es la óptima debe realizarse la compactación de prueba con gran cuidado. Si el contenido de humedad es superior al óptimo, el apisonado de prueba lo hace inmediatamente evidente y puede procederse a la corrección del defecto durante las sucesivas fases de construcción.

El apisonado de prueba no debe emplearse como un sustituto de los ensayos de contenido de humedad y densidad a realizar en obra. Para conseguir los resultados deseados deben emplearse todos los medios juntos.

**8.26 MAQUINARIA.** Para el apisonado de prueba se emplea una estructura rígida de acero montada sobre neumáticos con una plataforma adecuada para la aplicación de lastre hasta un peso total de 25 a 50 t para carreteras y de 200 t para aeropuertos. Usualmente se emplean de dos a cuatro ruedas por eje. Si hay más de dos ruedas se disponen de tal forma que todas soporten

aproximadamente la misma carga al trabajar sobre una superficie irregular.

8.27 NEUMATICOS. Los neumáticos deben ser adecuados para trabajar a presiones de inflado comprendidas entre 50 y 150 lb/pulg<sup>2</sup> (3,51 y 10,54 kilogramos/centímetro cuadrado). Usualmente se llenan los neumáticos de líquido, parcialmente, para disminuir el peligro **si** se producen reventones. Debe disponerse de ábacos o tablas que indiquen las áreas y presiones de inflado en todo el posible campo de variación de estas últimas y para toda posible variación de la carga de los neumáticos empleados, de forma que puedan hacerse correcciones, teniendo en cuenta el material que se está compactando.

8.28 LASTRE Y CARGA. El lastre puede consistir en lingotes o bloques de hormigón u otros materiales de peso conocido, de forma que pueda determinarse fácilmente su peso total. En la construcción de carreteras debe disponerse de lastre suficiente para cargar el compactador hasta un peso total máximo que produzca presiones de contacto hasta de 135 lb/pulg<sup>2</sup> (9,49 kg/cm<sup>2</sup>). En las capas de base debe emplearse material de tracción equipado con neumáticos. Sobre el terreno pueden emplearse tractores de todo tipo. En la compactación de carreteras todo el equipo, incluyendo el tractor, debe ser capaz de efectuar un giro de 180° en una anchura de 9 m.

8.29 METODOS CONSTRUCTIVOS. Se extiende cada capa en un espesor especificado y con su humedad Óptima, y se apisona inicialmente con maquinaria convencional. Después se compacta aún más con compactador de prueba. El adecuado control de la humedad es tan importante en el apisonado de prueba como en cualquier otro. El contenido de humedad no debe ser superior **al** óptimo **ni** inferior a éste en más del 3 %. En suelos cohesivos cuyo contenido Óptimo de humedad se aproxime **al** límite plástico, la humedad durante la compactación debe ser de un 1 a un 2 %, inferior a la óptima.

La carga y presión de inflado de los compactadores de neumáticos se regulan para obtener presiones de contacto tan próximas como sea posible al máximo

valor en la capa compacta puede soportar. **A** medida que se van poniendo en obra capas más resistentes, se aumentan la carga y presión de inflado hasta la máxima presión de contacto especificada. Usualmente es necesario un mínimo de dos pasadas del compactador de prueba. El desplazamiento de cada neumático entre cada dos pasadas del compactador de prueba no debe ser superior a la mitad de la anchura de un neumático, para obtener una cubrición completa de la zona tratada. El compactador debe manejarse de forma sistemática, de modo que pueda determinarse y anotarse fácilmente el número de pasadas sobre cada punto del camino. Se obtienen resultados óptimos cuando el compactador funciona a velocidades comprendidas entre 4 y 8 km/h.

Cuando el apisonado de prueba de una capa indica que una determinada zona es inestable o su uniformidad no es satisfactoria, deben obtenerse estabilidad y uniformidad suficientes por compactación adicional o por eliminación de los materiales inadecuados, sustitución por los convenientes y recompactación. A continuación debe comprobarse si la superficie cumple lo establecido en cuanto a secciones, pendientes, etc., corrigiendo cualquier irregularidad hasta que se cumplan las normas establecidas.

**8.30 MEDICION Y PAGO.** Las especificaciones establecen generalmente que en el apisonado de prueba se pagará a un precio por hora multiplicado por el número real de horas de apisonado, sin que se haga ningún pago por el tiempo de inactividad de la maquinaria por reparaciones, entretenimientos, carga o descarga de lastre, aumento o disminución de la presión de inflado, mal tiempo, terreno húmedo, espera hasta que llegue el momento de aplicación o cualquier razón semejante. También establecen usualmente que no se pagará por la maquinaria empleada en momentos o lugares distintos de los prescritos en las especificaciones o indicados por el ingeniero.

## **Preparación previa de los pavimentos antiguos empleados como bases**

8.31 PREPARACION DE LOS PAVIMENTOS ANTIGUOS EMPLEADOS COMO BASES. Este tema se estudia en las siguientes partes de este Manual:

1. Imprimación de bases no asfálticas, capítulo VIII, sección F.
2. Capas de adherencia, capítulo VIII, sección F.
3. Ensanchamiento, capítulo IX, sección A.
4. Reconstrucción de antiguos pavimentos asfálticos, capítulo IX, sección A.
5. Recargo asfáltico de antiguos pavimentos de tipo rígido, capítulo IX, sección A.

Para el estudio de diversos tipos de bases asfálticas, véanse las siguientes secciones de este Manual:

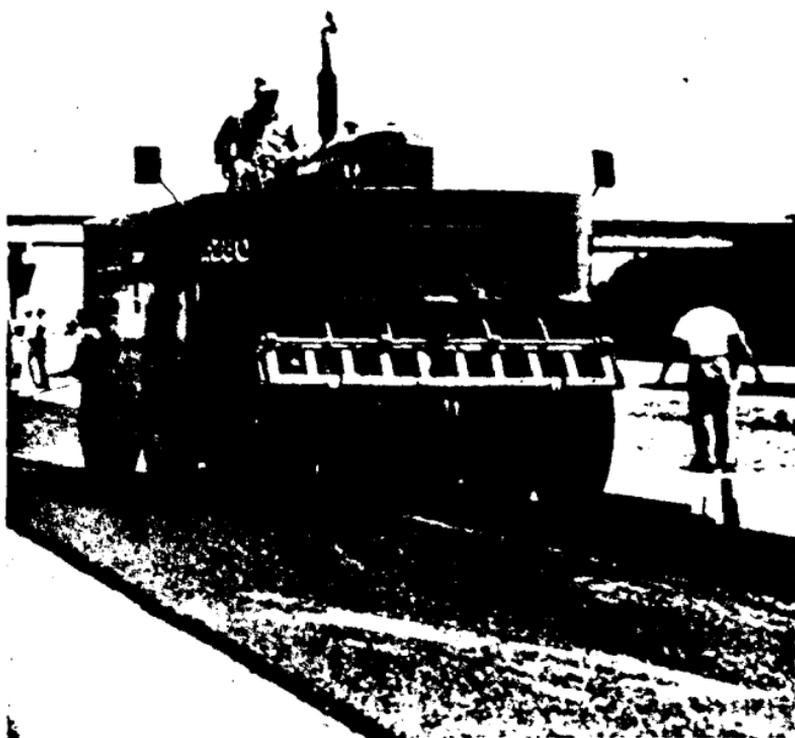
1. Mezclas asfálticas aplicadas en frío y en caliente, capítulo VIII, secciones B y C.
2. Macadam asfáltico, capítulo VIII, sección D.
3. Mezclas asfálticas *in situ*, capítulo VIII, sección E.

### ***B) Empleo, fabricación e inspección de mezclas asfálticas obtenidas en instalación mezcladora***

8.32 CALIDAD Y ECONOMIA DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE EN INSTALACION MEZCLADORA. Como consecuencia de la superior calidad de las mezclas asfálticas fabricadas en instalaciones mezcladoras con los controies adecuados, y de las economías inherentes al sistema, su empleo se ha extendido notablemente y debe considerarse como primera posibilidad para cualquier capa en la estructura del pavimento asfáltico por las siguientes razones:

1. Los áridos pueden dosificarse, secarse, calentarse y mezclarse exactamente de forma que todas las partículas queden completamente envueltas con una capa uniforme de asfalto.

2. Normalmente existen instalaciones de gran rendimiento para la preparación de aglomerados asfálticos a distancias no excesivas de cualquier obra en estudio, o puede transportarse una instalación asfáltica hasta una gravera o cantera próxima, a costo razonable y en pocas horas.
3. El mezclado es relativamente independiente de las condiciones atmosféricas, porque los áridos pueden secarse inmediatamente después de una lluvia ocasional, permitiendo reanudar el proceso de construcción.
4. Las mezclas asfálticas así obtenidas pueden extenderse con terminadoras mecánicas (o con mo-



**Figura VIII-6. Según apisonado de la capa resistente de hormigón asfáltico.**

toniveladoras de base larga en capa intermedia) a un costo de colocación mínimo y con la seguridad de que se obtendrá una superficie lisa.

5. Puede controlarse exactamente la cantidad de asfalto, calentándolo para obtener la viscosidad adecuada' para un mezclado perfecto.

## **Fabricación de mezclas asfálticas en instalación mezcladora**

8.33 INSTALACIONES MEZCLADORAS MODERNAS. Las instalaciones mezcladoras modernas para la obtención de aglomerados asfálticos en caliente, han llegado a tal punto de perfección mecánica, que cuando se instalan y regulan adecuadamente la producción de mezcla uniforme de acuerdo con especificación es casi automática. La figura VII-7 indica el paso de los materiales a través de una moderna planta discontinua, y la VIII-8 a través de una planta continua. Mediante el empleo de controles eléctricos e hidráulicos y dispositivos automáticos un solo hombre puede iniciar el proceso y vigilar la instalación mientras ésta realiza los diversos ciclos de dosificación automática, mezclado en seco, pesado y adición del asfalto, mezclado y descarga de la mezcla en los camiones, **Si** la cantidad de áridos de un tamaño determinado existente en las tolvas de almacenaje es insuficiente para una amasada, la operación de mezclado *se* detiene automáticamente hasta que ~~la~~ la tolva de la balanza recibe las cantidades exactamente necesarias de piedra de cada tamaño, momento en el que continúa automáticamente el ciclo' de mezclado. Con estos controles automáticos es posible dosificar exactamente todos los tamaños de áridos simultáneamente e incluso superponer algunos ciclos, por ejemplo, pesando la segunda amasada mientras la primera está sufriendo el proceso de mezclado y descarga desde el mezclador. El automatismo asegura el proceso adecuado y evita que se comience una operación antes de que se haya terminado la anterior. Este

---

<sup>1</sup> Véase en el artículo 4.10 lo que se dice sobre las relaciones temperatura-viscosidad.

tipo de funcionamiento automático reduce las posibilidades de error humano.

**8.34 UNIFORMIDAD Y EQUILIBRIO.** Para producir hormigón asfáltico de la mejor calidad con el mejor rendimiento posible, es esencial que exista uniformidad y equilibrio en el conjunto del funcionamiento de la instalación. Análoga importancia tiene la uniformidad del material, tanto en cantidad como en calidad. La uniformidad con que funcionan los diversos elementos de la instalación contribuye también a la calidad del producto final.

Para mantener un funcionamiento continuo y uniforme es necesario que exista el debido equilibrio entre las diversas fases de la producción. Esto exige que los diversos elementos que componen la instalación estén adecuadamente proporcionados los unos respecto a los otros, lo mismo que los materiales que se manejan. El adecuado equilibrio de estos elementos contribuye a la uniformidad del funcionamiento de la planta y de su producción.

**8.35 ALMACENAJE DEL ASFALTO.** Debe almacenarse asfalto en cantidad suficiente para mantener la planta en funcionamiento, incluso contando con posibles retrasos en las entregas de material. Deben tomarse las medidas necesarias para que sea posible la circulación del asfalto a través del sistema de almacenaje y alimentación. Este sistema debe incluir los elementos precisos para calentar el asfalto a la temperatura adecuada, que se comprobará con termómetros, preferiblemente del **tipo** inscriptor, situados tanto en los tanques de almacenaje como en un punto tan próximo como sea posible a la boca de descarga **en** la cuba del mezclador. Las conducciones de asfalto, la bomba, el recipiente de pesada y el mezclador deben estar encamisados para hacer posible el calentamiento con vapor, aceite caliente o electricidad.

**8.36 TEMPERATURA DEL ASFALTO DURANTE EL MEZCLADO.** Para que se produzca **una** envuelta satisfactoria de los áridos, la viscosidad del asfalto debe ser la adecuada'. El asfalto **es** un material

---

<sup>1</sup> Véase el artículo 4.10

termoplástico cuya viscosidad decrece con temperaturas crecientes. La relación entre temperatura y viscosidad puede no ser la misma para asfaltos de diferentes orígenes o de diferentes tipos y grados.

**8.37 PREPARACION DE OTROS MATERIALES ASFALTICOS.** El asfalto fluidificado debe calentarse cuidadosamente hasta temperaturas comprendidas dentro de los límites indicados en el gráfico temperatura-viscosidad, para el tipo y grado empleado **por** medio de serpentines cerrados situados en los tanques, dispuestos de forma que aseguren un calentamiento uniforme de todo el contenido y a través de los cuales circule vapor o aceite caliente. El contratista debe prever todos los elementos necesarios para determinar la temperatura del asfalto fluidificado durante el calentamiento y antes de la aplicación.

**8.38 SEPARACION DE LOS MONTONES DE ACOPIO.** Los montones de acopio deben separarse para evitar la mezcla de los materiales. Esto puede conseguirse disponiendo los montones o tolvas netamente separados o empleando los necesarios elementos de separación. Estos elementos de separación deben cubrir toda la altura de los montones y ser suficientemente resistentes para soportar las presiones que puedan aparecer durante el trabajo de la instalación.

**8.39 PREPARACION Y MANEJO DE LOS MONTONES DE ACOPIO.** Los montones de acopio deben prepararse por capas mejor que en forma de cono. El espesor de cada capa de material no debe ser superior a 1,50 m. Los camiones deben descargar unos junto a otros cubriendo la totalidad de la superficie del acopio.

Cuando se amontona el material con una grúa cada carga debe situarse al lado de las adyacentes, cubriendo toda la superficie del acopio de forma que el espesor de la capa resulte uniforme. Cuando los áridos se dejan caer desde cierta altura deben emplearse deflectores que eviten la segregación que se produce al caer los áridos gruesos en el lado más alejado, mientras que los finos se reúnen en el punto de caída.

Cuando se emplean como acopios vagones, barcazas o camiones, debe tenerse cuidado en la forma de cargar

y descargar para evitar la segregación. En algunos casos puede ser necesario volver a combinar por mezclado los materiales segregados.

Durante la preparación y manejo de los acopios debe tenerse cuidado de evitar la degradación de los áridos por la maquinaria empleada.

**8.40 ALIMENTACION DE ARIDOS FRIOS.** La alimentación de áridos fríos es uno de los puntos críticos en la producción de una instalación asfáltica. Es significativo que, aunque la mayor parte de los problemas se presentan en algún otro punto de la instalación, sus causas se encuentran generalmente en la alimentación en frío.

**8.41 ALIMENTADOR DE ARIDOS FRIOS.** El alimentador de áridos fríos es el elemento más importante de la instalación. Puede cargarse mediante uno de los tres métodos siguientes o una combinación de ellos:

1. Tolvas descubiertas con dos, tres o cuatro compartimientos, alimentados usualmente mediante una grúa con almeja.
2. Túnel situado bajo montones de acopio separados por muros de separación. Los materiales se amontonan sobre el túnel mediante cintas transportadoras, camiones o grúas.
3. Grandes tolvas. Se alimentan usualmente mediante camiones, descargadores de vagones o volquetes que descargan directamente sobre las tolvas.

**8.12 CARGA DE LAS UNIDADES DE ALIMENTACION EN FRIO.** Durante la carga de las tolvas de alimentación en frío deben tomarse las precauciones necesarias para reducir al mínimo la segregación y degradación de los áridos. Estos peligros pueden evitarse tomando las precauciones indicadas al hablar de la forma correcta de acopiar los áridos. Todas las tolvas deben contener material suficiente para asegurar un suministro continuo y uniforme. Excepto en tolvas muy grandes, no debe permitirse que ninguna de ellas llegue a contener **menos de** la mitad de su capacidad total, ni deben llenarse hasta que rebosen.

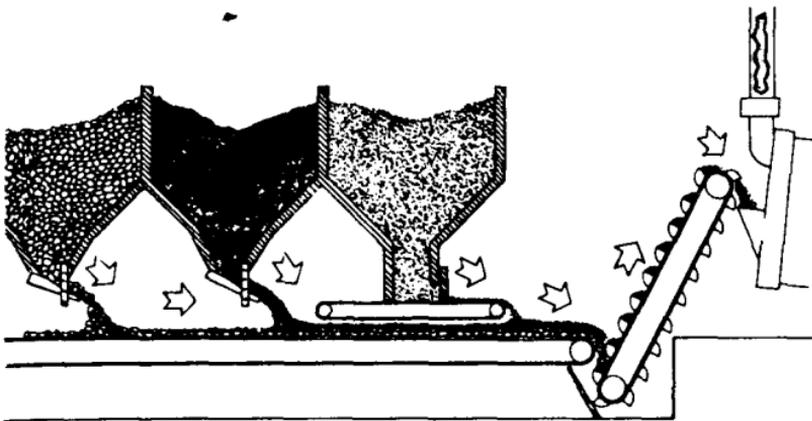
Cuando el material de alimentación en frío se acopia

sobre un túnel con cinta transportadora debe tenerse cuidado en la forma de manejar el material sobre los alimentadores. **A** ser posible debe evitarse el uso de bulldozers. Cuando se permite el empleo de este tipo de maquinaria sobre los montones de acopio, existe gran peligro de segregación y degradación. La vibración del tractor puede dar lugar a que las partículas finas descendan hacia el fondo, acumulándose en una capa inferior.

Si el nivel del acopio sobre el túnel se mantiene mediante una dragalina o grúa con almeja, el operador debe tener cuidado de no coger material del mismo punto del acopio general en dos cargas sucesivas. Cuando se emplea una cargadora frontal debe advertirse al operador que no tome material del acopio al nivel del suelo. La cuchara debe mantenerse durante el llenado al menos **15 cm** sobre el terreno.

Cuando para cargar las tolvas se emplean camiones, éstos deben depositar sus cargas directamente sobre el alimentador. Cuando se llena el acopio mediante cintas transportadoras elevadas debe controlarse el flujo del material mediante deflectores o chimeneas perforadas.

**8.43 TIPOS DE ALIMENTADORES.** Las unidades de almacenaje de áridos deben tener compuertas



**Figura VIII-9.** Alimentador en frío y cinta transportadora con tres tolvas.

que puedan regularse y fijarse exactamente, situadas bajo las tolvas o montones de acopio, de tal forma que aseguren un flujo uniforme de los áridos sobre los alimentadores. Existen varios tipos de alimentadores, entre los que figuran el de cinta transportadora continua, el de vaivén, el vibratorio y por gravedad. Generalmente se considera **que** los mejores tipos de alimentadores para áridos finos son el de cinta transportadora y el vibratorio.

8.44 FUNCIONAMIENTO DE LOS ALIMENTADORES. Si la producción de la instalación ha de ser uniforme, la alimentación debe medirse con exactitud. Es imposible exagerar la importancia de que se suministren al secador las cantidades exactamente necesarias de cada tamaño de áridos al ritmo conveniente.

El cumplimiento de **las condiciones** siguientes asegurara del mejor modo posible un **flujo** uniforme de áridos de los tamaños adecuados:

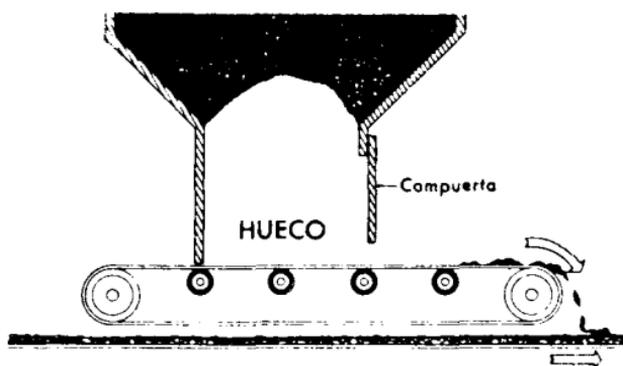


Figura VIII-10. Efecto bóveda de los áridos finos en la alimentación en frío.

1. Los acopios deben contener áridos del tamaño adecuado.
2. Debe evitarse la segregación.
3. Debe evitarse la mezcla de materiales de los diversos montones de acopio.
4. Las compuertas del alimentador deben estar exactamente calibradas, reguladas y fijadas.

5. Las compuertas deben mantenerse libres de obstrucciones. Accidentalmente, una piedra, un trozo de madera o raíz pueden obstruir la compuerta. El uso de un tamiz de gran abertura situado sobre las tolvas de alimentación en frío reducirá este peligro.
6. No debe permitirse que la influencia del efecto bóveda sea apreciable en los áridos finos. Puede evitarse este efecto empleando sobre los alimentadores bocas rectangulares en lugar de cuadradas y o mediante el empleo de vibradores en el exterior de las tolvas de áridos finos. Los vibradores deben montarse cerca de la boca de alimentación y de tal forma que se detengan automáticamente al detenerse el alimentador.

Una alimentación en frío adecuada es esencial porque:

1. Una súbita introducción de arena fría puede dar lugar a un considerable cambio de temperatura en los áridos que salen del secador.
2. Un incremento repentino de la alimentación en frío puede sobrecargar los tamices dando lugar al arrastre de áridos finos a las tolvas de áridos gruesos.
3. Una alimentación irregular puede dar lugar a que algunas tolvas rebosen mientras que otras se quedan vacías. Además:
  - a) La presencia de capas de granulometría variable en las tolvas de material caliente, especialmente en las de materiales finos, pueden dar lugar a amasadas ricas y pobres alternativamente.
  - b) El sistema de recogida de polvo puede resultar sobrecargado.
  - c) El rendimiento del secador puede disminuir.

**8.45 CALIBRACION Y FIJACION DE ALIMENTADORES.** Cuando las especificaciones lo exijan o lo pida el contratista, el inspector debe proceder a la calibración de las compuertas de los alimentadores de áridos fríos.

La mayor parte de los fabricantes dan calibraciones aproximadas para las aberturas de las compuertas de su maquinaria, que pueden emplearse como dato en la regulación inicial de la abertura de las compuertas. El Único medio exacto de fijar las compuertas es preparar para cada una gráficos de calibración, empleando los áridos que **van** a utilizarse en la mezcla.

La abertura de la compuerta (en **cm** o **cm<sup>2</sup>**) se representa en el gráfico en abscisas, tomando en ordenadas los kilos de material por vuelta del mecanismo alimentador (o por minuto). Para más detalles véase el folleto *Asphalt Plant Manual*, Asphalt Institute Manual Series número 3.

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

Las compuertas de alimentación **de** áridos gruesos no deben regularse con aberturas **menores que** 1,5 a 2 veces el tamaño de los áridos mayores. Por ejemplo, si a través de una compuerta deben **pasar** áridos con un tamaño máximo **de** 25 mm, la **abertura de** la Compuerta no debe ser **en ningún caso** inferior a 37 ó 50 mm. A veces **puede ser necesario** limitar la anchura de la abertura para conseguir la altura necesaria.

La granulometría de cada uno de los áridos suministrados por el alimentador se determina empleando el método AASHO T27 y el análisis granulométrico por vía húmeda de los áridos gruesos y finos. El porcentaje a emplear de cada tipo de árido se calcula por tanteos.

Las proporciones necesarias, tomando como base estos porcentajes, determinan las aberturas de las compuertas. Estas aberturas pueden comprobarse por el mismo método empleado al calibrar las compuertas inicialmente.

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

Deben vigilarse las compuertas cuidadosamente, regulándolas, para mantener las tolvas de material en caliente debidamente llenas.

**8.16 SECADOR.** El secador es un cilindro giratorio, usualmente con un diámetro de 90 cm a 3 m y una longitud de 6 a 12 m, en el que se secan y calientan los áridos mediante un quemador de combustible líquido o gaseoso. El cilindro está provisto de paletas o canales longitudinales que levantan los áridos y los dejan caer formando cortina a través de la llama y los gases calientes del quemador. La pendiente del cilindro, su velocidad de giro, su diámetro y la disposición y número de paletas influyen en el tiempo necesario para el paso de los áridos a través del secador.

Al quitar la humedad de los áridos, el secador realiza las siguientes funciones:

1. El calor del secador evapora la humedad; y
2. El vapor es arrastrado por el tiro.

Los quemadores empleados en los secadores pertenecen a dos tipos básicos. Uno emplea vapor para la atomización del fuel-oil; el otro emplea aire a baja presión. También existen quemadores de gas a baja y alta presión.

**8.47 FUNCIONAMIENTO DEL SECADOR.** La mayor parte de los secadores están proyectados para condiciones medias de humedad de los áridos. Los áridos muy húmedos reducen la capacidad del secador y exigen medidas correctoras, como aumentar la cantidad de calor quemando más combustible mientras se mantiene constante el flujo de áridos o reducir el flujo de éstos. Existe un límite para el aumento posible del suministro de calor, más allá del cual debe reducirse el caudal de áridos.

Los áridos muy absorbentes pueden exigir períodos de secado más largos, que pueden lograrse reduciendo la inclinación del tambor del secador o disponiendo de otra forma las paletas contenidas en su interior. Incidentalmente, el aumento del tiempo de secado suprime más humedad que el de la aportación de calor.

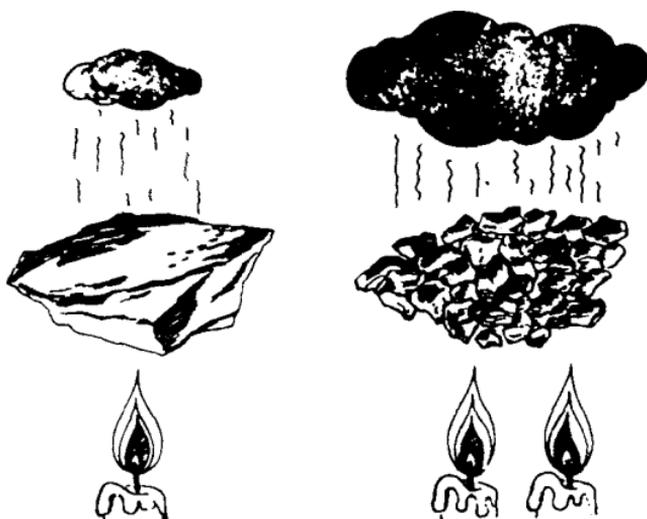
En regiones muy húmedas, o cuando los áridos están excepcionalmente húmedos o son muy absorbentes,

pueden emplearse dos secadores unidos en serie mediante una cinta transportadora abierta larga.

Si el aire del soplador, el tiro y la cantidad de fuel-oil no están adecuadamente proporcionados, puede producirse una combustión incompleta del fuel-oil que deja sobre las partículas de los áridos un revestimiento aceitoso perjudicial para la mezcla terminada. Si la chimenea despidе humo negro es que el combustible no se quema por completo. Si se emplea una purificación por vía húmeda en el separador de polvo de los humos, puede ser conveniente eliminarla mientras se observa el humo.

La falta del necesario equilibrio entre el aire del soplador y el tiro, puede producir en el interior del tambor del secador tal presión que dé lugar al bufado en el extremo del secador correspondiente al quemador. El bufado indica que el tiro no es suficiente para eliminar la presión producida por el soplador del quemador.

Los quemadores que consumen gas natural o gas líquido de petróleo rara vez dan lugar a problemas de



**Figura VIII-11. Los áridos finos retienen más humedad que los gruesos y necesitan más calor para su secado.**

combustión. Sin embargo, también en ellos **es** posible el desequilibrio entre la presión de gas, el aire de combustión y el tiro.

**8.48 MEDIDA DE LA TEMPERATURA DE LOS ARIDOS.** A la salida del secador debe instalarse un aparato medidor de la temperatura de los áridos fácilmente visible para el operador del quemador. Este aparato **es** uno de los accesorios más importantes de la instalación y debe ser un instrumento exacto y de funcionamiento seguro. El exceso de calentamiento de los áridos puede perjudicar **al** asfalto durante el mezclado. Si el calentamiento es insuficiente resulta difícil envolver los áridos y extender la mezcla.

El elemento sensible del indicador de temperatura debe tener un revestimiento protector suficientemente sólido para protegerlo del desgaste producido por los áridos, pero no tan grueso que dé lugar a una indicación errónea de la temperatura. La acumulación de polvo sobre él puede dar también lugar a una excesiva inercia **en** la medida de temperaturas.

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

**8.49 COLECTOR DE POLVO.** El ventilador o ventiladores del colector de polvo producen el tiro que hace pasar la llama y gases calientes a través del secador. La corriente de aire del tiro arrastra también las partículas de polvo del secador y otras partes de la instalación. Este polvo penetra en el colector por su parte periférica superior **en** forma de torbellino. Las partículas más pesadas son separadas por la fuerza centrífuga, se reúnen sobre las paredes del colector y caen **al** fondo. El polvo más fino puede mantenerse en suspensión y ser arrastrado por el **aire** a través de la chimenea.

Cuando las especificaciones o las ordenanzas municipales lo exijan puede añadirse **al** sistema colector de

polvo, elementos de purificación por vía húmeda. El empleo de sistemas de este tipo aumentará las necesidades de aire de los ventiladores en un 10 a 15 %, a causa de la pérdida de presión en la torre.

**8.50 POLVO RECOGIDO.** Si el material recogido en el colector de polvo cumple las especificaciones, parte de él o su totalidad puede hacerse volver a la instalación para incluirlo en la mezcla. La cantidad empleada dependerá de la granulometría combinada de la mezcla terminada. Si el polvo recogido es insatisfactorio, o las especificaciones de la mezcla lo prohíben, se extrae del fondo del colector y se tira.

**8.51 TAMICES PARA ÁRIDOS CALIENTES.** Los áridos procedentes del secador se entregan a los tamices de material en caliente montados sobre las tolvas de la instalación. La función de estos tamices es separar adecuadamente los áridos en los tamaños especificados. Para realizar adecuadamente esta función la superficie de los tamices debe ser suficientemente grande para admitir la alimentación máxima previsible. Como guía para comprobación de la capacidad de los tamices de tipo vibratorio podemos decir que, en funcionamiento continuo, cada metro cuadrado de área de tamizado puede dar paso normalmente a 10 t de material por hora.

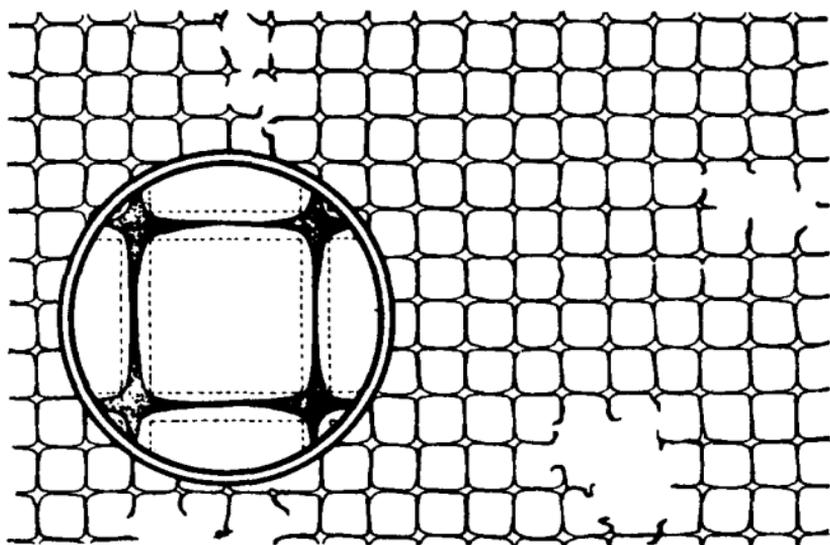
**8.52 RENDIMIENTO DE LOS TAMICES.** El estado de conservación y limpieza de los tamices regula su rendimiento de forma apreciable. Si el área de tamizado eficaz se reduce por obstrucción de las aberturas, o si se vierte sobre ellos más material del conveniente, el resultado usual es el arrastre de unos tamaños por otros.

El excesivo desgaste del alambre de los tamices da lugar a aberturas ensanchadas y a que las tolvas correspondientes contengan material de tamaño excesivo. Véase la figura VIII-12.

En algunos casos puede mejorarse el rendimiento del tamizado empleando tamices formados por alambre de pequeño diámetro o aberturas de formas diferentes. La distribución uniforme de los áridos sobre toda la anura del tamiz, y el empleo de vibradores (especialmente en el tamiz para arena) para disminuir la obs-

trucción de los orificios, también aumentan el rendimiento.

**8.53 ARRASTRE.** El arrastre consiste en la aparición de material fino en una tolva **que** debería contener áridos del tamaño inmediatamente superior. Cuando esto sucede, frecuentemente resulta perjudicada la **uni-**formidad de la granulometría de los áridos. El arrastre aumenta la cantidad de áridos finos de la mezcla total, y como estos áridos tienen una superficie específica mucho mayor que los gruesos, conviene reducir este fenómeno al mínimo.



**Figura VIII-12. Desgaste de los tamices.**

El arrastre excesivo, o **sus** fluctuaciones, se harán evidentes al inspector en el análisis granulométrico realizado con el contenido de cada una de las tolvas de áridos en caliente.

Es recomendable la inspección visual diaria del estado de limpieza de los tamices, preferiblemente antes del comienzo del trabajo del día. Cuando **su** estado lo exija, los tamices deben limpiarse.

**8.54 TOLVAS DE MATERIAL CALIENTE.** Estas tolvas contienen los áridos calientes y clasificados en las diversas fracciones granulométricas exigidas. **Sus** separaciones deben ser herméticas, **sin ori-**

ficios y de altura suficiente para impedir la mezcla de los áridos de distintos tipos.

Cada tolva debe estar provista de un aliviadero para evitar que los áridos puedan caer en las otras tolvas o que se llenen tanto que el tamiz vibratorio se apoye en los áridos. Este último fenómeno puede producir arrastres de gran importancia. **Los** aliviaderos deben **comprobarse** frecuentemente para asegurarse de que funcionan correctamente y evitan la contaminación por mezclado de tolvas adyacentes.

A veces el material, especialmente las fracciones granulométricas más finas, tiende a quedar adherido en los ángulos de la tolva. Frecuentemente, estas acumulaciones de material se desprenden de repente en **cantidades** que dan lugar a un exceso de finos que tienden a secar la mezcla, lo que se produce normalmente cuando la tolva se queda casi vacía. Puede evitarse este fenómeno soldando **pletinas** **en** los ángulos de la tolva matando los ángulos rectos.

Otros problemas que pueden presentarse **son** escasez o exceso de material en alguna tolva, compuertas desgastadas que permiten la fuga de áridos hacia la tolva de pesada después de haber descargado la cantidad deseada y humedad en las paredes de las tolvas. El exceso o defecto de material en las tolvas puede corregirse modificando la alimentación en frío. La humedad se presenta cuando el vapor de agua existente en los áridos y en el aire se condensa en las paredes de las tolvas, lo que se produce normalmente sólo al principio del trabajo del día o cuando los áridos gruesos no se han secado perfectamente. La presencia de humedad puede dar lugar a acumulaciones de polvo que, liberado repentinamente, pueden producir un exceso de finos en la **mezcla**.

**8.55 TOMA DE MUESTRAS DE LAS TOLVAS.** La mayoría **de** las instalaciones modernas para mezclas en caliente están provistas de artificios para extracción de muestras de **las** tolvas de áridos en caliente. Varían desde **compuertas** o ventanas de toma de muestras **en los** laterales de las tolvas a artificios para desviar el flujo de áridos de las tolvas a recipientes adecuados. En las instalaciones discontinuas el mejor

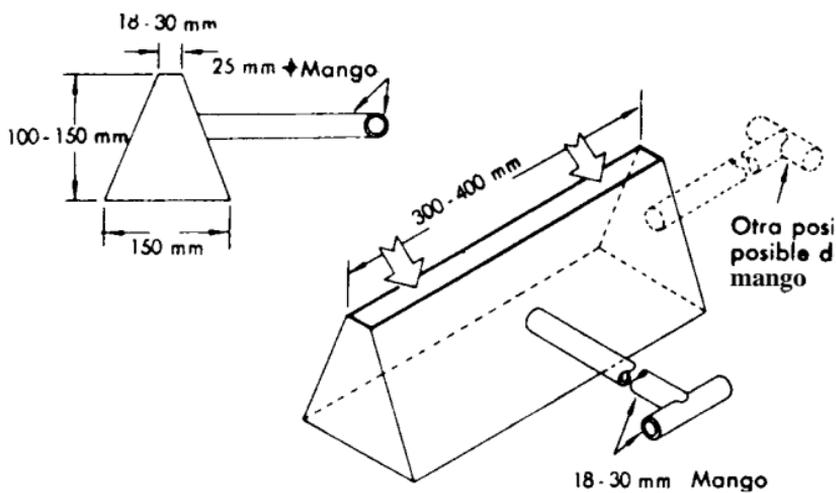
lugar para obtener muestras son las compuertas de las tolvas, durante la caída del material a la tolva de pesada. En las plantas continuas el mejor lugar para obtener muestras es en las compuertas del alimentador, al depositarse el material **en** la cinta transportadora que lo lleva al mezclador. Es esencial que los dispositivos para toma de muestras estén contruidos y situados de tal forma que las muestras obtenidas sean representativas del material contenido en las tolvas.

Al pasar el material por los tamices las partículas más finas caen en el lado más próximo de las tolvas, y las más gruesas en el opuesto. Cuando se extrae material abriendo la compuerta de fondo se obtiene una muestra compuesta principalmente de material fino en un borde y de material grueso en el otro. Este fenómeno es de la máxima importancia en la tolva número 1 o de material fino, ya que la necesidad de asfalto resulta modificada de forma importante por el material de esta tolva. Por ello, la posición del dispositivo de toma de muestras en la compuerta puede hacer que la muestra se componga solamente de materiales finos, o de materiales gruesos, o realmente representativa del material contenido en la tolva (fig. VIII-14).

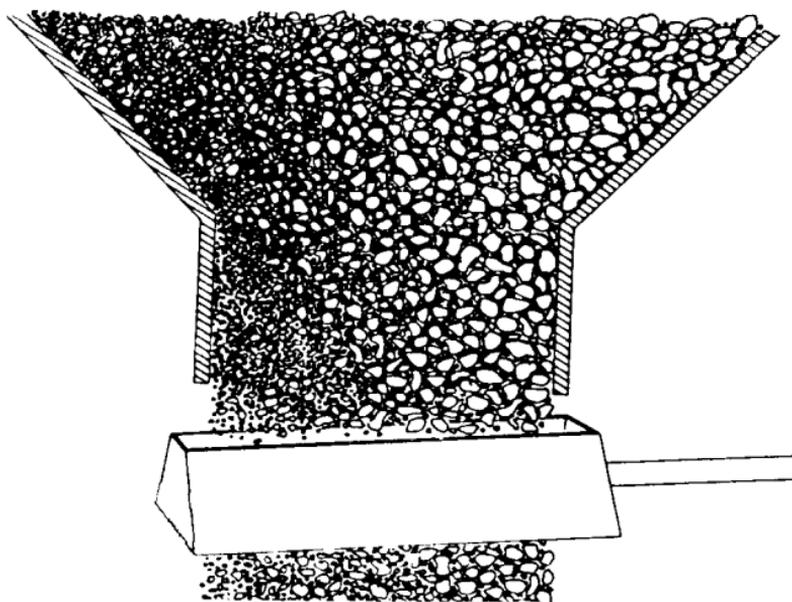
La estratificación de tamaños en la tolva de áridos finos puede deberse a variación de la granulometría en los acopios o a irregularidad en la alimentación de áridos fríos.

**8.56 MEDICION DE LOS TANQUES DE ASFALTO.** Se logra una comprobación de la cantidad de asfalto empleada durante el día mediante mediciones del contenido de los tanques de asfalto, por la mañana y por la noche, teniendo en cuenta el material recibido. A veces son deseables comprobaciones más frecuentes. Estas medidas se comparan con los pesos de las amasadas y las cantidades teóricas determinadas a partir de las hojas de movimiento para comprobar la exactitud con que se **ha** controlado la dosificación. Si existen diferencias importantes en estas cifras será necesaria una investigación del sistema de almacenaje y alimentación de asfalto para corregir cualquier irregularidad.

Al cubicar el contenido de los tanques o emplear



**Figura VIII-13. Dispositivo de toma de muestras.**



**Figura MII-14. Empleo correcto del tomamuestras.**

cualquier otra medida volumétrica del asfalto debe recordarse que, al pasar de volumen a peso debe tomarse la temperatura del asfalto en el momento de la medición o del empleo, corrigiendo el volumen a la temperatura normalizada.

**8.57 CALENTAMIENTO Y CIRCULACION DEL ASFALTO.** La instalación debe estar preparada para hacer circular el asfalto a través del sistema de alimentación y almacenaje. Todos los tanques de almacenaje, tuberías de conducción y bombas deben tener serpentines de calentamiento y/o revestimientos aislantes para mantener el asfalto a la temperatura necesaria. Las líneas de retorno que descargan en los tanques de almacenaje deben estar en todo momento sumergidas bajo el nivel del asfalto en el tanque para evitar la oxidación del asfalto. Para romper el vacío en las tuberías, cuando se invierte el funcionamiento de la bomba, deben practicarse en la línea de retorno, en el interior del tanque, dos o tres ranuras verticales sobre el máximo nivel posible del asfalto (véase la fig. VIII-16).

En el sistema de alimentación de asfalto deben situarse suficientes termómetros para asegurar el control de su temperatura. Debe situarse cerca del extremo de salida de la tubería de asfalto un instrumento inscriptor para comprobar su temperatura en el punto de empleo. El tanque de almacenaje de asfalto debe estar provisto también de un termómetro inscriptor adecuadamente situado que pueda cubrir un tiempo mínimo de 24 h. En el sistema de circulación debe existir una válvula que permita obtener muestras de asfalto. Si se mantiene la temperatura del asfalto haciendo circular aceite caliente, debe inspeccionarse frecuentemente el nivel de éste en el depósito de la unidad de calefacción. Si este nivel desciende, el inspector debe buscar un posible punto de fuga del aceite caliente a la masa de asfalto almacenado.

**8.58 TEMPERATURA DE LA MEZCLA.** El asfalto es un material termoplástico cuya viscosidad decrece al crecer la temperatura. La relación entre temperatura y viscosidad puede no ser la misma para materiales asfálticos de diferentes orígenes o diferentes tipos y grados.

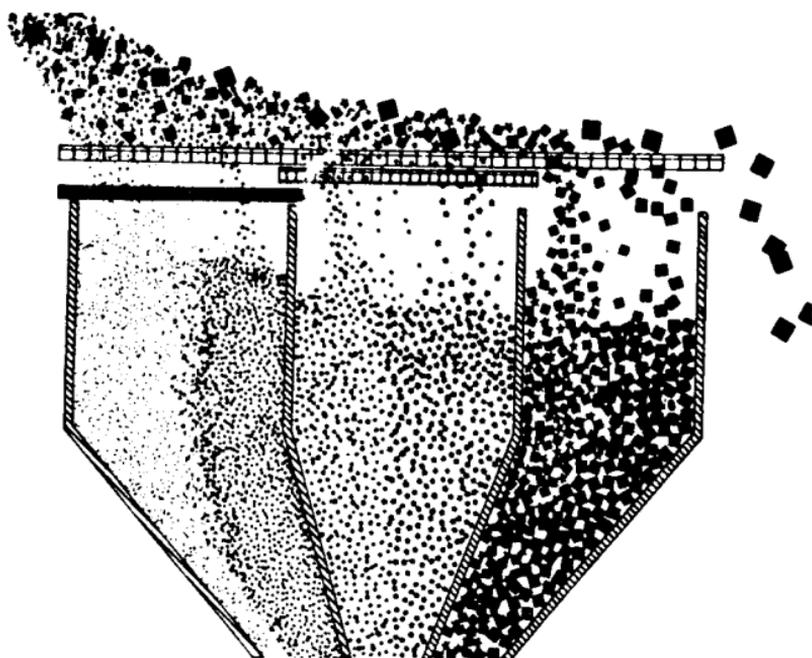


Figura VIII-15. Segregación del material en las tolvas de áridos calientes.

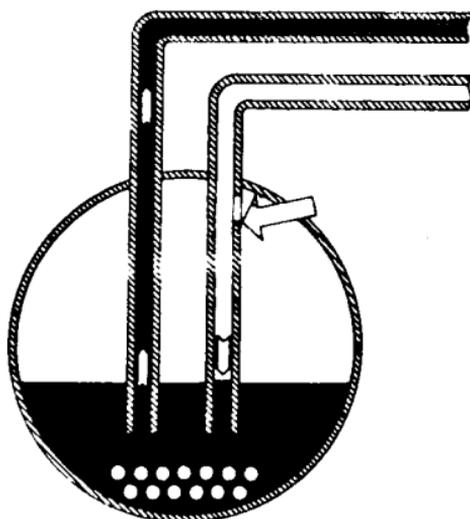


Figura VIII-16. Tubería de retorno del asfalto. La flecha grande indica la ranura vertical.

Normalmente se especifica una temperatura de mezclado, pero, como consecuencia de estas variaciones de viscosidad, el especificar solamente la temperatura no es conveniente para el adecuado empleo del asfalto. Por ello, el Instituto del Asfalto recomienda que se tenga en cuenta la relación viscosidad-temperatura del asfalto empleado para fijar una temperatura de mezclado a la que la viscosidad del asfalto sea la adecuada.

La viscosidad de aplicación más adecuada depende de factores como:

1. Tipo de aplicación (mezcla o riego).
2. Características y granulometría de los áridos.
3. Condiciones atmosféricas (aplicación por riego).

La temperatura más adecuada para la mezcla es aquella a la que la viscosidad del asfalto está comprendida dentro del margen **75-150 SSF**. Las viscosidades más altas de este margen son normalmente más adecuadas para mezclas con áridos gruesos, y las más bajas para mezclas con áridos finos.

Debe pedirse, en cada caso, al contratista o suministrador de asfalto que dé al ingeniero datos sobre la relación temperatura-viscosidad de cada asfalto a emplear en la obra. Estos datos deben cubrir el margen de temperaturas y viscosidades dentro de los que puede emplearse el asfalto. Tomándolos como base, el ingeniero puede especificar la temperatura a que debe emplearse el material.

En las aplicaciones por mezclado la temperatura especificada debe ser tal que la viscosidad del asfalto esté dentro del margen de **75-150 SSF**. Debe tenerse en cuenta que la temperatura de los áridos regula en proporción importante la temperatura de la mezcla. La diferencia de temperatura entre el asfalto y los áridos no debe ser superior a  $10^{\circ}\text{C}$ .

**8.59 MEDICION DEL FILLER MINERAL.** Cuando se añade a la mezcla filler mineral la cantidad empleada debe comprobarse frecuentemente. Si se recibe en sacos puede emplearse el siguiente método:

1. Después de cargar un camión hay que asegurarse de que la tolva de filler contiene la cantidad

- necesaria para la serie de cargas a comprobar
2. Al cargar los camiones de ensayo cuéntense los sacos de filler añadidos a la tolva. Recuérdese que la tolva de filler debe estar llena al final del ensayo.
  3. El número de sacos añadidos durante el ensayo multiplicado por el peso de filler contenido en cada uno, da el peso de filler en las cargas de ensayo.
  4. El peso de filler, dividido por el peso de áridos secos y filler, y multiplicado por 100, da el porcentaje de filler.

Esta comprobación del filler mineral debe realizarse a lo largo de un período de carga de varios camiones. Esto reducirá al mínimo cualquier error en la estimación del peso de un saco de filler parcialmente empleado y en la apreciación personal respecto al momento en que la tolva de filler está totalmente llena al principio y al final de una comprobación.

La tolva de filler debe vaciarse al final del trabajo de cada día, cubriéndola a continuación para mantenerla seca. La humedad puede dar lugar a la formación de grumos que impiden el adecuado flujo del material. El **flujo** de filler debe comprobarse también visualmente a intervalos frecuentes. La abertura de la compuerta es pequeña y las materias extrañas, especialmente trozos de los sacos de papel en los que se transporta el filler, pueden obstruir el paso y reducir de forma apreciable el volumen de filler añadido a la mezcla.

Las mismas comprobaciones pueden realizarse también con filler mineral almacenado a granel cuando puede determinarse exactamente su cantidad. Cuando el filler mineral *se* adquiere y almacena a granel es, generalmente, poco práctico medir la cantidad almacenada. La calibración de los sistemas de alimentación y pesado debe comprobarse con exactitud y frecuentemente.

## **Instalaciones discontinuas**

8.60 BALANZAS DE COMPROBACION. Antes de poner la instalación en marcha deben comprobarse las balanzas de la tolva de pesada y del recipiente

de asfalto con pesos normalizados. Generalmente, son suficientes diez pesos normalizados de 25 kg. La mayoría de las especificaciones exigen que el contratista proporcione al inspector de la instalación pesos normalizados adecuados.

En algunas regiones las balanzas son comprobadas periódicamente por un organismo oficial. **Esto** no excusa al inspector de la responsabilidad de confirmar la exactitud de las balanzas.

Una vez montada la instalación y las balanzas en condiciones de funcionamiento deben cargarse las tolvas al máximo de su capacidad. Después de esperar 24 h como mínimo para dar lugar al posible asentamiento de la instalación deben comprobarse las balanzas, como se indica a continuación:

Se comprobará que el sistema de palancas, las cuchillas y los rodamientos están limpios, y que ninguna parte móvii roza con otro elemento cualquiera. El indicador de la balanza se mantendrá en cero cuando no haya carga y se moverá libremente al tocarlo con el dedo. La comprobación de pesado se hace colgando una plataforma de la tolva o situando en ella directamente pesos de ensayo, continuando hasta la máxima carga que haya de pesarse en la tolva correspondiente. El procedimiento adecuado es el siguiente:

Se colocan en la tolva 250 kg de pesos de comprobación, que se centran lo más exactamente posible en la tolva, y se anota la lectura exacta del indicador. Se quitan los pesos de prueba y se añaden áridos hasta obtener en el indicador la misma lectura. Se repite este procedimiento hasta que se alcanza el peso total por amasada. Los diversos datos se anotan como se indica en la tabla de la página siguiente.

Durante el ensayo debe hacerse una comprobación de la sensibilidad de la balanza a cada incremento de carga de 250 kg. Se hace colocando un peso de ensayo de 2,5 kg sobre la plataforma de la balanza, que debe producir una inmediata reacción del indicador. Si no es así, será necesario reparar la balanza limpiando o, posiblemente, afilando las cuchillas hasta que sean sensibles al peso de 2,5 kg en todo el posible campo de empleo.

Si las balanzas no cumplen las especificaciones en cuanto a precisión o sensibilidad, no se permitirá el funcionamiento de la instalación hasta que se hayan hecho las correcciones o sustituciones necesarias. Las balanzas de dosificación deben probarse diariamente, comprobando si marcan cero cuando están descargadas, pesando una mezcla y añadiendo cuatro pesos patrón de 25 kg y comprobando que la lectura de la escala aumenta en 100 kg.

La balanza para dosificación de asfalto se calibra de forma muy similar, pero sólo es necesaria una operación de pesado. Los pesos de ensayo se sitúan sobre el recipiente para el asfalto o se unen a él, anotando las lecturas a medida que se añade peso, hasta que el peso total es ligeramente superior al necesario en cada amasada de la mezcla. **Su** sensibilidad debe comprobarse de la misma forma que en las balanzas para áridos, salvo **que** se empleara un peso de ensayo de 1 kg.

Adición número	Peso real de las pesas y áridos combinados, kilos	Lectura en el dial de la balanza. kilos	Error de escala	
			Kilos	Porcentaje
1	250	251	+ 1	+ 0,4
2	500	498,5	- 1,5	- 0,3
3	750	750,5	+ 0,5	+ 0,1
4	1.000	1.000	Ninguno	Ninguno
5	1.250	1.217,5	- 2,5	- 0,2
6	1.500	1.500	Ninguno	Ninguno

La tara del recipiente para asfalto vacío debe vigilarse cuidadosamente, de forma que se vacíe por completo, compensando debidamente el peso adicional del asfalto y polvo que puedan adherirse a él.

**8.61 MEDIDORES DE ASFALTO.** Cuando se emplean artificios medidores debe comprobarse también **su** precisión. Esto puede hacerse recogiendo el asfalto de la barra pulverizadora directamente en un recipiente de volumen conocido. La diferencia entre las lecturas del artificio medidor, antes y después de bombear el volumen conocido, debe coincidir con la

cantidad contenida en el recipiente. Otro método es bombear una cantidad dada de asfalto sobre un recipiente tarado que se pesa a continuación. La cantidad pesada en este recipiente debe coincidir con el volumen de asfalto correspondiente a la diferencia en lecturas del aparato medidor antes y después de bombear, convertida a peso de asfalto a 15 °C. La cantidad que se vierte en el recipiente debe ser suficiente para asegurar una comparación exacta y debe ser aproximadamente la cantidad en volumen o en peso empleada en cada amasada.

**8.62 ORDEN DE DESCARGA DE LAS TOLVAS.** A menos que la instalación esté preparada para descargar material de todas las tolvas simultáneamente, el vertido de áridos de las tolvas de material caliente a la de pesada debe comenzar por los áridos de mayor tamaño, disminuyendo progresivamente hasta el tamaño más fino, añadiendo el filler mineral en último lugar. Esto permite que los áridos vayan mezclándose a medida que caen en el mezclador. Aún más importante es que este procedimiento sitúa los áridos gruesos en el fondo del mezclador y asegura, del mejor modo posible, una mezcla perfecta, especialmente si el mezclador está desgastado y hay excesiva holgura entre las paletas y el interior de la cubeta.

El nivel del material en las tolvas en caliente debe ser siempre suficiente para su buen funcionamiento. Si una tolva está casi vacía existe el peligro de que el operador de la instalación supla la deficiencia empleando material de otra tolva, perdiendo por completo el control de la granulometría de la mezcla final. Este defecto se debe a una alimentación de áridos fríos defectuosa.

**8.63 DISTRIBUCION DEL ASFALTO.** El asfalto debe introducirse y distribuirse uniformemente en el mezclador en un período inferior a 15 s. No siendo así existe la posibilidad de que se produzca una mezcla no homogénea.

**8.64 FUNCIONAMIENTO DE LAS VALVULAS.** Las válvulas de paso de asfalto deben estar debidamente comprobadas. Deben cerrar perfectamente, de forma que no gotee asfalto una vez se ha vertido

en el recipiente de la báscula o se **ha** dejado salir de él la cantidad deseada. Si se sospecha que la distribución del asfalto es irregular deben tomarse muestras de ambos extremos y el centro de la cubeta del mezclador después de un ciclo normal de mezcla, comparando unas con otras, visualmente, bajo **una** luz fuerte.

**8.65 MEZCLADOR.** Todas las instalaciones modernas para mezclas asfálticas en caliente emplean **mezcladores** de paletas. Se componen de ejes gemelos con paletas que mezclan los ingredientes de cada amasada en forma homogénea. Sus partes principales son las cabezas y barras de las paletas, el encamisado, los ejes, la compuerta de descarga y la envuelta de calefacción. Para que el funcionamiento sea satisfactorio todos los elementos del mezclador deben encontrarse en estado mecánicamente satisfactorio y adecuadamente ajustados.

La holgura entre las cabezas de las paletas y el **enca-**misado interior depende del máximo tamaño de los áridos y normalmente será inferior a su mitad. Cuando el desgaste es excesivo la holgura se hace tan grande que pueden aparecer puntos muertos en los que el material no se mezcla perfectamente. La solución es sustituir el encamisado y las cabezas cuando es necesario.

Lo mismo puede ocurrir si se rompen dos paletas adyacentes.

Cuando esto sucede es indispensable la inmediata sustitución. Sin embargo, cuando se rompen paletas en puntos muy separados de los ejes pueden aplazarse las reparaciones hasta el final de la jornada de trabajo.

Si el mezclador está excesivamente lleno puede producirse una mezcla **no** homogénea. Se obtiene el mejor rendimiento cuando los extremos de las paletas apenas son visibles, durante el mezclado, sobre el material en el extremo superior de su recorrido. Por otra parte, si el mezclador está insuficientemente lleno tampoco se logrará un mezclado adecuado, porque no existirá material suficiente para que las paletas lo hagan circular de la forma deseada (figs. VIII-17 y VIII-18).

No se producirá un mezclado uniforme si los áridos y el asfalto no están uniformemente distribuidos en la

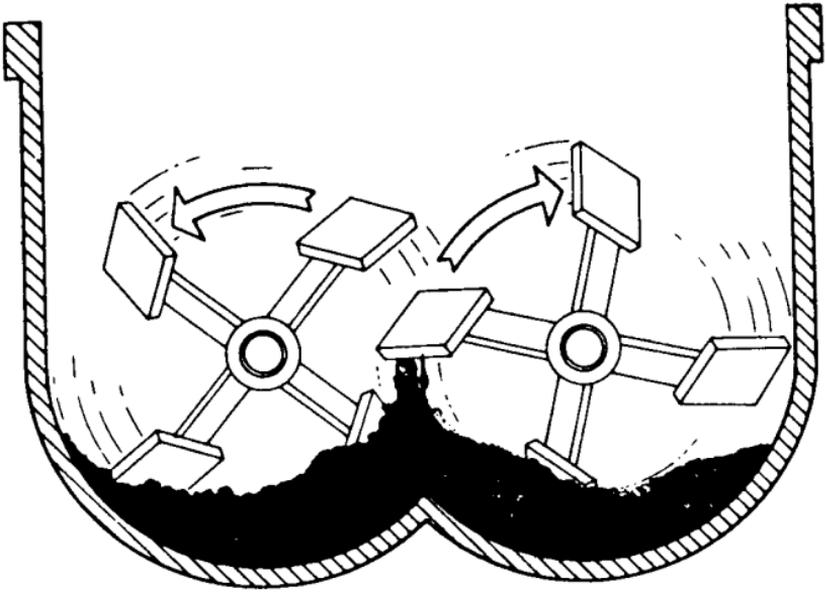


Figura VIII-17. Mezclador insuficientemente lleno.

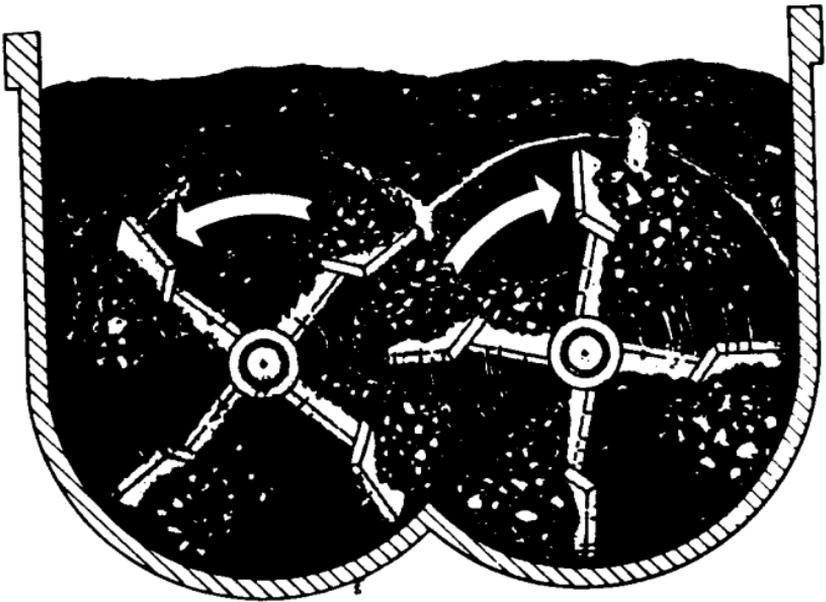


Figura VIII-18. Mezclador excesivamente lleno.

mezcla. La distribución de los finos depende del orden de descarga de las tolvas. El mal funcionamiento del sistema de distribución de asfalto dará lugar a una distribución irregular del mismo. Tanto uno como otro defecto se harán evidentes por inspección visual o mediante ensayos realizados sobre el producto terminado. En estos casos puede ser necesario un aumento del tiempo de mezclado en seco para conseguir una distribución uniforme de todos los tamaños en el mezclador.

**8.66 TIEMPO DE MEZCLADO.** La película de asfalto depositada sobre los áridos se endurece por efecto del calor y la exposición al aire. El tiempo de mezclado debe ser **el** más corto, compatible con una distribución uniforme de los tamaños de los áridos y un revestimiento uniforme de **sus** partículas con asfalto. La velocidad de los ejes del mezclador y la disposición **y** ángulo de las paletas son factores que influyen en el rendimiento del mezclador. La tendencia actual es disminuir el tiempo de mezclado, pero si se produce un mezclado no uniforme el inspector deberá, como primera medida, incrementar el tiempo de mezclado ligeramente.

**8.67 DISPOSITIVO DE MEDICION DEL TIEMPO.** La mayor parte de las especificaciones exigen se emplee un aparato medidor para asegurar que los materiales permanecen en el mezclador durante un tiempo suficientemente largo para producir una mezcla homogénea. Normalmente este dispositivo se pone en funcionamiento **al** abrirse la tolva de pesada.

Por otro lado, la mayor parte de las especificaciones exigen que el tiempo de mezclado se cuente a partir del momento en que todos los ingredientes están en el mezclador. **El** inspector deberá comprobar si el dispositivo empleado **indica** correctamente el tiempo de mezclado con arreglo a **las** especificaciones.

Cuando el asfalto se **aplica con** barra pulverizadora el tiempo de mezclado con asfalto empezará con la pulverización.

Además de este dispositivo, muchas especificaciones exigen que se instale un contador de amasadas que indique el número total de mezclas terminadas.

**8.68 FUGAS.** No deben producirse fugas a través

de la Compuerta de la tolva de pesada mientras se pesan las mezclas, ni por la del mezclador durante el mezclado. La válvula que regula el paso del asfalto al mezclador debe cerrar perfectamente para evitar que, durante el tiempo de mezclado, entre más asfalto en el mezclador.

## **Instalaciones mezcladoras continuas**

8.69 DOSIFICACION DE LOS ARIDOS. En las instalaciones de tipo continuo se introducen los áridos y el asfalto continuamente en el mezclador, y la mezcla terminada sale de la instalación también continuamente. Los dispositivos de alimentación de asfalto y áridos están conectados de tal forma que se obtienen automáticamente las proporciones correctas. Se considera como una amasada el material entregado al mezclador durante una vuelta del motor o en cualquier intervalo de tiempo elegido, y se calculan las proporciones de cada ingrediente exactamente como en una planta discontinua.

Las tolvas de material caliente están provistas de compuertas regulables calibradas. Sin embargo, cuando no se han previsto dispositivos para desviar los áridos a recipientes de pesada es necesario poner en marcha toda la instalación y hacer cargas de ensayo sobre camión de los áridos de cada tolva separadamente, para determinar el caudal correspondiente a cada abertura de compuerta. Durante este proceso de calibración deben tomarse las precauciones necesarias para asegurar una carga uniforme de áridos secos y calientes en la tolva que se intenta calibrar, determinando un caudal de descarga que represente con fidelidad las condiciones previstas durante el funcionamiento de la instalación. Además, si la instalación de cribado transmite vibraciones a las tolvas de material caliente, debe funcionar también durante el calibrado de la planta. Los ensayos deben realizarse para un numero de aberturas de compuerta suficiente para asegurar la precisión y amplitud del campo cubierto por la curva de calibración.

**8.70 DISTRIBUCION DEL ASFALTO.** Las instalaciones mezcladoras continuas están provistas de bombas proporcionométricas para el asfalto. Uno de los tipos empleados se regula cambiando los engranajes, enlazados mecánicamente a los alimentadores de áridos. Otro se regula mediante un volante de regulación a distancia situado en la plataforma del operador del mezclador. Cuando se emplea el primer tipo es necesario utilizar las tablas del fabricante como base para determinar las combinaciones de bomba y engranajes adecuadas para obtener la dosificación de asfalto deseada.

Debe ser posible fijar las compuertas del alimentador y la bomba de asfalto de tal forma que no pueda hacerse ningún cambio sin conocimiento del inspector.

Para mantener constante la proporción de asfalto debe conocerse en todo momento su temperatura al pasar por la bomba. El inspector debe hacer frecuentes lecturas en el termómetro instalado en la tubería de circulación junto a la bomba, de forma que pueda hacer las correcciones necesarias para compensar los cambios de volumen producidos en el asfalto por las variaciones de temperatura. Sin embargo, si estas variaciones son pequeñas, no es necesario regular la bomba de nuevo.

**8.71 MEZCLADOR DE PALETAS.** Generalmente, la función de un mezclador de paletas de tipo continuo es la misma que en una instalación de tipo discontinuo. Sin embargo, el principio de mezclado es distinto. En un mezclador de tipo discontinuo los materiales están encerrados en la cubeta de mezclado. En un mezclador continuo los materiales son impulsados hacia la salida. La presión de mezclado varía con la altura o peso del material contenido en el mezclador, que puede regularse mediante la compuerta de salida. La altura del material en el mezclador continuo no debe superar la de los extremos de las paletas, salvo para el último juego de éstas.

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

1. Elevar la compuerta en el extremo de salida del mezclador para mantener el material en el durante un período de tiempo más largo, con un espe-

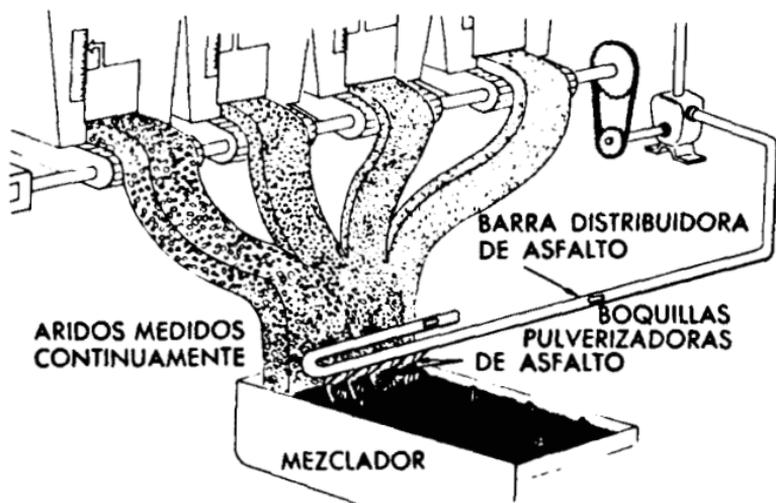


Figura VIII-19. Funcionamiento de la barra distribuidora.

que intensifique aún más la acción de mezclado.

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

**8.72 TIEMPO DE MEZCLADO.** Para calcular el tiempo de mezclado en un mezclador continuo se divide el peso (en kilos) de su contenido, con el nivel de material empleado durante la mezcla, por el peso (en kilos) del volumen de mezcla producido por segundo. Para calcular el peso del contenido del mezclador se hace funcionar la instalación hasta que el flujo de mezcla a través de ella sea constante. Se detiene la instalación y se hacen varias medidas para determinar el nivel de la mezcla en el mezclador. De estas medidas se deduce la altura media y el volumen de mezcla en metros cúbicos. El volumen, multiplicado por el peso de la mezcla en kilos por metro cúbico, es igual al peso del material contenido en el mezclador.

$$\text{Tiempo de mezclado en segundos} \sim \frac{\text{Capacidad del mezclador en kilos}}{\text{Producción en kilos/segundo}}$$

El volumen del mezclador para diferentes niveles de material se indica en la placa de características unida a la instalación. En estos casos se mide la altura media de la mezcla y se determina el volumen a partir de las tablas del fabricante.

**8.73 COMPROBACIONES DEL CONTENIDO DE ASFALTO.** Para comprobar el contenido de asfalto se compara el peso de una cantidad conocida de mezcla terminada, con la cantidad de asfalto empleada. Cuando se emplea un dispositivo medidor puede hacerse esto del siguiente modo:

Se detiene la operación de mezclado al final de una carga. Se anota la indicación del medidor de asfalto en este momento y se hacen a continuación diez cargas completas de mezcla. Al final de la décima carga se detiene de nuevo la operación de mezclado y se anota otra vez la lectura del medidor de asfalto. Los litros de asfalto empleados multiplicados por el peso de un litro darán el peso total. Esta cifra, dividida por el peso total de las diez cargas de mezcla y multiplicada por 100, dará el porcentaje de asfalto empleado en el ensayo realizado durante diez cargas. Este ensayo debe hacerse, usualmente, dos veces al día, y el resultado debe estar dentro de las tolerancias fijadas por las especificaciones del proyecto para el contenido de asfalto.

Cuando no se emplea dispositivo medidor puede medirse el asfalto en los tanques de almacenaje o mediante cálculos basados en el número de vueltas de la bomba de asfalto, anotado antes y después del mezclado de las diez cargas.

**8.74 TOMA DE MUESTRAS Y ENSAYO DE MATERIALES.** Para mantener un control adecuado del funcionamiento de toda la instalación, es necesario obtener numerosas muestras en puntos fijados del proceso de producción. La tabla VIII-7 puede ser útil como guía en proyectos en los que no se haya especificado la forma de tomar muestras y el número y tamaño de éstas. Al principio de la producción puede ser necesario aumentar el número de ensayos.

**8.75 TOMA DE MUESTRAS.** Deben tomarse las precauciones necesarias en la toma de muestras, cuarteo y ensayo de las probetas, para asegurar que se

**Tabla VIII-7—PROCEDIMIENTO SUGERIDO PARA TOMA DE MUESTRAS Y REALIZACION DE ENSAYOS**

Muestra de	(1) Frecuencia mínima	(2) Tamaiio mínimo	Ensayos a realizar	Norma
Aridos fríos	(1) La necesaria	Véase <b>AASHO T-2</b>	Análisis granulométrico. Equivalente de arena (cuando sea necesario)	AASHO T-11 AASHO T-27 AASHO T-84 AASHO T-85 Tamizado por vía húmeaa. California 217 B
Cada tolva en caliente	Dos diariamente	(3) Véase <b>AASHO T-2</b>	Análisis granulométrico. Equivalente de arena (cuando sea necesario)	AASHO T-11 AASHO T-27 California 217 B
<b>Aridos calientes combinados</b>	Dos diariamente	Véase AASHO T-2	(4) Análisis granulométrico	AASHO T-11 AASHO T-27
Filler mineral	(1) La necesaria	Véase AASHO T-2	Análisis granulométrico	AASHO T 37
Asfalto	Uno por cada cargamento (5)	1 litro	Enviar al laboratorio central	AASHO T-40
Mezcla sin compactar	Dos diariamente	10 kilos	(4) Extracción completa	AASHO T-168 AASHO T-164 AASHO T-30
Mezcla sin compactar	Dos diariamente	8 kilos	<b>Densidad Estabilidad</b>	AASHO T-166 y AASHO T-166 y las exigencias fijadas por el pliego de condiciones del proyecto
Mezcla compactada	Según exija el Inspector de colocación		Densidad	AASHO T-166

- (1) La frecuencia en la toma de muestras se regulará por las instrucciones de la Administración y por las condiciones inmediatas correspondientes a la obra en cuestión.
- (2) El tamaño de las muestras se regulará por las instrucciones de la Administración. En determinadas condiciones especiales el tamaño de la muestra puede variar.
- (3) En las instalaciones discontinuas las muestras de material de las tolvas en caliente deben tomarse del material que pasa por la compuerta de la tolva durante varias amasadas sucesivas. y en las instalaciones conllnuas deben tomarse en varias veces, separadas varios segundos.
- (4) En las instalaciones continuas los áridos Combinados de la muestra deben obtenerse del punto de descarga en el mezclador, en varias porciones tomadas con varios segundos de separación
- (5) Este procedimiento puede variarse de acuerdo con la práctica local.

obtienen resultados exactos sobre muestras realmente representativas. Se obtienen, en general, resultados óptimos empleando muestras grandes de áridos, cuarteadas cuidadosamente, hasta obtener muestras del tamaño deseado. La mejor forma de obtener muestras de asfalto es sacándolas de las tuberías a través de las que se bombea. Pueden obtenerse muestras satisfactorias con un tomamuestras adecuado'.

#### 8.76 ENSAYOS SOBRE LOS ARIDOS.

1. Análisis granulométrico de los áridos finos y gruesos, véase la especificación AASHO T27, modificada para su empleo por vía húmeda<sup>2</sup>.
2. Análisis granulométrico del filler mineral, véase la especificación AASHO T37.
3. Determinación de humedad por el método de reflujó de xileno (B28).
4. Equivalente de arena, véase el método AASHO T176.
5. Peso específico de los áridos, véanse los métodos AASHO T84 y T85.

#### 8.77 ENSAYOS SOBRE EL ASFALTO.

1. Penetración. Método AASHO T49.
2. Punto de inflamación. Método AASHO T48.
3. Pérdida por calentamiento. Método AASHO T47.
4. Ductilidad. Método AASHO T51.
5. Solubilidad. Método AASHO T44.
6. Viscosidad Saybolt-Furol. Método AASHO T72.
7. Destilación. Método AASHO T78.

8.78 ENSAYO DE LOS ASFALTOS PARA CONSTRUCCION DE CARRETERAS. Cuando se ensayan asfaltos procedentes de suministradores normalmente establecidos, es usualmente innecesario gastar tiempo y dinero en un gran número de ensayos ya que la producción normalmente no experimenta grandes variaciones una vez en marcha. El ensayo má

---

<sup>2</sup>Véase la norma ASTM D140 'Toma de muestras de materiales bituminosos'

Véase *Asphalt Plant Manual*, M. S. número 3, Instituto de Asfalto

facil de realizar es el de penetración, y cualquier variación importante en las otras propiedades es, generalmente, acusada por él.

El ensayo de ductilidad es usualmente innecesario, ya que la ductilidad de la mayor parte de los asfaltos empleados en carreteras es muy superior a la longitud del ductilómetro. El ensayo de penetración es de gran utilidad, empleado sobre el asfalto extraído, cuando existen motivos para sospechar sobrecalentamientos y, como consecuencia, un endurecimiento indebido.

8.79 TOMA DE MUESTRAS DE LA MEZCLA Y SU ENSAYO. Al llegar aquí es necesario un especial aviso de precaución. Una de las mayores fuentes de error en el ensayo de materiales es el fracaso en la obtención de muestras representativas.

Los métodos de ensayo deben seguirse estrictamente. Bajo la presión de la producción de una instalación de gran capacidad existe la tentación de emplear métodos abreviados. Debe resistirse esta tentación a toda costa, porque entre todos los ensayos de control existe una relación definida. Al juzgar los resultados de un ensayo se debe estar en condiciones de predecir con razonable precisión lo que debe esperarse de los siguientes y del pavimento terminado.

8.80 ENSAYOS DE EXTRACCION. Hay dos tipos de ensayos de extracción:

1. El centrífugo, cubierto por el método AASHO T164 (ASTM D1097).
2. Los métodos de reflujo.

El método AASHO T170 cubre un método de reflujo o extracción en caliente (designación ASTM 3762).

Otros varios organismos constructores de carreteras han desarrollado aparatos para procedimientos de extracción por reflujo. El método de reflujo es más confiable y exacto que el centrífugo.

8.81 ENSAYOS DE ESTABILIDAD. También deben ejecutarse sobre la mezcla ensayos de estabilidad por los métodos Marshall, Hubbard-Field o Hveem. Véase el folleto *Mix Design Methods for Hot Mix Asphalt Paving*, Asphalt Institute Manual Series núm. 2.

**8.82 COMPROBACION DEL CONTENIDO DE ASFALTO DE LA MEZCLA.** El contenido de asfalto de la mezcla, indicado por los ensayos de extracción, debe comprobarse por mediciones diarias del volumen de asfalto en los tanques de almacenaje, teniendo en cuenta el asfalto recibido durante el día. La cantidad de asfalto empleada, dividida por el peso total de mezcla indicado por la balanza de camiones o por la de la instalación, debe coincidir con bastante exactitud con los ensayos de extracción. Se obtiene otra comprobación comparando los pesos de los camiones con el producto del número de amasadas, leído en el contador instalado al efecto o en el cuentarrevoluciones, por el peso de cada amasada, tanto en áridos como en asfalto. Si se llevan con cuidado las anotaciones del asfalto empleado y los camiones o amasadas producidas, se obtendrá la más segura comprobación del contenido de asfalto de la mezcla.

**8.83 INSPECCION DE LA INSTALACION.** Las obligaciones del inspector de la instalación mezcladora se describen con detalle en el folleto *Asphalt Plant Manual*, Asphalt Institute Manual Series número 3. A continuación damos una lista de puntos que el inspector de la instalación debe cubrir:

1. Hacer una completa inspección preliminar de todas las unidades de la instalación.
2. Inspeccionar el almacenaje de áridos para ver si:
  - a) Los áridos se almacenan en un lugar donde pueden mantenerse limpios.
  - b) Existen muros u otros elementos de separación adecuados para evitar la mezcla de los distintos tamaños.
  - c) Se manejan los áridos de forma que se evite la segregación y degradación.
3. Inspeccionar la calibración y fijación de las compuertas del alimentador en frío.
4. Inspeccionar las instalaciones de secado, viendo que:
  - a) El flujo de materiales a través del secador es uniforme y no superior a su capacidad, con el tiro y suministro de calor adecuados.

- b) Se secan los áridos hasta el contenido de humedad exigido por las especificaciones.
  - c) Los aparatos indicadores de las temperaturas de los áridos están debidamente instalados y comprobados en cuanto a exactitud y sensibilidad.
  - d) El árido se calienta uniformemente hasta la temperatura necesaria.
5. Inspeccionar los tamices de material caliente asegurándose de:
- a) **Su** limpieza.
  - b) Que no están desgastados, y
  - c) **Sus** dimensiones.
6. Inspeccionar las tolvas de material caliente, viendo que:
- a) No existen agujeros en las paredes de las tolvas.
  - b) No hay nada que obstruya o impida el flujo de áridos.
  - c) Existen elementos para eliminar, en su caso, el exceso de áridos.
7. Comprobar las balanzas para pesado de los áridos y el asfalto:
- a) Con pesos normalizados.
  - b) Comprobando que dan lectura o cuando no hay carga.
  - c) Comprobando su libertad de movimiento y sensibilidad.
  - d) Los indicadores funcionan adecuadamente.
8. Inspeccionar el mezclado comprobando que:
- a) Los revestimientos y las paletas no se han desgastado por encima de la tolerancia recomendada por el fabricante.
  - b) Se introducen los áridos adecuadamente.
  - c) **Se** distribuye el asfalto sobre la mayor superficie posible del mezclador uniformemente.
  - d) El tiempo de mezclado es uniforme y de acuerdo con las especificaciones.
  - e) El mezclador se llena hasta la altura necesaria para obtener un rendimiento óptimo.

Aridos (%)	Grav. m. 1/2	Grav. m. 1/4	Grav. m. 1/8	Grav. m. 1/16	Grav. m. 1/32	Grav. m. 1/64	Grav. m. 1/128	Grav. m. 1/256	Grav. m. 1/512	Grav. m. 1/1024	Grav. m. 1/2048	Grav. m. 1/4096	Grav. m. 1/8192	Grav. m. 1/16384	Grav. m. 1/32768	Grav. m. 1/65536	Grav. m. 1/131072	Grav. m. 1/262144	Grav. m. 1/524288	Grav. m. 1/1048576	Grav. m. 1/2097152	Grav. m. 1/4194304	Grav. m. 1/8388608	Grav. m. 1/16777216	Grav. m. 1/33554432	Grav. m. 1/67108864	Grav. m. 1/134217728	Grav. m. 1/268435456	Grav. m. 1/536870912	Grav. m. 1/1073741824	Grav. m. 1/2147483648	Grav. m. 1/4294967296	Grav. m. 1/8589934592	Grav. m. 1/17179869184	Grav. m. 1/34359738368	Grav. m. 1/68719476736	Grav. m. 1/137438953472	Grav. m. 1/274877906944	Grav. m. 1/549755813888	Grav. m. 1/1099511627776	Grav. m. 1/2199023255552	Grav. m. 1/4398046511104	Grav. m. 1/8796093022208	Grav. m. 1/17592186044416	Grav. m. 1/35184372088832	Grav. m. 1/70368744177664	Grav. m. 1/140737488355328	Grav. m. 1/281474976710656	Grav. m. 1/562949953421312	Grav. m. 1/1125899906842624	Grav. m. 1/2251799813685248	Grav. m. 1/4503599627370496	Grav. m. 1/9007199254740992	Grav. m. 1/18014398509481984	Grav. m. 1/36028797018963968	Grav. m. 1/72057594037927936	Grav. m. 1/144115188075855872	Grav. m. 1/288230376151711744	Grav. m. 1/576460752303423488	Grav. m. 1/1152921504606846976	Grav. m. 1/2305843009213693952	Grav. m. 1/4611686018427387904	Grav. m. 1/9223372036854775808	Grav. m. 1/18446744073709551616	Grav. m. 1/36893488147419103232	Grav. m. 1/73786976294838206464	Grav. m. 1/147573952589676412928	Grav. m. 1/295147905179352825856	Grav. m. 1/590295810358705651712	Grav. m. 1/1180591620717411303424	Grav. m. 1/2361183241434822606848	Grav. m. 1/4722366482869645213696	Grav. m. 1/9444732965739290427392	Grav. m. 1/18889465931478580854784	Grav. m. 1/37778931862957161709568	Grav. m. 1/75557863725914323419136	Grav. m. 1/151115727451828646838272	Grav. m. 1/302231454903657293676544	Grav. m. 1/604462909807314587353088	Grav. m. 1/1208925819614629174706176	Grav. m. 1/2417851639229258349412352	Grav. m. 1/4835703278458516698824704	Grav. m. 1/9671406556917033397649408	Grav. m. 1/19342813113834066795298816	Grav. m. 1/38685626227668133590597632	Grav. m. 1/77371252455336267181195264	Grav. m. 1/154742504910672534362390528	Grav. m. 1/309485009821345068724781056	Grav. m. 1/618970019642690137449562112	Grav. m. 1/1237940039285380274899124224	Grav. m. 1/2475880078570760549798248448	Grav. m. 1/4951760157141521099596496896	Grav. m. 1/9903520314283042199192993792	Grav. m. 1/19807040628566084398385987584	Grav. m. 1/39614081257132168796771975168	Grav. m. 1/79228162514264337593543950336	Grav. m. 1/158456325028528675187087900672	Grav. m. 1/316912650057057350374175801344	Grav. m. 1/633825300114114700748351602688	Grav. m. 1/1267650600228229401496703205376	Grav. m. 1/2535301200456458802993406410752	Grav. m. 1/5070602400912917605986812821504	Grav. m. 1/10141204801825835211973625643008	Grav. m. 1/20282409603651670423947251286016	Grav. m. 1/40564819207303340847894502572032	Grav. m. 1/81129638414606681695789005144064	Grav. m. 1/162259276829213363391578010288128	Grav. m. 1/324518553658426726783156020576256	Grav. m. 1/649037107316853453566312041152512	Grav. m. 1/1298074214633706907132624082305024	Grav. m. 1/2596148429267413814265248164610048	Grav. m. 1/5192296858534827628530496329220096	Grav. m. 1/10384593717069655257060992658440192	Grav. m. 1/20769187434139310514121985316880384	Grav. m. 1/41538374868278621028243970633760768	Grav. m. 1/83076749736557242056487941267521536	Grav. m. 1/166153499473114484112975882535043072	Grav. m. 1/332306998946228968225951765070086144	Grav. m. 1/664613997892457936451903530140172288	Grav. m. 1/1329227995784915872903807060280344576	Grav. m. 1/2658455991569831745807614120560689152	Grav. m. 1/5316911983139663491615228241121378304	Grav. m. 1/10633823966279326983230456482242756608	Grav. m. 1/21267647932558653966460912964485513216	Grav. m. 1/42535295865117307932921825928971026432	Grav. m. 1/85070591730234615865843651857942052864	Grav. m. 1/170141183460469231731687303715884105728	Grav. m. 1/340282366920938463463374607431768211456	Grav. m. 1/680564733841876926926749214863536422912	Grav. m. 1/1361129467683753853853498429727072845824	Grav. m. 1/2722258935367507707706996859454145691648	Grav. m. 1/5444517870735015415413993718908291383296	Grav. m. 1/10889035741470030830827987437816582766592	Grav. m. 1/21778071482940061661655974875633165533184	Grav. m. 1/43556142965880123323311949751266331066368	Grav. m. 1/87112285931760246646623899502532662132736	Grav. m. 1/174224571863520493293247799005065244265472	Grav. m. 1/348449143727040986586495598010130488530944	Grav. m. 1/696898287454081973172991196020260977061888	Grav. m. 1/1393796574908163946345982392040521954123776	Grav. m. 1/2787593149816327892691964784081043908247552	Grav. m. 1/5575186299632655785383929568162087816495104	Grav. m. 1/11150372599265311570767859136324173632990208	Grav. m. 1/22300745198530623141535718272648347265980416	Grav. m. 1/44601490397061246283071436545296694531960832	Grav. m. 1/89202980794122492566142873090593389063921664	Grav. m. 1/178405961588244985132285746181186778127843328	Grav. m. 1/356811923176489970264571492362373556255686656	Grav. m. 1/713623846352979940529142984724747112511373312	Grav. m. 1/1427247692705959881058285969449494225022746624	Grav. m. 1/2854495385411919762116571938898988450045493248	Grav. m. 1/5708990770823839524233143877797976900090986496	Grav. m. 1/11417981541647679048466287755595953800181972992	Grav. m. 1/22835963083295358096932575511191907600363945984	Grav. m. 1/45671926166590716193865151022383815200727891968	Grav. m. 1/91343852333181432387730302044767630401455783936	Grav. m. 1/182687704666362864775460604089535260802911567872	Grav. m. 1/365375409332725729550921208179070521605823135744	Grav. m. 1/730750818665451459101842416358141043211646271488	Grav. m. 1/1461501637330902918203684832716282086423292542976	Grav. m. 1/2923003274661805836407369665432564172846585085952	Grav. m. 1/5846006549323611672814739330865128345693170171904	Grav. m. 1/11692013098647223345629478661730256691386340343808	Grav. m. 1/23384026197294446691258957323460513382772680687616	Grav. m. 1/46768052394588893382517914646921026765545361375232	Grav. m. 1/93536104789177786765035829293842053531090722750464	Grav. m. 1/187072209578355573530071658587684107062181445500928	Grav. m. 1/374144419156711147060143317175368214124362891001856	Grav. m. 1/748288838313422294120286634350736428248725782003712	Grav. m. 1/1496577676626844588240573268701472856497451564007424	Grav. m. 1/2993155353253689176481146537402945712994903128014848	Grav. m. 1/5986310706507378352962293074805891425989806256029696	Grav. m. 1/11972621413014756705924586149611782851979612512059392	Grav. m. 1/23945242826029513411849172299223565703959225024118784	Grav. m. 1/47890485652059026823698344598447131407918450048237568	Grav. m. 1/95780971304118053647396689196894262815836900096475136	Grav. m. 1/19156194260823610729479338399378852563167380019350272	Grav. m. 1/38312388521647221458958676798757705126334760038700544	Grav. m. 1/76624777043294442917917353597515410252669520077401088	Grav. m. 1/153249554086588885835834707195030820505339040154802176	Grav. m. 1/306499108173177771671669414390061641010678080309604352	Grav. m. 1/612998216346355543343338828780123282021356160619208704	Grav. m. 1/1225996432692711086686677657560246564042712321238417408	Grav. m. 1/2451992865385422173373355315120493128085424642476834816	Grav. m. 1/4903985730770844346746710630240986256170849284953669632	Grav. m. 1/9807971461541688693493421260481972512341698569907339264	Grav. m. 1/1961594292288337738698684252096394502468339713981478528	Grav. m. 1/3923188584576675477397368504192789004936679427962957056	Grav. m. 1/7846377169153350954794737008385578009873358855925914112	Grav. m. 1/15692754338306701909589474016771156019746717111851828224	Grav. m. 1/31385508676613403819178948033542312039493434223703656448	Grav. m. 1/62771017353226807638357896067084624078986868447407312896	Grav. m. 1/125542034706453615276715792134169248157973736894814625792	Grav. m. 1/251084069412907230553431584268338496315947473789629251584	Grav. m. 1/502168138825814461106863168536676992631894947579258503168	Grav. m. 1/1004336277651628922213726337073353985263789895158517116336	Grav. m. 1/2008672555303257844427452674146707970527579790317034232672	Grav. m. 1/4017345110606515688854905348293415941055159580634068465344	Grav. m. 1/8034690221213031377709810696586831882110319161268136930688	Grav. m. 1/16069380442426062755419621393173663764220638322536273873776	Grav. m. 1/32138760884852125510839242786347327528441276645072547747552	Grav. m. 1/64277521769704251021678485572694655056882553290145095495104	Grav. m. 1/128555043539408502043356971145389310113765106580290090900208	Grav. m. 1/257110087078817004086713942290778620227530213160580181800416	Grav. m. 1/514220174157634008173427884581557240455060426321160363600832	Grav. m. 1/1028440348315268016346855769163114480910120852642320727201664	Grav. m. 1/205688069663053603269371153832622896182024170528464145443328	Grav. m. 1/411376139326107206538742307665245792364048341056928290886656	Grav. m. 1/822752278652214413077484615330491584728096682113856581733312	Grav. m. 1/1645504577304428826154969230660983169456193364227713163466624	Grav. m. 1/3291009154608857652309938461321966338912386728455426326933248	Grav. m. 1/658201830921771530461987692264393267782477345691085265386656	Grav. m. 1/1316403661843543060923975384528786535564954691382170531773312	Grav. m. 1/2632807323687086121847950769057573071129909382764341063546624	Grav. m. 1/5265614647374172243695901538115146142259818765528682127093248	Grav. m. 1/10531229294748344487391803076230292284519637531057364254186496	Grav. m. 1/21062458589496688974783606152460584569039275062114728508372992	Grav. m. 1/42124917178993377949567212304921169138078550124229457016745984	Grav. m. 1/84249834357986755899134424609842338276157100248458914033491968	Grav. m. 1/168499668715973511798268849219684676552314200496917828066983936	Grav. m. 1/336999337431947023596537698439369353104628400993835656133967872	Grav. m. 1/673998674863894047193075396878738706209256801987671312267935744	Grav. m. 1/134799734972778809438615079375747741241851360397534262453587168	Grav. m. 1/269599469945557618877230158751495482483702720795068525107174336	Grav. m. 1/539198939891115237754460317502990964967405441590137050214348672	Grav. m. 1/1078397879782230475508920635005981929934810883180274100428697344	Grav. m. 1/215679575956446095101784127001196385986962176636054820085739488	Grav. m. 1/431359151912892190203568254002392771973924353272109640171478976	Grav. m. 1/862718303825784380407136508004785543947848706544219280342957952	Grav. m. 1/1725436607651568760814273016009571087895697413088438560685915904	Grav. m. 1/3450873215303137521628546032019142175791394826176877121371831808	Grav. m. 1/690174643060627504325709206403828435158278965235375424274366368	Grav. m. 1/1380349286121255008651418412807656870316557900470750848548732736	Grav. m. 1/2760698572242510017302836825615313740633115800941501691097465472	Grav. m. 1/5521397144485020034605673651230627481266231601883003382194930944	Grav. m. 1/1104279428897004007321134730246125496253246200376600676438985888	Grav. m. 1/2208558857794008014642269460492250992506492400753201352877971776	Grav. m. 1/4417117715588016029284538920984501985012984801506402705755943552	Grav. m. 1/883423543117603205856907784196900397002596960301280541151187104	Grav. m. 1/1766847086235206411713815568393800794005193920602561083022374208	Grav. m. 1/3533694172470412823427631136787601588010387841205122166044748416	Grav. m. 1/7067388344940825646855262273575203176020775682410244332089496832	Grav. m. 1/14134776689881651293710524547150406352041551364820488664178993
------------	--------------	--------------	--------------	---------------	---------------	---------------	----------------	----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	------------------	------------------	------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------	----------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------	--	--	--	---	---	---	---	--	--	--	---	---	---	--	--	--	---	---	---	---	--	--	--	---	---	---	--	--	--	--	---	---	---	--	--	--	---	---	---	---	--	--	--	---	---	---	--	--	--	--	---	---	---	--	--	--	---	---	---	---	--	--	--	---	---	---	--	--	--	--	---	---	---	--	--	--	---	---	---	---	--	--	--	---	---	---	--	--	--	--	--	--	--	---	---	---	--	--	--	--	--	--	--	---	---	---	--	--	--	---	---	---	---	--	--	--	---	---	---	--	---	---	---	--	--	---	--	--	--	---	---	---	---	--	--	--	--	--	--	---	--	--	--	---	---	--	---	---	---	---	---	---	--	---	---	---	---

- f) La temperatura de mezclado **es** la necesaria para que la viscosidad del asfalto permita una completa envuelta de los áridos<sup>1</sup>, y
- g) El mezclado es completo y uniforme.
9. Observar de cerca tantas amasadas como sea posible, tomando sus temperaturas.
  10. Tomar muestras y hacer sobre la mezcla los ensayos necesarios.
  11. Usualmente, el pesado de la mezcla determinando las cantidades a pagar y la emisión de los *tickets* de carga en la plataforma del mezclador, o en una balanza para camiones, están bajo la supervisión del inspector de la instalación.
  12. Usualmente, el inspector de la instalación hace ensayos de densidad sobre probetas tomadas del firme por el inspector de pavimentación, viendo si la compactación cumple lo especificado.
  13. El inspector debe llevar nota completa de los materiales recibidos, ensayos sobre los materiales y las mezclas, comprobaciones del contenido de la mezcla, diarios de trabajo de la instalación, notas e informes. Véase el folleto *Asphalt Plant Manual*, Asphalt Institute Manual Series, número 3.

8.84 POSIBLES CAUSAS DE IMPERFECCIONES EN LA MEZCLA PRODUCIDA. La tabla VIII-8 indica las causas más comunes de imperfecciones en las mezclas asfálticas de este tipo.

### ***C) Transporte, extensión y compactación de las mezclas asfálticas***

8.85 TRANSPORTE DE LA MEZCLA. La mezcla debe llegar a su punto de empleo en condiciones esencialmente idénticas a las que tenía al salir del mezclador.

Deben inspeccionarse **los** camiones, viendo si existen

---

<sup>1</sup> Véase el artículo 4.10.

fugas o irregularidades profundas que puedan dar lugar a adherencia del material, y comprobando **que** la caja no contiene ningún material que pueda ser perjudicial para la mezcla.

Para evitar que el material se pegue a las cajas de los camiones se emplean muchos métodos, entre los que figuran el lavar la caja con soluciones de agua de cal o de jabón. Cualquiera de estos elementos puede ser perjudicial para la mezcla si se emplea en exceso. En cualquier caso, la caja del camión debe llenarse de tal forma que el material en exceso se elimine antes de cargar la mezcla.

Las cajas de los vehículos de transporte deben estar cubiertas y aisladas, si es necesario, para mantener la pérdida de calor dentro de las exigencias de las especificaciones.

**8.86 PREPARACION DE LA SUPERFICIE PARA LA EXTENSION DE LA MEZCLA.** Las mezclas obtenidas en la instalación pueden aplicarse sobre cualquier base estable. Cuando la mezcla se extiende sobre superficies no tratadas, la base debe imprimarse con todo el material que pueda absorber. Normalmente en la imprimación se aplican de 0,800 a 2,00 l m<sup>2</sup>. Cuando se aplica la mezcla sobre una superficie pavimentada debe aplicarse previamente un riego de adherencia que cierre pequeñas grietas de la superficie antigua y sirva de enlace entre ésta y la nueva. En los riegos de adherencia se aplican normalmente de 0,200 a 0,600 l m. Para obtener una capa de adherencia uniforme y con dosificación muy baja pueden emplearse emulsiones asfálticas de tipo **SS-1** o **SS-1h**, diluidas con agua.

**Precaución.** Los principales defectos a evitar en las capas de imprimación y adherencia son:

1. Dejar la capa de imprimación descubierta durante tiempo suficiente para permitir que se cubra de polvo, dando lugar a un **enlace** defectuoso entre la base y el **pavimento**.
2. Una **dosificación** irregular de la imprimación que dé lugar a mala unión en algunos puntos y exceso de asfalto en otros. (Esto se debe más bien que a

irregularidad de la aplicación del asfalto a la de la textura de la superficie, y puede evitarse evitando la segregación del material de base.)

### **Extensión de la mezcla**

8.87 GENERALIDADES. Las mezclas asfálticas se extienden usualmente con motoniveladora o terminadora. Se recomienda la motoniveladora para extender capas de nivelación de mezclas en caliente o en frío. La terminadora mecánica, llamada también usualmente pavimentadora, se emplea también tanto para mezclas en frío como en caliente. Las mezclas en frío deben extenderse y apisonarse en varias capas. El espesor de cada una de ellas no debe pasar de 1,5 veces el tamaño máximo de los áridos, para asegurar una ventilación adecuada antes del apisonado. Con la excepción de las granulometrías con tamaños máximos por debajo de 12 mm, y dependiendo del máximo tamaño de los áridos, las mezclas en caliente pueden extenderse en capas hasta de 7,5 ó 10 cm de espesor. En las capas de superficie puede obtenerse una textura superficial muy uniforme arrastrando tras la terminadora una rastra de escobas de fibra de acero.

8.88 EXTENSION CON MOTONIVELADORAS. La mezcla se coloca sobre el camino en un caballón debidamente proporcionado mediante un formador de caballones u otro sistema de medida aprobado, de forma que se disponga de la cantidad adecuada de mezcla. El material debe extenderse en el espesor y con los perfiles longitudinal y transversal adecuados, y con una textura superficial uniforme, antes de que se enfríe excesivamente. Se emplean mucho mandos automáticos **que** mantienen la hoja en una posición fija, independientemente de los movimientos verticales de la ruedas de la motoniveladora, sustituyendo la habilidad del conductor. Estos medios son muy eficaces para asegurar una sección transversal adecuada. La uniformidad longitudinal se mejora mediante un indicador situado en la hoja y que sigue un cordel o alambre tendido con la inclinación adecuada. Deben tomarse precauciones para no preparar en caballones una can-

tividad de mezcla excesiva por delante de la operación de extensión, teniendo en cuenta la trabajabilidad de la mezcla, las condiciones atmosféricas y el tiempo necesario para la extensión. Usualmente, el apisonado con compactadores de neumáticos acompaña o sigue muy de cerca a la extensión con motoniveladora.

### **8.89 EXTENSION CON PAVIMENTADORAS.**

Las pavimentadoras extienden y compactan parcialmente la mezcla hasta obtener una superficie uniforme. Todas las pavimentadoras constan esencialmente de tolva, cintas transportadoras, tornillos distribuidores y maestra. Existen dos tipos principales de pavimentadoras modernas en uso que compactan parcialmente la mezcla: 1) Con barras apisonadoras. 2) Con maestras vibratorias. Los fabricantes de pavimentadoras pueden dar instrucciones detalladas sobre el ajuste y funcionamiento de su maquinaria. El buen funcionamiento de una pavimentadora exige lo siguiente:

1. La pavimentadora debe funcionar tan continuamente como sea posible. Cuando la pavimentadora se detiene durante un tiempo considerable, la mezcla se enfría y la excesiva viscosidad del asfalto impide una extensión y compactación adecuadas, dando lugar a irregularidades en la superficie terminada y a puntos con densidad insuficiente. Por ello, debe regularse la velocidad de la pavimentadora de acuerdo con la capacidad de la instalación mezcladora y de los elementos de transporte, de forma que funcione continuamente.
2. En la tolva debe mantenerse material suficiente para suministrar a los tornillos extendedores mezcla suficiente para cubrir al menos dos tercios de su profundidad hasta sus extremos. La cantidad de material transportada por los tornillos debe fluctuar lo menos posible. Las compuertas de la tolva deben fijarse de tal forma que las cintas transportadoras y los tornillos funcionen el 85 % del tiempo o más.
3. La velocidad de avance de la terminadora debe regularse según el tipo y espesor de mezcla que se está extendiendo (véase también el párrafo 1).

4. La maestra debe calentarse **al** empezar el trabajo cuando se empleen mezclas frías o en cualquier otro momento en que sea necesario.
5. Normalmente pueden obtenerse juntas satisfactorias en frío, pero siempre es deseable obtener juntas en caliente cuando el volumen de trabajo justifica el empleo de dos terminadoras.
6. Los puntos esenciales para la obtención de buenas juntas son los siguientes:
  - a) Las juntas en dos capas sucesivas no deben superponerse, sino desplazarse al menos 15 cm.
  - b) Las juntas deben ser rectas. Es imposible obtener una buena junta si la pavimentadora avanza en zigzag a un lado y otro de la línea deseada.
  - c) En la primera capa extendida debe mantenerse una cara tan aproximadamente vertical como sea posible.
  - d) Las juntas deben mantenerse limpias y libres de material suelto.
  - e) El solape debe mantenerse uniforme. El solape deseable depende del tipo de mezcla y del espesor de la capa, siendo necesario en general un solape de 5 cm para tener material que permita la compactación obteniendo una buena **junta**, densa e impermeable.
  - f) Cuando se extiende material junto a una superficie previamente compactada debe obtenerse un espesor suficiente para la compactación. El exceso de altura de la capa sin compactar sobre la compactada varía con el tipo de mezcla, el espesor de las capas y el esfuerzo de compactación aplicado por la máquina pavimentadora. Como reglas aproximadas pueden emplearse las siguientes: 1) Extender 1,25 veces el espesor deseado; 2) extender 22 kg de mezcla por centímetro de espesor deseado y por metro cuadrado.
  - g) Deben apisonarse las juntas tan pronto como sea posible, aplicando la mayor parte del peso de la apisonadora sobre una franja estrecha

(usualmente de 7,5 a 15 cm) del rodillo. Para conseguirlo se hace funcionar la apisonadora sobre la franja terminada con solamente 7,5 a 15 cm de una rueda, apoyándose en la nueva franja.

- h) El apisonado debe empezar en la junta. Una vez se ha compactado perfectamente la junta y una anchura de unos 30 cm aproximadamente a partir de ella, se empieza a apisonar por el otro lado hasta apisonar toda la franja.
- i) Si las caras laterales de una junta se dejan expuestas al aire durante tiempo suficiente para secarse o cubrirse de polvo, deben tratarse previamente a la continuación del trabajo con una capa de adherencia.

**8.90 COMPROBACION DEL ESPESOR DE LA CAPA.** Es difícil medir exactamente el espesor de una capa. El mejor sistema para asegurarse de que se está logrando el espesor necesario, es calcular el espesor a partir del peso colocado y el peso específico aparente de una probeta de la mezcla compactada. El peso de mezcla por metro cuadrado y por centímetro de espesor compactado puede determinarse por la fórmula siguiente:

Peso (**W**) por metro cuadrado por centímetro de espesor compactado en kilos:

$$W = 10 G_a$$

donde  $G_a$  es el peso específico aparente de la mezcla

Después se compara este peso calculado con el obtenido realmente en la balanza como total del material empleado.

### **Compactación de la mezcla**

**8.91 NUMERO DE APISONADORAS NECESARIO.** Siempre serán necesarias, como mínimo,

---

Véase *Asphalt Paving Manual*, M. S. número 8, Instituto del Asfalto.

dos apisonadoras. Se emplearán tantas apisonadoras adicionales como sean necesarias para obtener la densidad especificada. Para el estudio de los diversos tipos de apisonadoras véanse los artículos 7.20 a 7.25.

8.92 PROCEDIMIENTO DE COMPACTACION. Durante la compactación las ruedas de las apisonadoras deben mantenerse húmedas justamente con la cantidad de agua necesaria para evitar que se adhieran al material. Las apisonadoras deben moverse a una velocidad lenta, pero uniforme, con la rueda o ruedas motoras del lado de la terminadora. La velocidad no debe ser superior a 5 km/h en las apisonadoras de llanta metálica u 8 km/h en las apisonadoras de neumáticos. Las apisonadoras deben estar en buen estado y ser capaces de invertir el sentido de su marcha sin sacudidas. La dirección de apisonado no debe cambiarse repentinamente, **ni** invertir la dirección de avance, ya que con ello se produciría un desplazamiento de la mezcla. Cualquier cambio importante en la dirección de la apisonadora debe hacerse sobre material estable. Si el apisonado causa desplazamiento del material las áreas afectadas deben disgregarse en seguida con palas o rastrillos, devolviéndolas a su nivel original mediante la adición de material suelto antes de volverlas a apisonar. No debe permitirse que la maquinaria pesada o las apisonadoras se detengan en la superficie terminada hasta que ésta se haya enfriado o curado.

Cuando se pavimenta una sola franja ésta debe apisonarse de la siguiente forma:

1. Juntas transversales.
2. Borde exterior.
3. Apisonado inicial empezando en el lado exterior y avanzando hacia el más elevado.
4. Segundo apisonado. El mismo procedimiento que en 3.
5. Apisonado final.

Cuando se emplean dos terminadoras o se está pavimentando contra una franja terminada anteriormente el apisonado de la junta longitudinal debe seguir al de la junta transversal.

Cuando se emplean dos pavimentadoras deben de-

jarse sin apisonar de 5 a 8 cm del borde sobre el que está superponiendo material la segunda pavimentadora, apisonándolo cuando se haya terminado la junta entre las dos franjas. Los bordes no deben dejarse expuestos a los elementos más de 15 min antes del apisonado. Debe prestarse especial atención a las juntas transversales y longitudinales, tanto en capas intermedias como de superficie.

**8.93 JUNTAS TRANSVERSALES.** Tanto en intermedias como de superficie deben terminarse cuidadosamente las juntas transversales, compactándolas perfectamente para obtener en ellas una superficie de rodadura suave. Las juntas deben comprobarse con regla o cordel para asegurar su regularidad y alineación. En la junta debe emplearse un exceso de material, apisonándola con la apisonadora, descansando sobre la superficie previamente terminada y apoyando unos 15 cm de una rueda sobre la mezcla recién extendida. Véase también los apartados 1 y 2 del párrafo siguiente.

**8.94 JUNTAS LONGITUDINALES.** Las juntas longitudinales deben apisonarse inmediatamente después de la extensión del material. La primera franja extendida debe tener el perfil longitudinal y transversal necesarios y tener su borde cortado verticalmente. El material colocado en la capa extendida contra ella debe amontonarse a continuación contra la cara vertical de la franja extendida previamente de la manera siguiente:

1. Se empuja el material en exceso sobre la nueva franja en la parte adyacente de la junta en una anchura de 8 a 15 cm.
2. Se hace avanzar la apisonadora sobre la franja, previamente compactada, de forma que unos 8 a 15 cm de una rueda se apoyen sobre la nueva franja. Se hacen una o varias pasadas hasta compactar perfectamente esta estrecha franja adyacente a la junta, con su material en exceso (obtenido solapando la nueva franja sobre la antigua), hasta lograr una superficie uniforme de unión con la franja antigua.

**8.95 BORDES.** Los bordes del pavimento deben

hacia el centro del pavimento, salvo en las curvas con peralte, en las que el apisonado debe empezar en el lado inferior avanzando hacia el superior, solapando cada dos pasadas sucesivas de la apisonadora al menos en la mitad de la anchura de los rodillos de tipo tándem y solapando con cada huella anterior, o cubriendo toda la superficie con las ruedas traseras cuando se emplean apisonadoras de tipo triciclo. Cuando se apisona el borde del pavimento el rodillo debe sobresalir de 5 a 10 cm por fuera de él.

**8.96 APISONADO INICIAL.** El apisonado inicial debe seguir inmediatamente al de las juntas longitudinales y bordes. Las apisonadoras deben trabajar lo más cerca posible de la terminadora para obtener la densidad adecuada sin causar un desplazamiento inde-

deben trabajar directamente detrás de la terminadora seguidas por las de tipo tándem.

**8.97 SEGUNDO APISONADO.** Para el segundo apisonado se consideran preferibles las apisonadoras de neumáticos, que deben seguir al apisonado inicial tan de cerca como sea posible y mientras la mezcla está aún a una temperatura que permita alcanzar la máxima densidad. El apisonado con neumáticos debe ser continuo, desde el apisonado inicial hasta que toda la mezcla colocada se haya compactado por completo. No deben permitirse sobre la mezcla en compactación maniobras de las apisonadoras de neumáticos que puedan causar desplazamientos indebidos. Véanse las tablas VIII-2 y VIII-3 para orientaciones sobre las mínimas presiones de los neumáticos recomendadas. Respecto al resultado obtenido con apisonadoras de neumáticos, véase la figura VIII-4.

8.98 APISONADO FINAL. El apisonado final debe realizarse con apisonadoras tándem, de dos ruedas o tres, mientras que el material es aun suficientemente trabajable para permitir suprimir las huellas con los rodillos. Algunos ingenieros prefieren el empleo de apisonadoras de neumáticos para obtener el acabado superficial del firme.

Puede ser deseable aprovechar la acción de amasado de las apisonadoras de neumáticos sobre la superficie del pavimento una vez se ha terminado el apisonado. Normalmente, la acción de amasado producida por el tráfico une las partículas superficiales, dando lugar a un sellado por el tráfico)). En el caso de que un pavimento recién terminado no vaya a soportar sino un tráfico muy pequeño o nulo durante un considerable período de tiempo, o si el pavimento se termina en tiempo frío, este «sellado por el tráfico») puede conseguirse con la apisonadora de neumáticos. En este caso es deseable emplear las presiones de contacto del compactador indicadas en la tabla VIII-2 o en la VIII-3.

8.99. APISONADO POSTERIOR. La compactación con apisonadoras de neumáticos que hemos descrito produce el máximo resultado inmediatamente después de la construcción. Sin embargo, 15 ó 20 vibraciones con el compactador, una vez que el pavimento ha sido calentado por el sol, pueden ayudar mucho a obtener la textura superficial deseada incluso más tarde.

8.100 TERMINACION DE LA SUPERFICIE. Para obtener una superficie de terminado suave debe tomarse precauciones en la construcción de cada una de las capas de la estructura del pavimento asfáltico. Las irregularidades que puedan aparecer durante el apisonado inicial, o inmediatamente después, debe remediarse removiendo la mezcla y quitando o añadiendo material, según sea necesario. El rodillo tándem con rodillo central vibratorio es muy eficaz en la eliminación de las zonas elevadas si se emplea antes de que la mezcla esté demasiado fría.

8.101 CORRECCION DE LAS IRREGULARIDADES SUPERFICIALES. Si después de la compactación siguen existiendo irregularidades o defecto

en cualquier capa de la estructura, deben eliminarse sustituyéndolos con nuevo material hasta obtener una superficie de textura uniforme con las secciones longitudinales y transversal deseadas.

**8.102 CORRECCION POR PESO ESPECIFICO DE LOS ARIDOS.** Cuando el peso específico de los áridos gruesos o finos es inferior a 2,55 o superior a 2,75, puede emplearse la siguiente fórmula para corregir a peso específico de 2,65:

$$T = T_w \frac{\% AC + \frac{\% FA \times 2,65}{Sp. Gr. FA} + \frac{\% CA \times 2,65}{Sp. Gr. CA} + \% MF}{100}$$

Donde:

- T = Peso de los áridos con un peso específico de 2,65.
- T<sub>w</sub> = Peso real obtenido.
- % AC = Porcentaje de betún asfáltico.
- % FA = Porcentaje de áridos finos.
- % CA = Porcentaje de áridos gruesos.
- Sp. Gr. FA = Peso específico de los áridos finos.
- Sp. Gr. CA = Peso específico de los áridos gruesos.
- % MF = Porcentaje de filler.

**8.103 POSIBLES CAUSAS DE IMPERFECCIONES EN LOS PAVIMENTOS DE AGLOMERADO.** La tabla VIII-9 indica las causas más comunes de imperfecciones en las mezclas asfálticas en caliente.

### ***D) Macadam asfáltico***

**8.104 GENERALIDADES.** El macadam asfáltico se compone de áridos de tamaño grueso e intermedio y asfalto. Puede prepararse en instalación mezcladora central o bien pueden combinarse el asfalto y los áridos por:

1. Mezcla *in situ* o sobre el camino.
2. Pulverización del asfalto sobre los áridos gruesos, cubriéndolo después con áridos de tamaño intermedio.

El último procedimiento se llama construcción de macadam asfáltico por penetración.

**8.105 MACADAM ASFALTICO POR PENETRACION.** El macadam asfáltico por penetración se emplea como capa de superficie en carreteras de tráfico medio a pesado, pero como superficie para tráfico pesado y muy pesado ha sido sustituido en gran proporción por el hormigón asfáltico. Se emplea mucho como capa de base para todo tipo de tráfico en las carreteras del tipo más elevado. **Su** alta estabilidad, derivada de la unión mecánica de las partículas de áridos relativamente gruesos y del grueso revestimiento de asfalto, lo convierten en un tipo de construcción recomendable cuando se dispone en condiciones económicamente aceptables de áridos machacados de los tamaños adecuados.

El macadam asfáltico puede construirse con un mínimo de maquinaria. **Sólo** se necesitan elementos de transporte, una extendedora de piedra, un distribuidor de asfalto y maquinaria de compactación. En realidad, el asfalto puede aplicarse a mano, y también puede emplearse piedra machacada a mano, por lo que este tipo de pavimento **es** útil frecuentemente cuando abunda **la** mano de obra, como ocurre en los países subdesarrollados.

Algunas de las limitaciones **en** el empleo del macadam asfáltico por penetración se derivan de ciertas peculiaridades de **este** tipo de construcción. **Al** obtener los **dos** o más tamaños de áridos, usualmente necesarios en la construcción de macadam asfáltico por penetración, puede ser necesario desperdiciar parte del producto machacado. Los tamaños separados deben extenderse y penetrarse en capas separadas. El espesor de cada capa no debe ser apreciablemente mayor que el máximo tamaño de los áridos empleados. Frecuentemente **es** difícil, teniendo en cuenta el gran tamaño de los áridos, obtener un terminado suficientemente suave de cada capa. Si se emplea macadam asfáltico por penetración sobre un base algo plástica, existe el peligro de infiltración de la base, que puede evitarse mediante una capa filtro de material fino, como desperdicios de machaqueo o arena, de 7,5 a 10 cm de espesor. Comparándolo con las mezclas asfálticas obtenidas en instalación fija, en macadam asfáltico **es** difícil controlar



Figura VIII-20. La estupenda carretera interestatal número 95 en Maine Has. Base de macadam asfáltico por penetración.



la humedad de los áridos, y éstos no se envuelven tan completa y uniformemente.

**8.106 MACADAM POR PENETRACION EMPLEANDO BETUN ASFALTICO.** Los principales pasos en la construcción de tipo macadam empleando betún asfáltico son los siguientes:

1. Preparar la capa inmediatamente inferior. Esta preparación puede consistir en la imprimación de una base no asfáltica, el sellado de una capa de base mezclada *in situ* o la colocación de una capa aislante de detritus de piedra machacada o arena angulosa, usualmente de un espesor de 8 a 10 cm, para evitar la intrusión de material plástico del terreno de cimentación.
2. Extensión de la primera capa de áridos gruesos, del tamaño y en las cantidades indicadas en la tabla VIII-10, en el espesor deseado.
3. Fijar la primera capa, usualmente apisonándola con apisonadora de llanta metálica o con compactadores vibratorios. Debe tenerse cuidado de no apisonar o vibrar con tal exceso que los áridos gruesos se redondeen.



**Figura VIII-21.** Construcción de una base de macadam asfáltico en la autopista de peaje de Nueva Jersey.

**Tabla VIII-10 – TAMAÑO Y CANTIDAD DE ARIDOS, Y CANTIDAD DE ASFALTO, NECESARIOS PARA LA CONSTRUCCION DE MACADAM POR PENETRACION EMPLEANDO BETUNES ASFALTICOS O ASFALTOS FLUIDIFICADOS PESADOS**

Espesor de la capa	8-10 cm		6,5-7,5 cm		5-6,5 cm		4-5 cm	
Aridor según la norma simplificada número (1)	SP 2	SP 67	SP 2	SP 67	SP 3	SP 67	SP 4	SP 78
Apilcación	1.º	2.º	1.º	2.º	1.º	2.º	1.º	2.º
Kilos de áridos por m³ (2)	180-217	18-27	136-163	14-22	109-136	11-19	81-109	8-14
Cantidad de asfalto (3) L/m³	7,9-10,0		5,6-7,9		4,5-6,8		3,35-5,4	
Tamaño del tamiz	% que pasa							
3	100		100		100		100	
2½	90-100		90-100		95-100		100	
2	35-70		35-70		35-70		90-100	
1½	0-15		0-15		0-15		20-55	
1		100		100	0-15	100	0-15	100
¾	0-5	80-100	0-5	90-100	0-5	90-100	0-15	90-100
½					0-5		0-5	40-75
¼		20-55		20-55		20-55	0-5	5-25
No. 4		0-10		0-10		0-10		0-10
No. 8		0-5		0-5		0-5		0-5
No. 16								0-5

• Cuando se emplean asfaltos líquidos o emulsiones, véase el artículo 7.107.

4. Primera aplicación de asfalto a la temperatura adecuada (art. 4.10), del tipo y en la cantidad indicados en la tabla VIII-10, teniendo en cuenta el espesor de la capa.
5. Cubrir el asfalto inmediatamente con la segunda aplicación de áridos y apisonar perfectamente con una apisonadora pesada.
6. En los casos en que el macadam por penetración ha de servir como capa de superficie, se emplean aplicaciones adicionales de asfalto y áridos de **cubrición**.
7. Cuando se emplea el macadam por penetración como capa de base debe aplicarse un riego de adherencia antes de extender el hormigón asfáltico.

### NOTAS SOBRE EL EMPLEO DE LA TABLA VIII-10

1. Las granulometrías indicadas en la tabla VIII-10 son las de tipo simplificado más adecuadas para este tipo de construcción. Sin embargo, es deseable acercarse, tanto como sea posible, a unos áridos de tamaño uniforme con elementos aproximadamente del mismo diámetro que el espesor de la capa.
2. Los pesos de los áridos indicados en la tabla están basados en un peso específico de **2,65**. Cuando se emplean áridos con peso específico inferior a **2,55** o superior a **2,75**, la dosificación debe corregirse de modo adecuado, por ejemplo, multiplicando el peso indicado en la tabla por

Peso específico de los áridos empleados

---

**2,65**

3. Cantidad de asfalto.
  - a) Cuando se emplea el macadam por penetración como capa de base bajo 10 o más centímetros **de** hormigón asfáltico, generalmente son suficientes **las** cantidades mínimas de asfalto indicadas, empleando un riego de sellado

o de adherencia inmediatamente antes de extender el hormigón asfáltico.

- b) Cuando se emplea el macadam por penetración como parte de una capa de superficie, las cantidades de asfalto deben ser las máximas indicadas, terminando el trabajo con un tratamiento superficial simple o doble empleando el tipo y cantidad de asfaltos y áridos indicados en la tabla **VIII-12** para cualquier capa siguiente, salvo que:
- c) En la segunda aplicación de asfalto de la capa de base de macadam por penetración construida según la tabla **VIII-10**, esto es, la primera aplicación de asfalto de la tabla **VIII-12**, debe incrementarse la dosificación sobre la indicada en la tabla **VIII-12**, al menos en un 50 %, para penetrar adecuadamente la segunda aplicación de piedra indicada en la tabla **VIII-10**.

**8.107 MACADAM POR PENETRACION EMPLEANDO EMULSION ASFALTICA O ASFALTOS FLUIDIFICADOS LIGEROS.** El procedimiento de construcción de macadam por penetración empleando emulsión asfáltica o asfaltos fluidificados ligeros es distinto del descrito en el artículo **7.106**. Como consecuencia de la inferior viscosidad de estos aglomerantes, se emplean áridos de granulometría más uniforme, y el asfalto se extiende en dos aplicaciones aproximadamente iguales, de la manera siguiente:

1. Se prepara la capa inferior y se extiende y fija, por apisonado, la primera capa de áridos.
2. Se hace la primera aplicación de asfalto con la dosificación indicada en la tabla **VIII-11**.
3. Se extiende la segunda capa de áridos con la dosificación indicada en la tabla **VIII-11**, y se apisona.
4. Se hace la segunda aplicación de asfalto, según se indica en la tabla **VIII-11**, y se apisona; debe tenerse gran cuidado de que los rodillos de la apisonadora estén húmedos, para evitar la adherencia de la piedra. También puede ser necesario

extender de 2,5 a 5 kg de áridos del número 78/m<sup>2</sup>, para evitar el levantamiento de la piedra.

5. Cuando se emplea este macadam por penetración como capa de base bajo hormigón asfáltico, son generalmente suficientes las cantidades inferiores de asfalto, sin que sea necesario cubrirlo con áridos **ni** sellarlo en modo alguno.
6. Si la capa debe ser utilizada **por** el tráfico durante algún tiempo como capa de rodadura, puede **h**acerse una ligera aplicación de 5 a 10 kg/m<sup>2</sup> de áridos de granulometría número 78 (media pulgada a núm. 8) sobre la segunda aplicación de asfalto. Antes de aplicar la capa de superficie deben barrerse estos áridos perfectamente, aplicando a continuación una capa de adherencia.
7. Cuando la capa de macadam **h**a de formar parte de una capa de superficie la cantidad de asfalto debe ser la máxima indicada, seguida por un tratamiento superficial, empleando el tipo y cantidad de asfalto y áridos indicados en la tabla VIII-12.
8. Cuando se emplea el macadam por penetración como base para un hormigón asfáltico, no son necesarias más aplicaciones si se extiende el hormigón asfáltico inmediatamente.

#### NOTAS SOBRE EL EMPLEO DE LA TABLA VIII-11

1. El peso de áridos se basa en un peso específico de 2,65. Si se emplean áridos de diferente peso específico debe corregirse la cantidad, como se indica **en** la nota (2), tabla VIII-10.
2. La segunda aplicación de áridos para todos los espesores debe ser de unos 15 kg de áridos del número 78 (véase la tabla VIII-10).
3. Cuando se emplea el macadam como capa de base bajo hormigón asfáltico, generalmente son suficientes las cantidades mínimas de asfalto, sin que sea necesario sellado **ni** cubrición de áridos pos-

<b>Kilos de áridos por m³</b>	<b>Primera aplicación</b>	<b>195</b>	<b>171</b>	<b>146</b>	<b>123</b>	<b>98</b>	<b>73</b>
	<b>Segunda aplicación</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>
<b>Cantidad de asfalto (L/m³)</b>	<b>Primera aplicación</b>	<b>6,8-8,1</b>	<b>4,5-6,8</b>	<b>4,5-5,4</b>	<b>4,1-5,0</b>	<b>3,2-4,1</b>	<b>2,7-3,6</b>
	<b>Segunda aplicación<sup>a</sup></b>	<b>5,4-6,8</b>	<b>5,4-6,8</b>	<b>5,4-6,8</b>	<b>3,2-4,5</b>	<b>3,6-4,5</b>	<b>1,8-2,4</b>
<b>Cantidad total de asfalto, L/m³ (2)</b>		<b>12,2-14,9</b>	<b>9,9-13,6</b>	<b>9,9-12,2</b>	<b>7,3-9,5</b>	<b>6,8-8,6</b>	<b>4,5-6,0</b>
<b>Tamiz 3</b>		<b>100</b>	<b>Granulometría de los áridos</b>				
<b>2½</b>		<b>75-95</b>	<b>100</b>				
<b>2</b>		<b>60-80</b>	<b>70-90</b>	<b>100</b>			
<b>1½</b>		<b>40-65</b>	<b>50-70</b>	<b>65-85</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	
<b>1</b>		<b>20-40</b>	<b>25-45</b>	<b>35-55</b>	<b>55-75</b>	<b>55-75</b>	<b>100</b>
<b>¾</b>		<b>10-30</b>	<b>15-35</b>	<b>15-35</b>	<b>35-55</b>	<b>33-53</b>	<b>60-80</b>
<b>½</b>		<b>0-15</b>	<b>0-15</b>	<b>0-15</b>	<b>10-30</b>	<b>10-30</b>	<b>20-40</b>
<b>⅓</b>					<b>0-15</b>	<b>0-15</b>	
<b>4</b>		<b>0-5</b>	<b>0-5</b>	<b>0-5</b>			<b>0-10</b>
<b>0</b>					<b>0-5</b>	<b>0-5</b>	
<b>..</b>							

terior. Sin embargo, si la capa así construida ha de ser empleada como capa de rodadura durante algún tiempo, debe extenderse sobre la segunda aplicación de asfalto una pequeña cantidad, de 5 a 8 kg m<sup>2</sup>, de áridos del tamaño número 78. Antes de que se aplique la capa de superficie debe barrerse esta gravilla perfectamente, aplicando a continuación un riego de adherencia.

Cuando las capas construidas según las dosificaciones de la tabla VIII-11 han de formar parte de una capa de superficie para tráfico ligero o medio, la cantidad de asfalto empleada debe ser casi el máximo indicado, terminando la construcción con un tratamiento superficial, empleando el tipo y cantidad de asfalto y áridos indicados en la tabla VIII-12.

### **E) Construcción por mezcla «*in situ*»**

**8.108 GENERALIDADES.** La mezcla *in situ*, llamada también mezcla sobre el camino<sup>1</sup>, puede emplearse para capas de superficie, de base o de subbase. Como capa de superficie, da pavimentos adecuados normalmente para tráfico ligero y medio. Si se emplea en base o subbase, da capas adecuadas para cualquier tipo de tráfico. El riego de sellado puede ser necesario o no.

La principal ventaja de la mezcla *in situ* es que se emplean áridos que ya se encuentran en la caja del camino o que pueden obtenerse de yacimientos vecinos. Cuando se emplean estos materiales los áridos y el asfalto pueden mezclarse *in situ* a muy bajo costo con un mínimo de maquinaria. Sin embargo, antes de decidir el empleo de la construcción por mezcla *in situ* debe considerarse la posibilidad de emplear el mezcla-

---

<sup>1</sup> Véanse las siguientes especificaciones del Instituto del Asfalto: RM-1: *Mixed-in-Place Asphalt Surface Course (Macadam aggregate type)*; RM-2: *Mixed-in-Place Asphalt Surface Course (Dense graded aggregate type)*; RM-3: *Sand Asphalt Mix-in-Place Course on natural sand sub-grade.*

do en instalación central, ya que con él se obtiene un mejor control de los materiales, frecuentemente sin incremento del costo. A continuación indicamos algunas características de la construcción por mezcla *in situ*:

1. Control aceptable del contenido de humedad y volátiles, por ventilación mediante la maquinaria de mezclado *in situ*.
2. Revestimiento uniforme y distribución aceptable del asfalto en todas las superficies de los áridos.
3. Cuando el mezclado sobre el camino se hace sobre el terreno natural, a menos que se empleen operarios extremadamente hábiles, a veces se producen dificultades en el control de la profundidad de las hojas de las motoniveladoras. La tendencia puede ser arrancar terreno del fondo diluyendo la mezcla o, inversamente, abandonar parte del material que debiera mezclarse, dando lugar a una capa demasiado delgada con un exceso de asfalto. Cuando puede disponerse de un pavimento antiguo o una superficie no empleada, frecuentemente se utilizan como plataforma de mezclado, amontonando la mezcla sobre ella en forma de caballón, transportándola finalmente al lugar de empleo. Este procedimiento ~~se~~ emplea muy frecuentemente en conservación, ~~y~~ a veces se emplea ~~fa~~ plataforma de mezclado tambicii como zona de **acopio**.
4. Cuando ~~se controla~~ adecuadamente, el procedimiento de mezcla *in situ* ~~o~~ sobre el camino, es económico por ~~el~~ alto rendimiento posible comparado con el costo de la maquinaria y su funcionamiento. Presenta especiales ventajas en zonas muy alejadas, en grandes tramos de carreteras, en zonas desérticas o agrícolas y en otros lugares donde el problema consiste en conseguir rápidamente una gran extensión de caminos de calidad aceptable. En las zonas urbanas y de tráfico muy pesado debe emplearse el procedimiento de mezcla en instalación mezcladora. En los últimos años el progreso conseguido en la fabricación de insta-

laciones mezcladoras portátiles ha incrementado el empleo de las mezclas en instalación fija a costa del de mezclas *in situ*.

Las consideraciones 3 y 4 son especialmente aplicables al mezclado con motoniveladoras y gradas de discos; las mezcladoras ambulantes constituyen una categoría intermedia, tanto en cuanto a economía como en cuanto a calidad del producto final, entre la motoniveladora o grada de discos y las instalaciones mezcladoras centrales.

## Aridos

8.109 GENERALIDADES. Con los procedimientos de mezcla *in situ* pueden utilizarse satisfactoriamente una gran variedad de áridos y combinaciones suelo-áridos. En la construcción de capas de superficie son necesarios, en general, áridos de mejor calidad que para capas de base y subbase. En la construcción de capas de superficie son satisfactorios normalmente materiales que cumplan las especificaciones establecidas en cuanto a granulometría por el Instituto del Asfalto, en las especificaciones RM-1 y RM-2. Los materiales arenosos indicados en la especificación RM-3, del Instituto del Asfalto, son adecuados para la construcción de capas de base. Los áridos adecuados para su empleo en macadam asfáltico pueden emplearse también para mezcla *in situ*.

8.110 ARIDOS MACHACADOS. En muchos lugares puede conseguirse piedra machacada, escoria machacada, grava y arena adecuados para su empleo en mezclas *in situ*. En otras ocasiones puede ser económico machacar piedra procedente de excavaciones o de canteras próximas. Se obtienen excelentes materiales para bases construidas por mezcla *in situ* por simple machaqueo aprovechando todos los materiales, que pueden contener de 0 a 5 % de productos que pasen por el tamiz número 200, y con un tamaño máximo hasta de 5 cm o dos tercios del espesor de la capa. La maquinaria moderna para mezclado *in situ* ha tendido en los últimos años a disminuir en precio, de forma que

este procedimiento puede competir con el macadar asfáltico por penetración. Generalmente, puede emplearse en la estructura del pavimento asfáltico todo el producto de machaqueo por debajo del máximo tamaño especificado, logrando la máxima economía.

8.111 MATERIALES LOCALES APROVECHABLES. En muchas regiones resulta más económico el empleo de la arena y grava naturales que el de los áridos machacados. Los materiales adecuados<sup>1</sup> están comprendidos entre los suelos granulares con hasta el 25 %, pasando por el tamiz número 200, límite líquido inferior a 30 e índice de plasticidad hasta de 6, y las arenas y gravas limpias. En algunos áridos puede emplearse límites más elevados cuando la experiencia indica que son aceptables. En muchas obras puede obtenerse mediante selección cuidadosa materiales adecuados para capas de mezcla *in situ*, mediante excavaciones o préstamos en lugares vecinos. En otras puede existir materiales adecuados en la propia expropiación del camino o en sus proximidades, siendo estos materiales aprovechables en su estado natural o mezclándolos diferentes capas o zonas de los yacimientos, o mezclándolos con otros materiales en el yacimiento o sobre el camino. Los materiales de buena granulometría son siempre deseables en cualquier capa de la estructura del pavimento asfáltico, pero muchos áridos de mal granulometría o con granulometría escalonada son adecuados para la construcción de capas de base por mezcla *in situ*.

No deben rechazarse sin ensayos completos áridos de los que pueda disponerse en condiciones económicamente aceptables. La determinación de la estabilidad de las mezclas *in situ* puede hacerse por los diversos ensayos actualmente utilizados por los organismos constructores de carreteras<sup>2</sup>, y como se indica en el folleto del Instituto del Asfalto, *Mix Design Method for Hot Mix Asphalt Paving*, Manual Series número 2 véase también *Specifications and Construction Methods*

---

<sup>1</sup> Véase el boletín técnico número 200 (1953) de la American Road Builders Association.

<sup>2</sup> Véanse las especificaciones AASHO.

for *Hot Mix Asphalt Paving*, Specifications Series numero 1, del Asphalt Institute.

## Asfalto

**8.112 TIPOS Y GRADOS.** Los tipos y grados de aglomerantes asfálticos a emplear en la construcción de carreteras por mezcla *in situ* están determinados por las características de los áridos, tipo de maquinaria a emplear en el mezclado y condiciones climatológicas. En las especificaciones **RM-1**, **RM-2** y **RM-3** del Instituto del Asfalto se dan detalles específicos sobre la selección del aglomerante. Generalmente, los tipos y grados empleados son los siguientes:

1. Aridos de granulometría abierta:
  - a) Asfaltos fluidificados de curado rápido y medio (**RC** o **MC-3** ó **4**).
  - b) Emulsiones de rotura media.
2. Aridos de granulometría densa con contenido pequeño o nulo de áridos finos y polvo mineral:
  - a) Asfaltos fluidificados de curado rápido y medio (**RC-2** ó **3**, **MC-3** ó **4**).
  - b) Asfaltos líquidos de curado lento' de grados intermedios (**SC-3** ó **4**).
  - c) Emulsiones de rotura lenta.
3. Aridos con un porcentaje considerable de áridos finos y polvo mineral:
  - a) Asfaltos fluidificados de curado medio (**MC-2**, **3** ó **4**).
  - b) Asfaltos líquidos de curado lento' (**SC-2** ó **3**).
  - c) Emulsiones de rotura lenta.
  - d) Emulsiones inversas.

**8.113 EMULSIONES.** Frecuentemente, cuando los áridos están húmedos se prefiere el empleo de emulsiones y emulsiones inversas. Los áridos muy secos, con un contenido de finos considerable, deben ser humedecidos con agua antes de aplicar las emulsiones.

**8.114 CANTIDAD DE ASFALTO.** La cantidad de asfalto a emplear en las mezclas *in situ* puede determinarse por uno o varios de los siguientes métodos:

---

<sup>1</sup> Empleado fundamentalmente en regiones áridas.

1. *Mix Design Methods for Hot Mix Asphalt Paving*, Manual Series número 2 del Instituto del Asfalto.
2. Cuando no se dispone del material de laboratorio necesario para los métodos citados en la publicación anterior, puede emplearse la fórmula del artículo 5.63.
3. Una regla práctica de aproximación muy grosera es emplear 2 l de asfalto líquido por metro cuadrado por cada 2,5 cm de espesor compactado.

### **Construcción por mezcla *in situ***

8.115 TIPOS DE MAQUINARIA. En el artículo 7.13 se describen los diversos tipos de maquinaria para mezcla *in situ*.

8.116 PREPARACION DEL TERRENO. Antes de comenzar las operaciones de mezcla *in situ* la base sobre la que ha de situarse el material mezclado debe tener la forma adecuada y estar perfectamente compactada, aplicándose a continuación una capa de imprimación que debe dejarse curar. Cuando el material de imprimación no penetra completamente en la base debe absorberse el exceso de asfalto con un material granular adecuado.

8.117 MEZCLA EN INSTALACION MOVIL. Una ventaja del mezclado en instalación móvil es que puede lograrse un control más estrecho de las operaciones de mezclado. Las proporciones de asfalto y áridos, así como la uniformidad con que los dos pueden mezclarse, son de la mayor importancia. Para lograr un producto uniforme es necesario que se tomen varias precauciones:

1. Debe prepararse en primer lugar un caballón de tamaño uniforme de material preparado.
2. Debe comprobarse cuidadosamente la uniformidad de la granulometría del material contenido en el caballón.
3. Debe determinarse la cantidad de asfalto a mezclar con los áridos.
4. La máquina mezcladora debe estar en condiciones de empleo satisfactorias.

Al realizar este tipo de trabajo la máquina mezcladora se mueve sobre el caballón, añadiendo el asfalto a medida que avanza. Si el caballón es tan grande que no puede mezclarse todo el asfalto en una sola pasada, debe dividirse en dos, añadiendo el asfalto a cada uno de los dos resultantes en una sola pasada. Usualmente, después de la adición del asfalto, es necesario un mezclado posterior del material acopiado en el caballón. Este mezclado adicional con motoniveladoras deberá hacerse, en la mayor parte de los casos, para tener la seguridad de que todo el material amontonado en el caballón se suma a la mezcla, lograr un mezclado adicional de los áridos y el asfalto y ventilar la mezcla eliminando humedad y productos volátiles. El número de pasadas de la motoniveladora necesario para lograr estas finalidades varía según las condiciones de la obra. Sin embargo, en general, será necesario un mínimo de cinco o seis pasadas. Una vez terminado el mezclado debe trasladarse el caballón a un lado del camino como preparación para su extensión.

Otro tipo de instalación ambulante mezcla el asfalto con los áridos depositados directamente por los camiones de transporte en las tolvas de la instalación, que extiende la mezcla terminada en una sola pasada de la máquina. Debe extremarse el cuidado para asegurarse de que se han evaporado suficientes volátiles de la mezcla extendida antes de proceder a la compactación. El apisonado inicial debe hacerse con apisonadoras de neumáticos, terminándolo con apisonadoras de llanta metálica.

#### 8.118 MEZCLA CON MOTONIVELADORA.

En la construcción por mezcla *in situ* utilizando para el mezclado una motoniveladora, es de la mayor importancia la uniformidad de la cantidad de áridos y de su granulometría. El material debe prepararse mediante una caja extendedora o un formador de caballones antes de añadir el asfalto. Debe determinarse el asfalto que requieren los áridos del caballón y calcular la cantidad necesaria por metro lineal de caballón.

El aglomerante asfáltico puede aplicarse mediante extensiones sucesivas de un camión distribuidor sobre el caballón aplanado. Es necesario aplicar la cantidad

total de asfalto necesario antes de terminar las operaciones de mezclado. Se obtienen resultados óptimos aplicando el asfalto en varias pasadas y envolviéndolo con los áridos inmediatamente después del paso del camión distribuidor.

Debe tenerse en cuenta que existe la posibilidad de que se produzcan variaciones en la granulometría de los áridos en el caballón y, por consiguiente, en las necesidades de asfalto. Mientras el mezclado progresa debe prestarse estrecha atención a la uniformidad de la apariencia de la mezcla del caballón. El mezclado del material debe hacerse con tantas pasadas de motoniveladora como sean necesarias para dispersar perfectamente el asfalto en los áridos envolviendo sus partículas. Durante el mezclado hay que prestar cierta atención también al ángulo vertical de la hoja de la motoniveladora. Esta debe fijarse de tal forma **que** se obtenga un movimiento giratorio completo del material al manipular el caballón. Durante el mezclado debe cuidarse de que no se tome material adicional de la base incorporándolo al caballón. Al mismo tiempo no debe desperdiciarse nada del material del caballón por fuera de los bordes de la superficie base de mezclado. En algunos casos, si resulta muy difícil el romper los grumos de asfalto y áridos, puede recurrirse a forma con la mezcla un caballón compactado, dejándolo curar durante unos pocos días. Una vez terminado el mezclado debe trasladarse el caballón a un lado del camino como preparación para su extensión.

**8.119 MEZCLA IN SITU CON MEZCLADO GIRATORIO.** En este tipo de mezclado el asfalto y los áridos *se* combinan por medio de paletas, que giran bajo una cubierta a medida que ésta se desplaza sobre la superficie del camino. Actualmente, la mayor parte de estos mezcladores están provistos de un sistema de pulverización que aplica el asfalto durante el mezclado. Cuando se emplea este tipo de mezclador se procede usualmente de la manera siguiente:

1. Los áridos se extienden en capas del espesor y la sección transversal necesarios mediante motoniveladoras.

2. Los áridos se mezclan perfectamente en una o varias pasadas del mezclador. Si están demasiado húmedos puede levantarse la cubierta ventilando los áridos hasta que su contenido de humedad sea el adecuado.
3. Se añade el asfalto en incrementos de, aproximadamente,  $2 \text{ l/m}^2$  hasta que se ha aplicado y mezclado la cantidad total prevista. Normalmente es necesario un total de 0,8 a  $2,4 \text{ l/m}^2$  por cada 2,5 cm de espesor compactado de la capa. Si el mezclador no tiene barras pulverizadoras puede aplicarse el asfalto con un distribuidor normal, envolviéndolo después con los áridos mediante una motoniveladora.
4. Entre cada dos aplicaciones de asfalto puede ser necesario aplicar una o varias pasadas del mezclador para lograr una mezcla perfecta.
5. Una vez se ha mezclado todo el asfalto con los áridos, se ventila la mezcla hasta lograr el contenido de volátiles adecuado (o el adecuado contenido de humedad si se emplean emulsiones).
6. Durante las operaciones de mezclado se mantiene el espesor y sección transversal de la capa en construcción mediante motoniveladoras.

**8.120 CONTENIDOS DE HUMEDAD Y VOLÁTILES.** Las mezclas con áridos de tipo granular bien graduados no son usualmente muy sensibles al contenido de humedad y volátiles. En cambio, las mezclas con áridos de grano fino, deben ventilarse hasta un contenido total de humedad y volátiles considerablemente inferior a la humedad óptima determinada por el método de Proctor para conseguir una compactación máxima. Cuando no es posible realizar los ensayos, la experiencia obtenida con el tipo de mezcla empleado y el apisonado de prueba, son métodos aproximados satisfactorios para determinar el contenido adecuado de humedad y volátiles. La mezcla debe apisonarse tan pronto como sea capaz de soportar el peso de la apisonadora sin deformación excesiva.

**8.121 EXTENSION Y COMPACTACION.** Una vez terminada la ventilación de la mezcla puede exten-

derse el material suelto sobre la caja o disponerlo en uno o varios caballones a los lados del camino. Si no se ha aplicado previamente una capa de imprimación puede ser aconsejable emplear, antes de la extensión y compactación del material mezclado, una capa de imprimación o adherencia. Normalmente, la extensión se hace a partir del caballón mediante una motoniveladora. Deben tomarse precauciones que aseguren la colocación del material en capas delgadas. Este material debe compactarse empleando apisonadoras de neumáticos después de cada extensión, operación que debe repetirse cuantas veces sea necesaria para extender y compactar todo el material y lograr el espesor y sección transversal y longitudinal necesarios. En algunos casos las capas pueden ser ligeramente más gruesas, pero no llegar a superar los 10 cm, compactándose mediante rodillos de pata de cabra y apisonadoras de neumático. Después de la capa se ha compactado perfectamente y ha curado pueden aplicarse sobre ella otras capas si es necesario.

### ***F) Tratamientos superficiales y riegos de sellado***

8.122 DEFINICION. El término «tratamiento superficial» cubre, en general, todas las aplicaciones de asfalto, con o sin áridos, a cualquier tipo de camino o superficie de pavimento. Entran en esta categoría los siguientes tratamientos:

1. Riegos antipolvo.
2. Riegos de imprimación.
3. Tratamientos superficiales con mezcla *in situ*.
4. Tratamientos superficiales simples y múltiples con riego de asfalto y cubrición con áridos.
5. Tratamientos superficiales con mezclas en instalación fija (incluyendo los áridos preenvuelto).
6. Sellados con lechada asfáltica.
7. Riegos en negro.
8. Capas de adherencia.
9. Riegos de sellado.

que cubre el pavimento existente, aumentando resistencia al desgaste del tráfico. Siendo su espesor usualmente inferior a 25 mm, su finalidad no **es** aumentar la resistencia de la base. El ingeniero se enfrenta frecuentemente con el problema de determinar cuándo debe transformarse una carretera sin pavimentar en otra de tipo viable en cualquier condición atmosférica. La tentación inmediata **es** aplicarle un tratamiento superficial, exista o no una cimentación adecuada. Esto **ha** dado lugar a muchos kilómetros de carreteras con tratamiento superficial con base insuficiente, que son una fuente de trastornos y gastos constantes. Si la base es inadecuada debe emplearse como primera medida en la mejora sucesiva de la base, hasta que ésta sea capaz de soportar el tráfico previsto, el tratamiento antipolvo que se describe más adelante (véase en el capítulo IX la construcción por etapas).

8.124 REGIONES CON HELADAS. En las regiones en las que se presentan heladas la base debe ser de material no susceptible a las mismas. No siendo así, el tratamiento superficial no resistirá a los ciclos sucesivos de congelación y deshielo. Para orientación sobre la elección de materiales para capas de base no susceptibles a la acción de las heladas véase «Efectos de las heladas», capítulo V.

8.125 CARRETERAS SIN PAVIMENTAR. En carreteras sin pavimentar el contenido de arcilla necesario para lograr una superficie coherente puede ser demasiado alto para ser admisible bajo una superficie pavimentada. Por ello, cuando el tratamiento superficial se aplica a una carretera antigua no asfáltica, de **tipo** grava-arcilla o arena-arcilla, debe comprobarse si el índice de plasticidad del material primitivo **es** suficientemente bajo para que no se ablande por efecto de la humedad detenida bajo el nuevo tratamiento superficial. Generalmente, cualquier material con un índice de plasticidad superior a tres debe estudiarse cuidadosamente en este aspecto.

8.126 PALIATIVOS DEL POLVO. Los paliativos del polvo consisten en una aplicación simple de material asfáltico líquido a la superficie de un camino. Se emplean los siguientes tipos de asfaltos líquidos.

1. Asfaltos fluidificantes de curado lento. **SC-0,1**
2. Emulsión asfáltica de rotura lenta. **SS-1**.

Estos materiales se aplican usualmente a razón de 0,5 a 2 l/m<sup>2</sup>. Cuando se emplea emulsión debe diluirse hasta con cinco o más partes de agua en volumen.

El tratamiento antipolvo puede servir de preparación para una mejora progresiva de las carreteras de tipo inferior.

## **Imprimación**

8.127 DEFINICION. La imprimación consiste en la incorporación inicial de asfalto a la superficie de una capa de base no asfáltica como preparación para cualquier tratamiento o construcción superpuesto a ella. El objeto de la imprimación es impermeabilizar la superficie, cerrar los huecos capilares, envolver y ligar las partículas minerales sueltas, endurecer o aumentar la resistencia de la superficie y facilitar su adherencia con el tratamiento o construcción superpuesto. La imprimación se consigue mediante el riego de 0,8 a 2,0 l/m<sup>2</sup> de asfalto líquido de baja viscosidad, como MC-0, MC-1 o MC-2, RC-0 o RC-1, SC-1 o SC-2, sobre la superficie preparada de la base, dejando el asfalto penetrar tanto como sea posible.

## **Tratamientos superficiales con mezcla *in situ***

8.128 DEFINICION. El tratamiento superficial con mezcla *in situ* se compone de áridos con los que se ha mezclado asfalto líquido por cualquiera de los métodos de mezcla *in situ* descritos anteriormente. A veces se les llama tratamientos superficiales por mezcla sobre el camino.

**8.129 EMPLEO.** Los tratamientos superficiales por mezcla *in situ* consisten frecuentemente en la mejora del material existente en el camino. Cuando ha de aplicarse un tratamiento de este tipo sobre una antigua superficie asfáltica, frecuentemente es necesario escarificar y rectificar las secciones longitudinal y transversal de la superficie antigua antes de aplicar los áridos adicionales. Este procedimiento emplea los áridos y asfalto ya existentes. Consiste, en general, en extender la cantidad necesaria de áridos nuevos y mezclarlos con algunos centímetros de la superficie ya existente, añadiendo a continuación la cantidad necesaria de aglomerante, ventilar, conformar y compactar.

### **Riegos superficiales simples y múltiples**

**8.130 DEFINICION.** Este tratamiento consiste en la aplicación de una capa de asfalto seguida por una capa de áridos. Si se repite el procedimiento, la superficie resultante se llama tratamiento superficial doble, triple, cuádruple, etc., según el número de aplicaciones.

**8.131. EMPLEO.** Estos tratamientos superficiales pueden aplicarse sobre una base no asfáltica imprimada, sobre una capa de base asfáltica o sobre cualquier tipo de pavimento existente. Con una buena imprimación (véase el párrafo precedente) permiten obtener un revestimiento impermeable muy económico para la superficie de cualquier camino, y si se emplean áridos de buena calidad dan en condiciones económicas una superficie de desgaste suficiente para las necesidades de tráficos medios y bajos.

Este tipo de tratamiento superficial es muy útil como capa de desgaste sobre capas de base en la construcción de carreteras por etapas, antes de la colocación de las capas de superficie de hormigón etapas, Para más detalles sobre la construcción por etapas, véase el capítulo IX.

**8.132 LIMITES.** Las limitaciones en el empleo de los riegos asfálticos superficiales se deben a las siguientes causas:

1. Para lograr un buen trabajo las condiciones atmosféricas deben ser favorables.
2. La superficie a la que se aplica el asfalto debe ser dura, limpia y estar seca para que se logre una adherencia satisfactoria del tratamiento superficial.
3. **La cantidad y viscosidad del asfalto deben** estar cuidadosamente proporcionadas **al tamaño y cantidad** de áridos de cubrición para lograr la adecuada retención de los áridos.
4. El tráfico pesado de alta velocidad tiende a separar los áridos del asfalto arrojándolos fuera de la carretera.

Como consecuencia de estas limitaciones, en todos los casos en que puedan darse las circunstancias citadas, debe estudiarse la posibilidad de emplear tratamientos superficiales con mezclas en instalación **mezcladora**.

#### **8.133 CANTIDAD DE ASFALTO Y ARIDOS.**

La tabla VIII-12 indica las cantidades de áridos y el tipo y cantidades de asfalto **que** deben emplearse en tratamientos superficiales y en riegos de sellado. **La** tabla indica el tipo y cantidad de asfalto necesarios para que se logre una adherencia adecuada de los áridos del tamaño indicado. Para **una** discusión más completa de la fijación de los áridos, véase el folleto del Instituto del Asfalto, Specification Series, SS núm. 7, *Specifications and Construction Methods for Seal Coats and Surface Treatments*.

**8.134 EMPLEO DE LOS RIEGOS EN NEGRO COMO TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.** Los riegos en negro pueden emplearse como terminación de cualquier tipo de tratamiento superficial, aplicándolos a razón de **0,4 a 0,8 l/m<sup>2</sup>** para:

1. Colaborar en la fijación de los áridos.
2. Evitar que el polvo de los áridos se convierta en **una** molestia.

## 8.135 CONSTRUCCION DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES EMPLEANDO EXTENSIONES SUCESIVAS DE ASFALTO Y ARIDOS DE CUBRICION:

1. **Condiciones atmosféricas.** Las condiciones atmosféricas son un importante factor a tener en cuenta en la construcción de riegos superficiales. Para obtener los mejores resultados en la retención de los áridos **es** deseable que la temperatura del pavimento sea relativamente elevada durante la aplicación del riego, y que sea considerablemente inferior antes de que se permita al tráfico rápido emplear la nueva superficie. Aun con los materiales asfálticos líquidos más viscosos es necesario el curado, que se produce en las mejores condiciones cuando la temperatura del aire es superior a los 30 °C y la humedad relativa es baja. Una estadística de los tratamientos superficiales construidos con resultados considerados excelentes, indica que más del 85 % se aplicaron en los meses más cálidos del verano, por lo que deben extremarse los esfuerzos para conseguir que el trabajo se ejecute rápidamente en estos meses. Una vez terminado el tratamiento superficial, debe limitarse la velocidad del tráfico hasta que se haya producido el curado.
2. **Distribuidor de asfalto.** Es esencial que el distribuidor esté en condiciones de extender el asfalto uniformemente sobre la superficie a tratar. Para obtener resultados óptimos deben tenerse en cuenta especialmente los siguientes puntos:
  - a) Mantener una presión y temperatura uniformes en todas las boquillas. El abanico de material proyectado por cada boquilla debe ser uniforme y formar con la barra el ángulo adecuado (de acuerdo con las instrucciones del fabricante), de forma que los diversos abanicos **no interfieran** unos con otros.
  - b) La altura de la barra sobre la superficie del camino debe ser constantemente la necesaria (de acuerdo con las indicaciones del fabrican-

**Tabla VIII-12—DOSIFICACIONES DE AGLOMERANTES Y ARIDOS PARA TRATAMIENTOS SUPERFICIALES SIMPLES Y RIEGOS DE SELLADO'**

Línea n.º	Tamaño do los Mdoos	Kilos de áridos por m <sup>2</sup> 1, 3	Litros de asfalto por m <sup>2</sup> 1, 4	TIEYPO CALIDO		TIEMPO FRIO <sup>4</sup>	
				Aridos duros	Aridos absorbentes	Aridos duros	Aridos absorbentes
1	½ a ¾	22-30	1,3-1,6	120-150 RC5, RS2	RC. RS2	RC4, RSP	RC4, RSP
2	¾ a n.º 8	16-24	1,0-1,4	200-300 RC4, RS2	RU. RS2	RC3, 4 RS2 <sup>5</sup>	RC3, 4 RS2 <sup>5</sup>
3	¾ a n.º 4	14-19	0,9-1,1	200-300 RC2, 3, 4 RS1, 2	RC2, 3, 4 RS1, 2	RC2, 3, 4 RS1 <sup>5</sup> RS2 <sup>5</sup>	RC2, 3, 4 RS1 <sup>5</sup> RS2 <sup>5</sup>
4	¾ a n.º 8	14-19	0,9-1,1	RC2, 3, 4 RS1, 2	RC2, 3, 4 RS1, 2	RC2, 3, 4 RS1 <sup>5</sup> RS2 <sup>5</sup>	RC2, 3, 4 RS1 <sup>5</sup> RS2 <sup>5</sup>

5	¾ a n.º 4	11-14	0,9-1,1	RC2, 3, 4 RS1, 2	RC2, 3, 4 RS1, 2	RC2, 3, 4 RS1' RS2'	RC2, 3, 4 RS1' RS2'
6	¾ a n.º 8	11-14	0,9-1,1	RC2, 3, 4 RS1, 2	RC2, 3, 4 RS1, 2	RC2, 3 RS1' RS2'	RC2, 3 RS1' RS2'
7	a n.º 8	8-11	0,7-0,9	RC2, 3 RS1, 2		RC2, 3	RS1' RS2'
8	Arena	5-8	0,5-0,7	RC2, 3 RS1, 2	RC2, 3 RS1, 2	RC2, 3 RS1'	RC2, 3 RS1' SS1'

- El tipo y cantidad de materiales pueden modificarse según las condiciones y experiencia locales.
- Deben emplearse las dosificaciones de asfalto más bajas indicadas en la tabla para áridos con granulometrías del lado fino de los límites especificados. Las dosificaciones más elevadas deben emplearse con áridos cuyas granulometrías estén del lado grueso.
- Deben tomarse precauciones cuando se emplee este material en malas condiciones de recado.
- El peso de áridos indicado en la tabla se basa en áridos con un peso específico de 2,65. En caso de que el peso específico de los áridos empleados sea inferior a 2,55 o superior a 2,75, la cantidad indicada en la tabla superior debe multiplicarse por la relación entre el peso específico de los áridos y 2,65.
- En ciertas condiciones, pueden emplearse en tiempo frío los tipos más viscosos de los asfaltos fluidificados de tipo MC.

te) para lograr un solape completo y uniforme de los abanicos.

- c) La velocidad del camión debe ser uniforme
- d) Comprobación del distribuidor. Antes de iniciarse el trabajo debe comprobarse el funcionamiento de la barra distribuidora. El cierre de las válvulas debe ser instantáneo, tanto al abrir como al cerrar. La operación de extensión debe inspeccionarse frecuentemente comprobando que las boquillas están a la altura necesaria sobre la superficie del camino y trabajando a pleno caudal. Un trabajo excelente en todos los demás aspectos puede quedar totalmente estropeado porque una o varias de las boquillas estén obstruidas. Para más detalles sobre el distribuidor de asfalto véase el capítulo VII. Véase también el folleto del Instituto del Asfalto *Specifications and Construction Methods for Asphalt Surface Treatments* Specification Series, SS-7.

### 3. Extensión de los áridos

- a) Antes de aplicar el asfalto debe tenerse una máquina adecuada para la extensión de áridos convenientemente regulada para los áridos que vayan a emplearse. La anchura total de la barra regadora del distribuidor de ligante debe ser igual a la anchura de extensión del distribuidor de áridos empleado. Normalmente se emplea la anchura de una franja de tráfico. Debe contarse con áridos suficientes para cubrir el asfalto regado, sin interrupción, en el tiempo mínimo posible, después de su contacto con la superficie. Además, el distribuidor de áridos debe estar lleno, en posición y dispuesto para extenderlos antes de comenzar la extensión de asfalto. Un defecto muy común es hacer funcionar al distribuidor de asfalto demasiado por delante del distribuidor de áridos.
- b) Los distribuidores de áridos varían desde una compuerta regulable muy sencilla, unida a la compuerta del camión, hasta unidades auto

propulsadas de gran rendimiento que aplican los áridos de mayor tamaño por delante y los finos por detrás, lo que es deseable en muchos aspectos. Véase también el capítulo VII.

4. **Apisonado.** En la construcción de tratamientos superficiales deben emplearse apisonadoras de neumáticos y de llanta metálica. Las apisonadoras



Figura VIII-22. Extensión de árido para el tratamiento superficial con una esparcidora autopropulsada.

de llanta metálica no deben ser tan pesadas que machaquen las partículas de los áridos. Las apisonadoras de neumáticos son esenciales para hundir firmemente los áridos en las zonas bajas o pequeñas deformaciones de la superficie, que normalmente no son cubiertas por los rodillos de llanta rígida, y para lograr uniformidad en toda la anchura del camino, especialmente en los bordes, donde existe menos tráfico. Las apisonadoras deben ser suficientemente pesadas para fijar adecuadamente los áridos, pero debe dejarse de api-

sonar tan pronto como resulte evidente que la gravilla está rompiéndose. Cuando se emplean tratamientos superficiales dobles o triples, cada capa debe apisonarse antes de aplicar más asfalto. Si se aplica un riego en negro debe hacerse una vez terminado el apisonado.

5. **Control del tráfico.** Es extremadamente importante, para evitar la pérdida de áridos, el control del tráfico. Un método adecuado para controlar el tráfico es formar una fila de vehículo' tras un vehículo piloto entre barreras situadas en los extremos de la zona de trabajos.

### **Tratamiento superficial con aglomerado fabricado en instalación fija**

**8.136 DEFINICION.** Los tratamientos superficiales con aglomerado fabricado en instalación mezcladora, consisten en la aplicación de asfalto y árido: mezclados en una instalación fija sobre:

1. La superficie imprimada de una base.
2. Una capa de base asfáltica, o
3. Un pavimento asfáltico existente.

Aunque este tipo de tratamiento superficial puede conseguirse por mezcla en caliente o en frío, generalmente se prefiere la mezcla en caliente. Los tratamientos superficiales por mezcla en caliente pueden reunir todas las excelentes propiedades de las mezclas en instalación fija controladas con precisión, juntamente con la economía que les es propia. Otra ventaja es el hecho de **que** pueden terminarse rápidamente, abriéndolo inmediatamente al tráfico.

**8.137 PRECAUCION: LOS TRATAMIENTOS SUPERFICIALES NO PUEDEN SUSTITUIR A LOS RECARGOS.** Cuando es necesario aumentar la resistencia del camino no puede recurrirse a los tratamientos superficiales, que en ninguna forma pueden sustituir a los recargos.

## Sellados con lechada asfáltica'

8.138 DEFINICION. La lechada asfáltica con emulsión **es** una mezcla de emulsión asfáltica de rotura lenta, SS-1 o SS-1h<sup>2</sup>, áridos finos, filler mineral y el agua necesaria para lograr una consistencia de lechada.

8.139 EMPLEO. La lechada asfáltica se emplea para rejuvenecer los pavimentos envejecidos, cerrando sus grietas. Si un pavimento antiguo no tiene grandes grietas o zonas con principio de desintegración, y solamente necesita un tratamiento rejuvenecedor, puede estar indicado un riego en negro (véase más adelante). El tratamiento con lechada asfáltica puede ser seguido por otro tipo de tratamiento superficial o por la aplicación de **una** capa de hormigón asfáltico.

8.140 COMPOSICION DE LA LECHADA ASFALTICA. La composición de una lechada asfáltica con emulsión es la siguiente:

1. Aridos y polvo mineral<sup>3</sup>.
2. Emulsión asfáltica, **SS-1** o **SS-1h**<sup>2</sup>. Generalmente, del 18 al 25 ° del peso de los áridos y filler mineral.
3. Agua de mezclado. Generalmente, del 10 al 15 ° sobre el peso de los áridos secos y el filler mineral.

---

<sup>1</sup> Véase también las especificaciones SS-7 del Instituto del Asfalto (Specification and Construction Methods for Seal Coats and Asphalt Surface Treatment).

<sup>2</sup> Generalmente da mejores resultados la SS-1 en tiempo fresco y la SS-1h en tiempo cálido.

<sup>3</sup> Se ha empleado con éxito la siguiente combinación de áridos y filler mineral:

<i>Tamiz</i>	<i>Porcentaje total que pasa</i>
8	100
16	55-85
30	35-60
50	20-45
100	10-30
200	5-15

La combinación de aridos y polvo mineral debe ser no plástico o tener un equivalente de arena superior a 40.

8.141 MEZCLA DE LA LECHADA ASFALTICA. La lechada asfáltica se mezcla usualmente en una hormigonera sobre camión hasta formar una lechada de consistencia pastosa que fluye fácilmente, llenando todas las grietas y zonas descarnadas de la superficie del pavimento.

8.142 EXTENSION DE LA LECHADA ASFALTICA. La hormigonera sobre camión descarga la lechada en una caja extendedora remolcada por él. La caja extendedora consiste, esencialmente, en una estructura rectangular de anchura igual a la de una franja de tráfico con una maestra flexible, usualmente de goma neopreno, de 12 mm de espesor por 15 a 20 cm de anchura, fijada transversalmente a la caja extendedora a unas tres cuartas partes de su longitud a partir del extremo frontal. La maestra debe estar fijada al fondo de una barra transversal regulable, de forma que pueda modificarse el espesor de la aplicación y la sección transversal de la superficie. Usualmente, una franja de 10 cm aproximadamente de membrana libre dan flexibilidad suficiente para mantener el contacto con la superficie del pavimento, comprimiendo la lechada sobre las grietas y pasando sobre los puntos elevados. La parte frontal y los laterales de la caja distribuidora deben estar revestidos en su parte inferior de membrana de goma, de manera que puedan levantarse o bajarse, manteniendo contacto con la superficie del pavimento y evitando la fuga de lechada por debajo de estos elementos. Las cajas distribuidoras tienen también frecuentemente:

1. Una rueda conductora que obliga a la caja a seguir al camión que la remolca en línea recta.
2. Deflectores longitudinales o diagonales que distribuyen la lechada en toda la longitud de la maestra.
3. Ruedas auxiliares para transportar la caja de una obra a otra.

Como el empleo de la lechada asfáltica aún está en su infancia, es previsible un gran progreso en el desarrollo de la maquinaria para su aplicación.

8.143 PREPARACION DE LA SUPERFICIE

8.145 CONTROL DEL TRAFICO. Debe evitarse el paso del tráfico sobre el sellado con lechada asfáltica durante un tiempo mínimo de 2 h, o el suficiente para que el tratamiento **no** resulte perjudicado. La velocidad del tráfico debe limitarse a 25 km/h, al menos durante 4 h después de la aplicación del tratamiento. Cuando se rellenan con lechada asfáltica amplias zonas deterioradas del pavimento puede ser deseable apisonar la lechada con apisonadoras de neumáticos después de cada aplicación. Véase la figura VIII-23, en la que se ve una calle de Washington DC dos semanas después de la aplicación de un sellado con lechada asfáltica.

### **Riegos en negro**

8.146 DEFINICION. Se llama riego en negro a una aplicación muy ligera de emulsión diluida de rotura lenta, de tipo SS-1h, fabricada con un betún asfáltico de penetración 40-90, o SS-1 si no se dispone de SS-1h. La emulsión se diluye con agua en la proporción de una parte de emulsión por 1 a 3 partes de agua,



Figura VIII-23. Una calle de Washington DC dos semanas después de la aplicación de un sellado con lechada asfáltica



Figura VIII-24. Aplicación de un sellado con lechada asfáltica mediante caja extendidora. Observación: Solamente se carga con mezcla el compartimiento anterior.

y se aplica a razón de 0,5 a 1 l (de material diluido) por metro cuadrado, dependiendo del estado del pavimento antiguo. No son necesarios áridos de cubrición, y en condiciones normales la rotura es rápida, permitiendo el tráfico una hora o dos después de aplicado el tratamiento.

**8.147 EMPLEO.** Los riegos en negro se emplean para rejuvenecer antiguos pavimentos asfálticos y cerrar pequeñas grietas y huecos superficiales. Son especialmente útiles para pavimentos sometidos a un tráfico muy ligero. También pueden emplearse los riegos en negro:

1. Para sellar huecos superficiales en capas nuevas de hormigón asfáltico.
2. Para evitar aparezca polvo en los tratamientos superficiales normales inmediatamente después de su construcción en las zonas de tráfico muy intenso, mejorando de paso la retención de los áridos y dando al firme un color oscuro uniforme.

### **Riegos de adherencia**

**8.148 DEFINICION.** Se llama riego de adherencia a la aplicación de asfalto a un pavimento existente para obtener buena adherencia entre la superficie y las nuevas capas que se le van a superponer. Las dos propiedades esenciales de un riego de adherencia son:

1. Debe ser muy delgado.
2. Debe revestir uniformemente toda la superficie a cubrir con una nueva capa asfáltica. Para cumplir estas exigencias es necesario emplear alguno de los materiales siguientes: emulsión diluida, como antes se ha descrito para los riegos en negro, o un asfalto fluidificado de tipo muy ligero.

**8.149 EMPLEO.** Ha existido cierta tendencia a evitar el empleo de riegos de adherencia, como consecuencia de malas aplicaciones, en las que se han aplicado riegos de adherencia excesivamente ricos, produciendo un exceso de asfalto que exuda a través de la capa superior. Un riego de adherencia delgado, como

los que acabamos de describir, no perjudica al pavimento y ayuda a obtener una unión adecuada entre las diversas capas.

**8.150 APLICACION.** La dilución de la emulsión asfáltica depende de la capacidad del distribuidor de que se dispone para aplicar uniformemente dosificaciones muy bajas. En un riego de adherencia es dosificación suficiente de 0,20 a 0,60 l/m<sup>2</sup> de emulsión **SS-1** o **SS-1h**, o de asfalto fluidificado **RC-O** o **RC-1**.

Debe organizarse el trabajo de tal forma que no se aplique el riego de adherencia a una superficie mayor que la que vaya a cubrirse con la capa superior durante el trabajo del día. Debe evitarse el paso sobre el riego de adherencia de cualquier tráfico no esencial para la obra.

En los lugares que no pueden alcanzar las barras del distribuidor será necesario aplicar el riego de adherencia con lanza y pulverizador manuales unidos al distribuidor por una manguera. Cuando se utiliza la distribución manual deben tomarse las precauciones necesarias para que la aplicación de asfalto a la superficie se: muy ligera.

## **Sellados**

**8.151 DEFINICION.** Se llama sellado a un tratamiento superficial aplicado a la superficie de un pavimento existente de cualquier tipo o a una capa de base asfáltica. Puede ser:

1. Un riego en negro.
2. Un sellado con lechada asfáltica.
3. Un tratamiento superficial con extensión de asfalto y áridos de cubrición.
4. Una capa de aglomerado asfáltico.

**8.152 EMPLEO.** Puede emplearse un tratamiento de sellado cuando se desea lograr uno o varios de los siguientes fines:

1. Rejuvenecer una superficie envejecida.
2. Llenar las grietas para evitar la penetración de la humedad y el aire en la estructura del pavimento

3. Corregir ligeras deformaciones o un principio de disgregación del pavimento.
4. Conseguir una superficie no deslizante empleando áridos resistentes al pulimento o cubriendo una antigua superficie con exceso de asfalto.
5. Añadir ligante asfáltico a la superficie del camino para facilitar el sellado por el tráfico.
6. Mejorar la visibilidad por contraste de colores.
7. Obtener una separación eficaz de las diversas vías (un sellado con áridos gruesos es útil como superficie productora de ruido en las zonas peligrosas, como, por ejemplo, en la proximidad de una intersección o *en* los paseos).

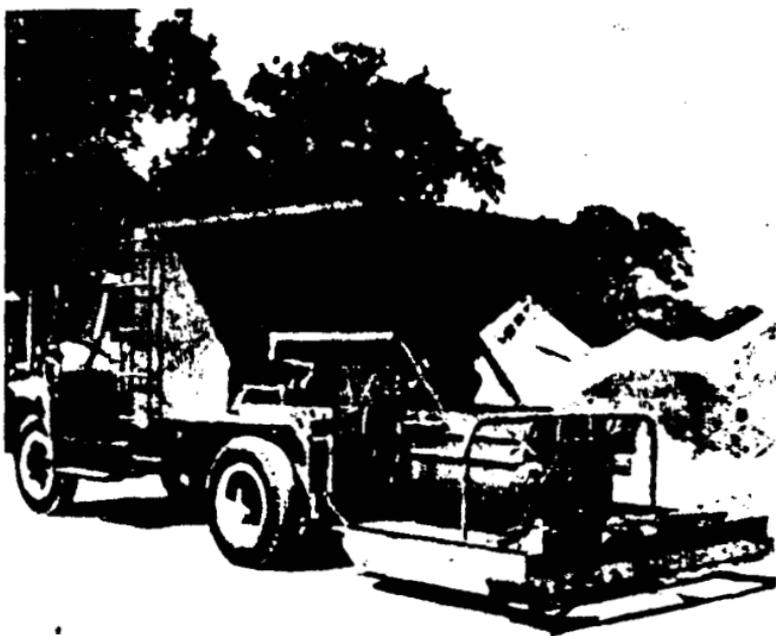


Figura VIII-25. Máquina de sellado asfáltico a base de una emulsión de asfalto de solidificación lenta, árido fino, filler mineral y agua.

#### PRECAUCION

El sellado no aumenta la resistencia del pavimento existente. Cuando sea necesario un incremento de la resistencia deberá emplearse un recargo de hormigón asfáltico o cualquier otro tipo adecuado de capa reforzante.

## Tratamientos superficiales antideslizantes

**8.153 EMPLEO.** Los tratamientos superficiales se emplean mucho para obtener o restablecer una superficie resistente al deslizamiento. Según el tipo de tráfico puede ser aconsejable uno u otro de los siguientes tipos de tratamientos superficiales:

1. Tratamientos superficiales con extensión de asfalto y áridos de cobertura en una o varias capas, adecuados para tráfico ligero o medio, y como una fase de la construcción por etapas para tráfico pesado y muy pesado.
2. Tratamiento superficial con aglomerado asfáltico, adecuado para tráfico pesado y muy pesado.

**8.154 ARIDOS.** *Los áridos empleados en estos tratamientos superficiales deben ser resistentes al pulimento.* Actualmente no existe ningún ensayo normalizado para medir esta propiedad. Sin embargo, la experiencia ha indicado que los áridos que se indican a continuación dan buen resultado en este aspecto:

1. Arena silíceo angulosa o piedra arenisca machacada.
2. Escoria de alto horno machacada.
3. Granito y gneis seleccionados.
4. Determinados tipos de gravas machacadas.

**8.155 OBRAS NUEVAS.** En obras nuevas en zonas donde los áridos existentes tienen malas características en cuanto al pulimento, y los áridos que no se pulen son caros, se aplica como capa de superficie una capa de 12 a **25** mm de espesor en la que se emplean áridos resistentes al pulimento. Mediante el empleo de tratamientos superficiales con mezclas asfálticas, utilizando áridos resistentes al pulimento, pueden obtenerse superficies de rodadura seguras en zonas en que los áridos locales son muy sensibles al pulimento, logrando la máxima economía mediante el empleo de áridos locales para todas las demás capas de la estructura del pavimento.

**8.156 PAVIMENTOS EXISTENTES.** En los pavimentos existentes que se han hecho deslizantes por

pulimento de los áridos o por aparición en la superficie de un exceso de asfalto causado por:

1. Acción del tráfico pesado en mezclas asfálticas con contenido de huecos demasiado bajo y contenido de asfalto demasiado alto para el tráfico existente, o
2. Asfalto de un tratamiento superficial anterior del que se han desprendido los áridos.

El tratamiento superficial debe tener un espesor de 18 a 25 mm, excepto cuando las restricciones en cuanto a nivel de la rasante son muy estrechas, como sucede en los puentes y en las calles de las ciudades.

En los puentes y en las calles de las ciudades donde las juntas, bordillos, bocas de registro, bocas de alcantarilla, etc., exigen que el cambio en la altura de la rasante sea mínimo, es ventajoso el empleo de mezclas de arena silíceo fina o de arena de escoria de alto horno.

La superficie del pavimento antiguo debe limpiarse perfectamente, aplicando a continuación una ligera capa de adherencia. Después se extiende la mezcla con una pavimentadora, empleando de 12 a 50 kg/m<sup>2</sup>. Generalmente, la cantidad de mezcla empleada es de 20 a 25 kg/m<sup>2</sup>. La mezcla se extiende cuidadosamente hasta lograr un perfecto acuerdo con las juntas de expansión de placa deslizante, las bocas de alcantarilla, etc., y se apisona. Se ha observado que las apisonadoras de neumáticos dan resultados óptimos, especialmente en capas muy delgadas.

## Sellados con mástico asfáltico

8.157 DEFINICION. Los sellados con mástico asfáltico pueden aplicarse en frío o en caliente. El mástico asfáltico es una mezcla densa, impermeable y sin huecos, de asfalto, áridos y polvo mineral. Primeramente se limpia la superficie a cubrir y, usualmente, se aplica una imprimación con un producto asfáltico compatible con el mástico asfáltico.

8.158 MASTICOS ASFALTICOS EN FRIO. Los sellados con mástico asfáltico en frío pueden prepararse en pequeñas hormigoneras de tambor. La composi-

ción siguiente se ha empleado con resultados satisfactorios:

1	parte de cemento Portland . . . . .	47	kg
3½	partes de arena . . . . .	175	kg
1½	partes de emulsión asfáltica SS-1h' (451) . . . . .	47	kg
1	parte de agua . . . . .	31	kg
		<hr/>	
	Peso total . . . . .	300	kg
	Peso total en <i>seco</i> (compactado) . . . . .	250	kg

Después de imprimir la superficie antigua con emulsión asfáltica se aplica esta mezcla maestreándola hasta obtener un espesor máximo de 18 mm. Los bordes pueden terminar en borde afilado cuando sea necesario. Después del fraguado inicial del cemento (4-6 h) debe tratarse la superficie a la llana. A continuación se protege de la deshidratación rápida durante 48 h, de forma que el cemento pueda hidratarse adecuadamente, dando **lugar** a una superficie dura y duradera.

**8.159 MASTICOS ASFALTICOS EN CALIENTE.** Los sellados con másticos asfálticos en caliente se preparan usualmente con asfaltos de baja penetración, áridos finos y filler mineral.

La selección del tipo de áridos y filler es importante cuando el mástico debe resistir la acción de los ácidos. Usualmente, el asfalto en sí no es afectado por la mayor parte de los ácidos, pero debe determinarse el efecto de estos ácidos sobre los áridos y el filler mediante ensayos de laboratorio para cada **tipo** de ácido que se encuentre en la práctica. En general, los áridos de piedra caliza son los más vulnerables.

**8.160 APISONADO DEL MASTICO EN CALIENTE.** El mástico debe apisonarse ligeramente con apisonadoras ligeras de tipo tándem o de neumáticos.

**8.161 EMPLEO.** Los sellados con mástico asfáltico se emplean generalmente, para regularizar las irregularidades superficiales y, en caliente, para prote-

---

Existen emulsiones asfálticas parenradas especiales para la fabricación de masticos con cemento Portland.

ger contra los ácidos a las capas asfálticas inferiores.

Se emplean también como revestimientos protectores para tuberías. Véase, por ejemplo, el folleto *Asphalt Protective Coatings for Pipe Lines*, Asphalt Institute Construction Series número 96, que da especificaciones para la imprimación, ligante asfáltico, granulometría de áridos y filler mineral característicos de las mezclas, así como métodos para ensayar los materiales que entran en la mezcla y la mezcla propiamente dicha.

Existen en el mercado numerosas fórmulas patentadas de másticos asfálticos en caliente y en frío.

8.162 REFERENCIAS. Las publicaciones del Instituto del Asfalto que se citan a continuación dan información detallada para la construcción de pavimentos de asfalto:

1. *Specifications and Construction Methods for Asphalt Concrete and Other Plant-Mix types*, Specification Series núm. 1 (SS-1).
2. *Thickness Design-Asphalt Pavement Structures for Highways and Streets*, Manual Series núm. 1 (MS-1).
3. *Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types*, Manual Series núm. 2 (MS-2).
4. *Asphalt Plant Manual*, Manual Series núm. 3 (MS-3).
5. *Asphalt Paving Manual*, Manual Series núm. 8 (MS-8).
6. *Asphalt Pavements for Airports*, Manual Series núm. 11 (MS-11).
7. *Asphalt Surface Treatments and Asphalt Penetration Macadam*, Manual Series núm. 13 (MS-13).
8. *Asphalt Mixed-in-Place (Road-Mix) Manual*, Manual Series núm. 14 (MS-14).
9. *Asphalt Protective Coatings for Pipe Lines*, Construction Series núm. 96 (CS-96).

# Capítulo IX

## CONSTRUCCION POR ETAPAS, RECONSTRUCCION Y CONSERVACION

### A) *Construcción por etapas, reconstrucción*

9.01 TIPOS DE CONSTRUCCION POR ETAPAS. La construcción por etapas puede ser de dos clases:

1. Mejora progresiva de caminos de tipo inferior.
2. Construcción de carreteras de alta calidad en dos o tres etapas.

9.02 MEJORA PROGRESIVA DE LAS CARRETERAS DE TIPO INFERIOR. El asfalto se presta particularmente bien a la construcción por etapas por dos razones:

1. Porque ofrece los procedimientos más sencillos y económicos para transformar superficies no tratadas en superficies transitables en todo tiempo, y
2. Porque cada tratamiento o nueva capa adicional de mezcla asfáltica puede enlazarse completamente con las previamente existentes, convirtiéndose en una parte integrante de la estructura compuesta, incrementando por ello la resistencia con la adición de espesores relativamente pequeños. El espesor adicional necesario puede calcularse muy exactamente, empleándolo solamente donde el tráfico lo exija. Los pasos usuales de la construcción por etapas son:
  - a) De superficie de áridos no tratados con asfalto a mezcla *in situ*.
  - b) De mezcla *in situ* a tratamiento superficial.
  - c) De tratamiento superficial a mezcla asfáltica. Siguiendo este método se consigue una superficie utilizable en todo tiempo lo más pronto posible y sin excesiva inversión. Empleando este método se han transformado carreteras

del tipo más económico en carreteras para tráfico pesado.

Cuando el espesor de una superficie existente de áridos sin tratar es insuficiente y no se dispone de consignación suficiente para aplicar todo el nuevo material necesario en un año, la situación puede corregirse aplicando los fondos de conservación de que se disponga a un proceso de refuerzo gradual, tal que se retengan todos los nuevos áridos añadidos en lugar de perderse al ritmo usual de, aproximadamente, 25 mm por año. El método es aplicable especialmente a los miles de kilómetros de carreteras de tipo inferior en las que el tráfico más pesado se presenta en verano. El primer año se trata la superficie antigua con motoniveladora y se añaden 25 ó 50 mm de áridos nuevos. A continuación se aplica un tratamiento superficial de 1 a 2 l de asfalto por metro cuadrado, esencialmente como paliativo del polvo. La nivelación con motoniveladora alternada con el tráfico produce una superficie lisa y sin polvo que usualmente soportará el primer invierno.

A continuación se hace una segunda aplicación de áridos y asfalto, mezclada también con motoniveladora. El tercer año pueden determinarse las zonas claramente débiles, aplicándoles un recargo suplementario antes del tratamiento. Al cuarto año debe existir una superficie que pueda emplearse como base para una capa de desgaste de mayor espesor, que puede conservarse mediante tratamientos ligeros a intervalos de varios años. El procedimiento es aplicable a terrenos arenosos, gravas arenosas, detritus de cantera y muchos otros áridos locales. Pueden emplearse emulsiones asfálticas o grados ligeros de los asfaltos fluidificados de tipo MC o SC. Aunque inicialmente parece que el asfalto se pierde por completo, lo que realmente ocurre es que se dispersa en películas muy delgadas, y las aplicaciones sucesivas se van añadiendo a las precedentes hasta que la totalidad del material empleado se hace eficaz.

**9.03 CONSTRUCCION DE CARRETERAS DE TIPO SUPERIOR EN DOS O MAS ETAPAS.** Las razones para el empleo de la construcción por etapas son las siguientes:

1. Con todos los tipos de pavimento se producen inevitablemente asentamientos, por muy cuidadosamente que se haya ejecutado la construcción inicial. Después de que los terraplenes han alcanzado su equilibrio, de acuerdo con las condiciones locales de humedad y climatológicas, debe aplicarse una superficie de rodadura lisa, corrigiendo las irregularidades producidas por los asentamientos.
2. El tráfico es creciente en casi todas partes. Este incremento no siempre se ha tenido en cuenta al redactar los proyectos.
3. Empleando este método pueden emplearse los fondos existentes en conseguir inicialmente mayor kilometraje de nuevas carreteras, aumentando posteriormente su resistencia a medida que sea necesario mediante capas suplementarias que se convierten en parte integrante de la estructura original del pavimento.

9.04 IMPORTANCIA DE LA CONSTRUCCIÓN POR ETAPAS. La importancia de la construcción por etapas en un programa de carreteras de gran trascendencia ha sido admitida por el Departamento de Carreteras de los Estados Unidos al recomendar, en la Ley de Carreteras de 1956, el empleo de la construcción por etapas en el Interstate Highway System.

La construcción por etapas de carreteras de tipo superior consta usualmente de las siguientes fases:

1. Drenaje, movimiento de tierras y terreno mejorado.
2. Capas de subbase y de base con un tratamiento superficial o una capa superficial delgada suficiente para resistir el tráfico durante unos años.
3. Adición de las capas de superficie.

Cuando se emplean capas de base asfáltica éstas soportan frecuentemente el tráfico durante un tiempo considerable antes de la aplicación de las capas de superficie definitivas. Si la capa de base asfáltica es de tipo abierto puede ser deseable la aplicación de un sellado.

9.05 ENSANCHE. Una carretera moderna de dos vías debe tener de 8 a 8,70 m de anchura. Actualmente son insuficientes muchos miles de kilómetros de carreteras pavimentadas entre 1920 y 1940, tanto en anchura como en espesor. Las carreteras existentes de anchura insuficiente deben ensancharse antes de reforzar el pavimento. La habil realización de este ensanche, haciéndolo a uno u otro lado de la carretera en las curvas, puede mejorar grandemente el trazado inicial. Además, las curvas de radio insuficiente, ensanchadas **por** el lado interior hasta una anchura total de 10 m y con peralte, corrigen frecuentemente situaciones peligrosas. Si no puede conseguirse durante la construcción la densidad adecuada, debe hacerse el ensanche un año antes del refuerzo del pavimento para conseguir una consolidación adicional por efecto del tráfico. Actualmente existe maquinaria de gran rendimiento para ex-



Figura IX-1. Base de hormigón asfáltico extendida con un anejo especial de la pavimentadora para ensanchar una carretera.

cavación de zanjas y relleno de éstas con material de cimentación, de forma que el trabajo puede realizarse interfiriendo con el tráfico lo menos posible. Los pavimentos antiguos, tanto rígidos como flexibles, pueden ensancharse esencialmente por los mismos procedimientos. Ambos tipos exigen excavar para cimentar con la anchura adecuada, y la construcción de una base asfáltica.

9.06 MEJORA DE LOS ARCENES. Muchos pavimentos antiguos se construyeron en zanja, con arce- nes de materiales impermeables. La modernización ofrece una excelente oportunidad para extender el ma- terial de base y subbase a toda la anchura de los arce- nes, consiguiendo arce- nes pavimentados. LA investiga- ción\* ha demostrado que la existencia de arce- nes resistentes no solamente es una medida de seguridad esencial, sino que aumenta la sustentación lateral, que incrementa materialmente la resistencia del pavimento propiamente dicho.

Durante cierto tiempo se creyó que el pavimento de los arce- nes debía ser de un material de diferente tipo de el de la calzada, para evitar su empleo como una zona de tráfico adicional. La experiencia ha demos- trado que con los pavimentos de hormigón asfáltico tan comúnmente empleados actualmente, es mejor llevar el mismo material de superficie hasta el borde del ar- cén. El arcén queda suficientemente delimitado me- diante una franja pintada de blanco o amarillo a lo largo del borde de la calzada.

Además, después de varios meses de exposición a los agentes atmosféricos bajo tráfico de diferente intensi- dad, produce una diferencia de color que es suficiente para asegurar una adecuada canalización del tráfico. Si se desea una diferencia mayor puede aplicarse al arcén un tratamiento superficial que haga ruidosa la rodadu- ra de los vehículos. Puede conseguirse aún más con- traste empleando áridos de color en el tratamiento su- perficial de los arce- nes.

---

Véase el informe sobre el ensayo WASHO redactado por el Highways Research Board.

**9.07 REPARACION DE ANTIGUOS PAVIMENTOS BITUMINOSOS.** Las averías en los antiguos pavimentos bituminosos se deben usualmente a un proyecto del pavimento inadecuado para el tráfico existente, a una compactación insuficiente durante la construcción o a ambas causas. El proyecto incorrecto de las mezclas asfálticas puede dar lugar también a varios tipos de averías. Un exceso de asfalto, especialmente en mezclas con elevado porcentaje de finos, puede dar lugar a ondulaciones de la superficie. Un contenido de asfalto insuficiente puede dar lugar a agrietamiento o desintegración de la superficie.

El agrietamiento por fatiga puede deberse a una deflexión excesiva del pavimento o a que la mezcla sea quebradiza. La deflexión excesiva, a su vez, puede deberse a una estructura inadecuada o a que el terreno sea elástico y resiliente. El pavimento puede ser quebradizo porque el asfalto se haya endurecido excesivamente por cualquier causa o porque el contenido de asfalto sea insuficiente.

El remedio de estos defectos depende de la magnitud de los daños. Si están generalizados, probablemente será necesaria la reconstrucción. Sin embargo, la reconstrucción de un antiguo pavimento asfáltico no debe emprenderse hasta que una investigación completa y cuidadosa haya establecido definitivamente la causa de los defectos, determinando de paso los medios más asequibles y económicos para repararlos.

Los pavimentos asfálticos pueden averiarse por defecto de la resistencia de la cimentación, debido frecuentemente al mal drenaje. En las zonas en que se produce este defecto pueden aparecer grietas en piel de cocodrilo y debe estudiarse si es posible eliminar los materiales defectuosos, sustituyéndolos por una base adecuada debidamente drenada.

La reconstrucción puede hacerse de la forma siguiente:

1. Si el pavimento existente es de calidad uniforme puede obtenerse la resistencia necesaria mediante un recargo de 10 a 15 cm de hormigón asfáltico.

2. Si el pavimento asfáltico existente es evidentemente inadecuado y está averiado gravemente se sugiere el procedimiento siguiente:

- a) Escarificar el pavimento antiguo hasta una profundidad de 15 a 20 cm si tiene este espesor, y desmenuzarlo hasta el tamaño de los áridos originales mediante pulverizadores giratorios pesados, apisonadoras de tipo parrilla, pisones o máquina similar.
- b) Tratar el material así obtenido con motoniveladora, hasta conseguir las secciones transversal y longitudinal necesarias.
- c) Añadir nuevos áridos hasta conseguir un espesor total, contando los áridos ya existentes, de 15 a 20 cm.
- d) Añadir asfalto hasta elevar el contenido total de asfalto, contando con el ya existente, al necesario para los áridos, según indique el método de proyecto elegido. Es conveniente comenzar con un asfalto fluidificado de contenido en disolventes mas bien elevado para ablandar el asfalto ya existente. El asfalto debe añadirse en incrementos de aproximadamente  $2 \text{ l m}^2$ , mezclándolo con los áridos después de cada aplicación. Cuando se ha añadido y mezclado todo el asfalto necesario y se ha ventilado la mezcla hasta conseguir el contenido de humedad y volátiles adecuado, debe pasarse de nuevo la motoniveladora hasta obtener las secciones longitudinal y transversal adecuadas.
- e) Compactar perfectamente la mezcla con la maquinaria de compactación más apropiada.
- f) Añadir nuevas capas, si son necesarias, y un pavimento adecuado para las condiciones de tráfico y carga.

**9.08 AVERIAS DE LOS PAVIMENTOS.** Los pavimentos asfálticos pueden resultar averiados por muchas razones. Antes de reconstruirlos o modernizarlos deben determinarse las causas de las averías, incluyendo su corrección en el programa de reconstrucción.

**9.09 RECARGO SOBRE PAVIMENTOS DE TI-**

**PO RIGIDO.** Aunque no existe diferencia esencial entre el ensanche y construcción de arcenes de pavimentos bituminosos y de tipo rígido, el tratamiento previo de los pavimentos de tipo rígido para asegurar la estabilidad, una vez terminada la construcción del recargo, es netamente diferente. Las grietas de anchura igual o mayor que 12 mm deben llenarse con una mezcla asfáltica densa con áridos finos. El efecto de *pumping* en las juntas del pavimento de tipo rígido da frecuentemente lugar a averías, haciendo salir suelo de debajo de la losa.

Frecuentemente, el pavimento está agrietado y roto en las juntas. Si se ha roto en elementos de dimensiones no superiores a 50 cm o 1 m, éstos deben eliminarse, sustituyéndolos por un relleno de mezcla asfáltica en todo el espesor de la losa. El material de relleno más económico es la mezcla asfáltica para capa intermedia colocada y compactada en capas de no más de 8 cm. Sin embargo, usualmente puede estabilizarse el pavimento inyectando bajo él, en caliente, asfalto de alto punto de reblandecimiento, procedimiento normalizado totalmente, cubierto actualmente por las especificaciones]. Si la mayor parte de la losa se ha roto, hasta tal extremo que no puede inyectarse bajo ella asfalto en caliente, debe continuarse rompiéndola hasta obtener elementos de diámetro inferior a 30 cm, apisonándolos a continuación con apisonadoras pesadas de neumáticos y cubriéndolos con una capa asfáltica de nivelación. Los pavimentos de tipo rígido suelen tener juntas prefabricadas de dilatación longitudinales y transversales. Debe eliminarse el material de estas juntas en un espesor de 5 cm por lo menos, ya que, si no, puede dar lugar a exudaciones a través de la superficie o ser empujado hacia fuera, dando lugar a la aparición de abultamientos.

**9.10 IMPORTANCIA DE EMPLEAR EL ESPESOR ADECUADO.** Cuando se aplican recargos asfálticos sobre pavimentos de tipo rígido es esencial que el espesor total de las capas asfálticas superpuestas

---

<sup>1</sup> Véase la especificación C. S. 92 del Instituto del Asfalto: «Specification for Undersealing Portland Cement Concrete Pavement».

sea suficiente para producir la resistencia necesaria y reducir al mínimo la reflexión de las grietas del pavimento de tipo rígido. El recargo se compone de **una** o varias capas de nivelación para obtener las secciones longitudinal y transversal adecuadas en las superficies antiguas y en los ensanches. **A** continuación se colocan con pavimentadoras una capa intermedia y otra de superficie de hormigón asfáltico. El espesor total de los recargos asfálticos sobre base de tipo rígido debe ser, si se desea reducir al mínimo la reflexión de las grietas, no inferior a 7,5 cm. Para obtener la resistencia adecuada de la estructura compuesta puede ser necesario un espesor superior.

## ***B) Conservación***

9.11 GENERALIDADES. Nunca se ha construido un pavimento que no exija conservación. La conservación comienza tan pronto como se termina **la** construcción de un pavimento nuevo, y es el arte de conservar un pavimento en **sus** condiciones de máxima utilidad con un mínimo de gasto y de molestias para el tráfico. Cuando **el** costo de conservación se hace mayor que el de sustitución, ésta es evidentemente la solución más indicada.

Son numerosos **los** tipos de averías que pueden presentarse en calles o carreteras. Deben determinarse los motivos de las averías tomando las medidas necesarias para corregir las causas que han dado lugar **a** los trastornos.

Probablemente, el agua es la principal causa de averías en las estructuras de los pavimentos. Por ello, el control del agua superficial y subálvea **es una** de las partes más importantes de **la labor de** conservación.

9.12 TIPOS DE AVERIAS DE LOS PAVIMENTOS. Algunos de los síntomas superficiales de los diversos tipos de averías de los pavimentos son:

1. Envejecimiento.
2. Disgregación.
3. Grietas largas.

4. Grietas en piel de cocodrilo.
5. Baches.
6. Exudación e inestabilidad.
7. Depresiones.
8. Grietas a lo largo de los bordes.

Frecuentemente se presentarán al mismo tiempo varias de estas características superficiales. A veces un tipo de avería puede evolucionar hasta convertirse en un tipo de avería más peligroso o llegar hasta la rotura o destrucción de la estructura cuando no se remedia a tiempo.

**9.13 CORRECCION DE LAS AVERIAS DE LOS PAVIMENTOS.** El encargado de la conservación dispone de gran variedad de materiales y técnicas aplicables a la corrección de los diversos tipos de averías antes indicados. Algunos de ellos, que pueden emplearse aisladamente o combinados con otros, son:

### **1. Tratamientos superficiales**

- a) Riego en negro. Emulsión diluida con agua (aplicada usualmente con una dosificación de 0,20 l de emulsión pura por metro cuadrado).
- b) Sellado con arena. Aplicación por riego de emulsión o asfalto fluidificado cubierta con arena.
- c) Sellado con gravilla. Aplicación por riego de emulsión, asfaltos fluidificados o betún asfáltico cubierta con gravilla limpia.
- d) Sellado con lechada asfáltica. Aplicación de una mezcla de arena, emulsión y agua.
- e) Tratamiento superficial múltiple.

### **2. Mezclas para bacheo**

- a) Mezclas en caliente. Aridos graduados mezclados en una instalación central o portátil con un betún asfáltico, usualmente de gran penetración, para uso inmediato.
- b) Mezclas en frío. Aridos locales mezclados en una instalación central con asfalto líquido para uso inmediato o almacenaje.

- c) Mezclas en frío almacenables. Se entiende bajo este concepto, usualmente, una mezcla *in situ* de áridos locales con asfaltos líquidos de curado medio o lento que se almacena para uso futuro.

De la lista que hemos dado puede deducirse que existen muchos tipos de averías, cuya importancia relativa puede variar considerablemente. Sin embargo, independientemente de la importancia de los daños, es axiomático que si se desea la máxima efectividad las reparaciones deben hacerse a tiempo. Cuanto más pronto se inicia la reparación de una **zona** averiada en un pavimento, más fácil y económica resulta y más beneficiosa es para toda la superficie. Esto es especialmente cierto si la superficie del pavimento está rota o agrietada, porque cuando esto ocurre el deterioro se acelera mucho y se hace posible la **entrada del agua en** la cimentación.

Aunque existen muchos **tipos**; de **averías**, también existe una amplia gama de **tratamientos** aplicables para el trabajo de reparación. Frecuentemente se obtienen los mejores resultados empleando una combinación de dos tipos distintos de tratamiento.

**9.14 TRATAMIENTOS DE CONSERVACION.** El tratamiento más común de los síntomas generales de avería es normalmente el siguiente:

**9.15 UNA SUPERFICIE ENVEJECIDA**, esto es, que está excesivamente seca, pero en la que no se ha presentado ningún fenómeno de disgregación, o lo ha hecho en medida muy leve, exigirá, en general, solamente un riego en negro.

1. Limpiar la superficie.
2. Aplicar un riego en negro de aproximadamente 0,40 l m<sup>2</sup>.
3. **Si** es necesario rellenar zonas de la superficie ligeramente disgregadas puede ser necesaria la aplicación de un sellado con lechada asfáltica.

0.16 SUPERFICIE CON INDICIOS DE DISGREGACION, en la que se aprecia pérdida de material superficial como consecuencia del desgaste producido por el tráfico. Este defecto puede deberse también al empleo de una mezcla excesivamente pobre. Probablemente podrá repararse la superficie con algún tipo de tratamiento superficial.

1. Limpiar la superficie.
2. Aplicar una capa de sellad; Si la disgregación no ha avanzado excesivamente, un riego en negro puede aportar asfalto suficiente para mantener las partículas superficiales en su sitio, evitando la continuación de la disgregación. Si ésta es más pronunciada, puede ser necesario aplicar un riego de sellado con arena, con gravilla o con lechada asfáltica.

9.17 LAS GRIETAS LARGAS pueden deberse a contracción o a asentamiento. Si su anchura es inferior a 3 mm puede ser conveniente no hacer nada, a menos que el agua pueda entrar en la base y causar daños mayores. Si la anchura de las grietas es superior a 3 mm, deben rellenarse.

1. Sacar las materias extrañas de la grieta mediante un chorro de aire comprimido (si el material contenido en la grieta es arena suelta puede dejarse, tratándose adecuadamentej).
2. Si hay zonas descascarilladas a lo largo de la grieta debe eliminarse el borde de material suelto.
3. Las grietas pueden llenarse por uno de los métodos siguientes: En las grietas limpias puede verse asfalto especial para relleno de juntas o puede hacerse una aplicación de lechada asfáltica, manteniendo la maestra flexible comprimida contra el pavimento, de forma que la lechada penetre solamente en la grieta; o llenar la grieta con una mezcla pobre de arena y asfalto que se obliga a penetrar con cepillo. En el último método debe verse en las grietas recién rellenas un asfalto líquido, de tipos RC-O o RC-1, en cantidad suficiente para cerrar la parte superior de la mezcla uniéndola al borde de la grieta.

**9.18 GRIETAS EN PIEL DE COCODRILO.** Se deben usualmente a un fallo de la base o a la existencia de un terreno excesivamente flexible formando colchón. Existen tres procedimientos de reparación normalmente empleados, de los que sólo uno puede considerarse como una corrección permanente. Los otros dos deben considerarse normalmente sólo como remedios de urgencia cuando no pueden hacerse inmediatamente las reparaciones definitivas.

### **1. Bacheo profundo (reparación permanente)**

- a) Se elimina el material de superficie y de base en la zona agrietada hasta la profundidad a que se ha producido el fallo de la base. En algunos casos esto puede significar que habrá que eliminar también parte del terreno natural situado bajo la base. Frecuentemente se observará, en esta etapa de la reparación, que la avería se debe a la acción del agua. Si ~~es~~ así, deben tomarse las medidas necesarias para eliminarla.
- b) Al eliminar las capas de base y de superficie debe extenderse la excavación al menos **30 cm** por fuera del perímetro de la zona agrietada, para que la reparación esté unida a material sólido en todo su perímetro. Si no se hace así, se producirán de nuevo las grietas en piel de cocodrilo alrededor del borde del remiando, usualmente en una zona de **15 a 30 cm** de anchura alrededor **de** él.
- c) Al extraer el material de la zona a reparar, las caras cortadas deben ser rectas y verticales. Debe darse a la excavación tal forma que exista en **la** dirección del tráfico un apoyo rectangular, contra el que pueda colocarse el material de relleno.
- d) Se rellena la zona excavada con una buena base granular, compactada en capas, **si** es necesario. Si no se dispone de un material de base con buena granulometría debe hacerse el relleno con el material local más adecuado de

que se disponga. En algunos casos, cuando la zona a rellenar no es demasiado profunda, puede hacerse todo el relleno con la misma mezcla que vaya a emplearse para la capa de superficie.

- e) Se aplica una imprimación a la superficie de la base granular.
- f) Se termina la capa de superficie con una mezcla asfáltica. Es preferible que se trate de un material mezclado en caliente, pero si no se dispone de material de este tipo puede emplearse, con resultados satisfactorios, una mezcla en frío.
- g) **Sea cual** fuere el material empleado, cada capa debe compactarse perfectamente.

## **2. Parche superficial (reparación provisional)**

- a) Se barre la superficie de la zona agrietada.
- b) Se aplica un riego de adherencia.
- c) Se aplica a esta zona una capa muy delgada de mezcla asfáltica (en este caso también es preferible que se trate de mezcla en caliente, pero si no se dispone de ella puede emplearse mezcla en frío). **Al** aplicar este tipo de reparación debe tenerse cuidado de terminar cuidadosamente los bordes, eliminando las partículas de áridos gruesos antes de **la** compactación final.
- d) Se compacta el remiendeo superficial. Puede hacerse satisfactoriamente haciendo pasar repetidas veces las ruedas del camión que transporta la mezcla. Si la superficie a reparar es grande debe hacerse la compactación con una apisonadora. (Las apisonadoras de neumáticos son muy eficaces.)

## **3. Tratamiento superficial con áridos de cubrición (reparación provisional)**

- a) Se barre la superficie a tratar hasta dejarla perfectamente limpia.
- b) Se aplica por riego la cantidad de asfalto nece-

saría. Usualmente es conveniente el empleo de 0,60 a 1,00 l/m<sup>2</sup>; sin embargo, si se pierde a través de las grietas una cantidad excesiva de asfalto, puede emplearse una cantidad ligeramente superior.

- c) **Se aplican los áridos de cubrición.**
- d) **Se apisona el tratamiento superficial con apisonadoras de neumáticos.**
- e) **Si es necesario elevar el nivel de la zona reparada hasta el de las zonas adyacentes del pavimento, puede aplicarse un segundo riego superficial.**

9.19 **LOS BACHES** son roturas de la superficie que penetran hasta la base o por debajo de ella. Existen dos métodos generales de reparación:

### 1. **Con mezcla asfáltica**

- a) **Se limpia el bache perfectamente por barrido.**
- b) **Se modifica la forma del bache, si es necesario, para obtener, en la dirección del tráfico, un apoyo vertical contra el **que** pueda apoyarse el material de relleno. Los costados del orificio deben ser **aproximadamente** verticales.**
- c) **Se imprima el bache con emulsión o un asfalto fluidificado ligero.**
- d) **Se rellena el hueco con mezcla asfáltica. Si el agujero es profundo, debe colocarse y compactarse la mezcla en capas. Una vez terminado, el material de relleno debe sobresalir de 3 a 6 mm por encima de las zonas vecinas del pavimento.**
- e) **La compactación puede lograrse con pisones o, si es posible, haciendo pasar sobre la mezcla las ruedas del camión que ha transportado la mezcla.**

### 2. **Por penetración**

- a) **Se limpia el bache perfectamente por barrido.**
- b) **Se modifica su forma, si es necesario, para**

obtener un borde vertical en la dirección del tráfico sobre el que pueda apoyarse el material de relleno.

- c) Se imprima el bache.
- dj) Se rellena con piedra y asfalto en aplicaciones sucesivas. En este método deben colocarse en el agujero primeramente la piedra, que se fija en su posición por compactación, aplicando a continuación el asfalto. Hay que tener cuidado de emplear la mínima cantidad posible de asfalto para evitar exudaciones posteriores.
- e) Una vez se ha llegado con el relleno hasta el nivel del pavimento adyacente, se extiende sobre su superficie detritus de machaqueo y se apisona sin aplicar más asfalto.

9.20 EXUDACION E INESTABILIDAD. Se producen usualmente en pavimentos que contienen un exceso de asfalto o como consecuencia del empleo de un exceso de material asfáltico en la aplicación de un tratamiento de sellado. Esto da lugar a la aparición de una superficie resbaladiza como consecuencia de la excesiva cantidad de asfalto. También puede dar lugar a ondulaciones de la superficie debidas a inestabilidad. Debe eliminarse el exceso de asfalto.

### **1. Eliminar el exceso de asfalto de la superficie**

- a) El exceso de asfalto y las ondulaciones pueden arrancarse en frío con una motoniveladora o una máquina especial. Naturalmente, esto no es siempre posible, ya que la naturaleza de la superficie ha de ser adecuada para este tratamiento.
- b) Se ha empleado con éxito un tipo de máquina regularizadora de discos combinada con una hoja recta montados sobre una motoniveladora. En este tipo de máquina la mayor parte de la eliminación de material se hace mediante los discos, mientras que la hoja, situada inmedia-

tamente detrás, regulariza la superficie resultante.

- c) Eliminar el exceso de asfalto con una máquina regularizadora en caliente. Esta máquina calienta la superficie del pavimento antes de arrancar su parte superior con una serie de hojas. Se emplea más frecuentemente en pavimentos urbanos que en carreteras en campo abierto. Realmente es el método más costoso de reparación.

## 2. Después de eliminar la superficie el pavimento puede dejarse sin más tratamiento.

Sin embargo, de esta forma se obtiene un pavimento de textura superficial muy áspera que puede no ser deseable.

## 3. Aplicar una nueva superficie

- a) Es preferible la aplicación de una nueva capa de superficie de mezcla asfáltica en caliente.
- b) Puede emplearse satisfactoriamente un sellado con lechada asfáltica.
- c) También puede aplicarse un tratamiento superficial con gravilla.

**9.21 LAS DEPRESIONES** se producen usualmente como consecuencia **de** asentamientos del terreno. Pueden ser ondulaciones alargadas o tener lados cortados bruscamente como consecuencia **de** bruscos movimientos de tierra. En algunos casos puede existir una diferencia brusca de nivel entre **las** diversas partes del pavimento. Generalmente, es necesario reponer de alguna forma la uniformidad **de** la superficie.

### 1. Con mezcla asfáltica

- a) Debe barrerse la superficie de la zona hundida hasta dejarla perfectamente limpia.
- b) Se aplica un riego de adherencia ligero.
- c) Se llena la depresión con mezcla asfáltica (preferiblemente en caliente). En **las zonas hundi-**

das alargadas el mejor sistema es verter el material desde los camiones y extenderlo con motoniveladora. En las depresiones de menor superficie puede colocarse la mezcla en caliente a mano, apisonándola a continuación.

- d) En algunos casos es conveniente aplicar un sellado con arena sobre la mezcla colocada en **la** zona hundida, extendiendo el sellado aproximadamente **30 cm** por fuera de la reparación. De esta forma se evita la posibilidad de que pueda penetrar agua bajo el material de relleno, donde causaría perjuicios por no tener posibilidad de salir.

**9.22 AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL EN LOS BORDES.** Generalmente es debido a la falta de sustentación lateral de los arcenes de tierra. También puede deberse a variaciones excesivas de humedad a lo largo del borde del pavimento. La reparación de este tipo de averías se reduce realmente a sistemas de conservación preventiva que evite el agrietamiento. Este tipo de molestias se reduce al mínimo pavimentando los arcenes. Cuando los arcenes no están pavimentados su conservación cuidadosa eliminará normalmente la necesidad de reparaciones. La conservación depende del grado de deterioro. En algunos casos puede *ser* suficiente un sellado con arena o grava. En casos más avanzados será necesario rellenar las grietas o aplicar un parche superficial, o sustituir el pavimento completo. Cualquiera que sea la reparación, el arcenes debe mejorarse de forma que sustente lateralmente el borde del pavimento.

**9.23 INYECCION DE ASFALTO BAJO PAVIMENTOS DE HORMIGON HIDRAULICO.** La inyección de asfalto bajo pavimentos de hormigón de cemento Portland para evitar la filtración del agua a través de las juntas y grietas del pavimento, o su acumulación bajo las losas cuando procede del terreno, debe realizarse a los primeros síntomas de averías. La acumulación bajo un pavimento de hormigón de agua que procede de la superficie o del terreno, reduce el poder portante de éste, permitiendo deflexiones exce-

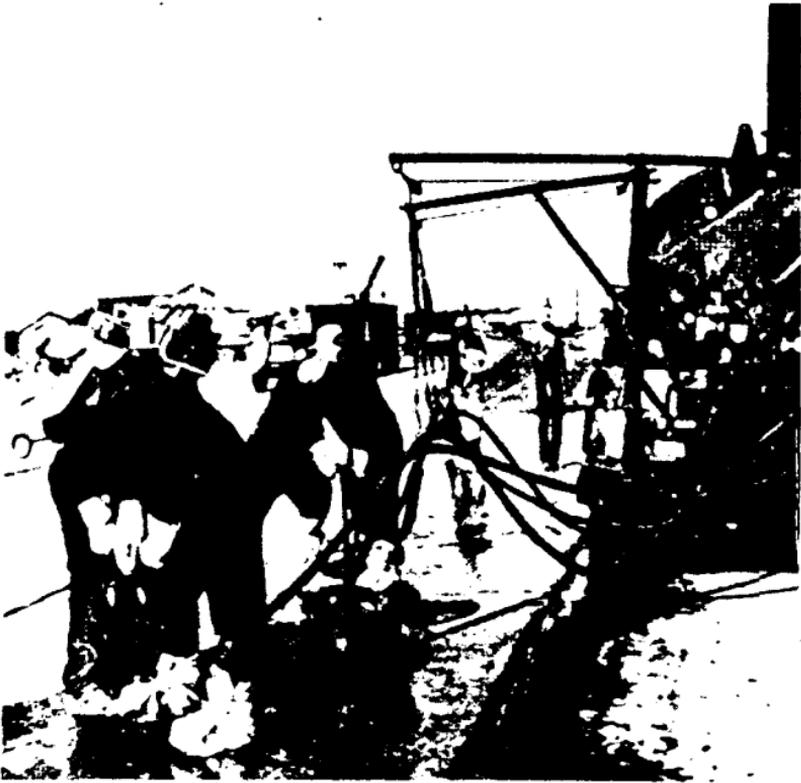


Figura IX-2. Inyección de asfalto caliente bajo pavimentos de hormigón hidráulico.

sivas y dando lugar al agrietamiento y rotura del pavimento. Esto es particularmente importante en los bordes y ángulos de las losas, donde las cargas repetidas tienden a producir una compactación adicional del terreno, dejando cavidades en las que puede acumularse el agua superficial, reblandeciéndolo. La aplicación de un sellado efectivo de las juntas y bordes, antes de que este estado se agrave, es altamente deseable como medida preventiva de conservación.

La detección de las deficiencias o cavidades del terreno en sus principios puede ser a veces **difícil** y requerir el ojo experto de un ingeniero **de** conservación debidamente preparado, además de un cuidadoso estudio de campo. El momento ideal para observar cualquier tendencia al movimiento de las losas es **inmedia-**

tamente después de una lluvia intensa, o tan pronto como se ha secado la superficie del pavimento, después de ella, ya que podrá observarse la aparición de agua a través de la junta o por los bordes del pavimento bajo los efectos del tráfico. Cuando este estado se agrava progresivamente aparece en la superficie de las losas, primeramente, agua turbia, y, finalmente, fango. Otros síntomas son el ruido hueco producido por el paso de un vehículo sobre una cavidad o el asentamiento de una losa en las juntas, que puede dar lugar, incluso al principio de estos fenómenos, a una superficie irregular y, finalmente, a la rotura de la losa, que comienza con grietas en los ángulos y bordes.

La inyección de asfalto bajo los pavimentos de hormigón de cemento Portland se hace, normalmente, simultáneamente con la cubrición del hormigón mediante una mezcla asfáltica en caliente. Como deben estabilizarse todas las losas y superficies de hormigón tan completamente como sea posible, siempre es aconsejable recubrir con asfalto, tan pronto como sea posible, después de inyectar.

9.24 MAQUINARIA NECESARIA. En una organización elemental mínima de conservación es necesaria la siguiente maquinaria:

Un distribuidor a presión aislado con tanque de capacidad no inferior a 2000 l, provisto de:

Termómetro de mercurio.

Manómetro.

Bomba rotativa accionada por motor.

Tuberías de circulación de asfalto formando circuito cerrado.

Una o varias válvulas de entrega de asfalto.

Nota: Algunos contratistas pueden desear hacer funcionar dos lanzas regadoras con un solo distribuidor.

Una caldera de calentamiento de capacidad suficiente para atender al equipo.

Nota: Este material no es necesario si se recibe el asfalto en obra a la temperatura deseada.

Un camión tanque aislado con calentadores para servir asfalto al distribuidor en el tajo.

Nota: Este aparato sólo **es** preciso en puntos situados a gran distancia del punto de suministro. Un compresor de capacidad suficiente para hacer funcionar dos martillos perforadores provistos de una manguera de aire suplementaria para eliminar el polvo de los agujeros por soplado.

Una o dos boquillas de tipo adecuado que cierren perfectamente el orificio del pavimento cuando se colocan en él y a través de las que se bombea el asfalto, provistas de una válvula de regulación adecuada que controle adecuadamente la penetración de asfalto en caliente bajo el pavimento de hormigón. Los aplicadores deben estar provistos de:

Manguera metálica flexible para conectar la boquilla al distribuidor de asfalto.

Ropa de seguridad adecuada para los operarios.

Tapones de madera **para** cerrar los orificios y otras **pequeñas** herramientas diversas y camiones **auxiliares**.

Banderas y barreras para el control del tráfico.

El número y tamaño de los diversos elementos necesarios dependerá del volumen de trabajo a realizar y de los días con que se cuenta para realizar todas las operaciones, y debe exigirse del contratista, que organice su trabajo de forma que cumpla los términos del contrato.

**9.25 REGLAMENTO DE SEGURIDAD.** Deben observarse todos los reglamentos y normas ordinarios en el funcionamiento de los distribuidores a **presión**, y además, deben tomarse precauciones especiales en el manejo de la manguera y boquilla de asfalto, extremadamente calientes. Los trabajadores deben contar con caretas y guantes de amianto adecuados. Llevarán también ropa suficientemente gruesa para protegerlos del asfalto caliente, que cierre perfectamente alrededor de tobillos, muñecas y cuello. Al bombear el asfalto no se emplearán presiones superiores a las necesarias para lograr los resultados deseados. El ingeniero debe fijar y obligar a cumplir estas exigencias en cuanto a seguridad, y todas las demás normalmente empleadas.

**9.26 SEPARACION DE LOS ORIFICIOS.** En general, cuando existen cavidades pequeñas o no existe asentamiento de la losa, deben perforarse los orificios de 30 a 50 cm de la grieta o junta transversal. Cuando se ha producido asentamiento deben perforarse orificios a una distancia de 60 a 75 cm de la grieta o junta. Un orificio a 90 cm de la grieta transversal, en el centro de la banda de tráfico, puede levantar satisfactoriamente la losa, así como permitir inyectar bajo ella incluso en los casos más graves. Si es necesario obtener un recubrimiento total de la losa por debajo, además de los orificios **que** hemos descrito junto a las juntas, deben perforarse orificios longitudinalmente, separados a distancias de 3,5 a 7 m, dependiendo del estado del pavimento, alternadamente a uno u otro lado del eje de la carretera, y aproximadamente a 1 m de ella.

Si el costo de perforación es bajo puede ser aconsejable perforar orificios según una distribución previamente estudiada, y aproximadamente uno por cada 10 m<sup>2</sup> de pavimento. Empleando una distribución de este tipo probablemente no será necesario inyectar asfalto en más de dos tercios de los orificios, sirviendo los restantes como comprobación de la distribución del asfalto, pudiendo taparse cuando éste aparece a través de ellos.

En losas para pistas de aeropuertos los orificios deben perforarse a lados alternos de las juntas y con una distancia entre centros de 3,5 m, aproximadamente. Empleando este método no han surgido dificultades por romperse losas durante la inyección. Teniendo en cuenta las circunstancias especiales de cada caso pueden estudiarse otras distribuciones, pero debe tenerse cuidado para evitar la rotura de las losas.

**9.27 CONTROL DE LA TEMPERATURA DEL ASFALTO.** Dentro del margen fijado por las espe-

9.28 PRECAUCIONES DURANTE EL BOMBEO DE ASFALTO. Debe tenerse cuidado de evitar que las losas se eleven más de lo deseado. Para evitar que las redes de drenaje se cieguen cuando se trabaja cerca de las bocas de hombre, drenes o alcantarillas, deben tomarse las precauciones precisas para que no se bombee asfalto al interior de estos elementos.

9.29 CANTIDAD DE ASFALTO. La cantidad de asfalto necesaria empleando este método varía según el estado del pavimento y el terreno en el momento de la operación<sup>1</sup>.

Cuando solamente existen cavidades de pequeña importancia y el movimiento de la losa no ha dado lugar a las vibraciones fuertes, pueden obtenerse resultados completamente satisfactorios con unos 2 l/m<sup>2</sup> o 60 a 80 l por junta. Pueden ser necesarios hasta 160 a 200 l por junta o posiblemente 6 l/m<sup>2</sup> cuando existen averías más importantes. Las juntas con vibraciones fuertes o las losas hundidas pueden exigir hasta 200 a 300 l por junta para levantar y sellar Completamente el pavimento o la losa.

9.30 JUNTAS Y GRIETAS. Los programas de inyección bajo las losas no deben confundirse con las operaciones normales (sobre la losa) de sellado de juntas y grietas. Si las juntas y grietas necesitan la aplicación de un sellado, esta operación debe realizarse antes de la inyección inferior, y por separado.

9.31 REFERENCIAS. Se puede obtener más información acerca de la construcción por etapas, reconstrucción y conservación de estructuras de pavimentos de las siguientes publicaciones técnicas del Instituto del Asfalto:

1. *Thickness Design-Asphalt Pavement Structures for Highways and Streets*, Manual Series núm. 1 (MS-1).
2. *Asphalt Paving Manual*, Manual Series núm. 8 (MS-8).

---

<sup>1</sup> Respecto al tipo de asfalto, véase la publicación del Instituto del Asfalto «Specification for Asphalt Cements and Liquid Asphalts» (S-2).

3. *Asphalt Pavements for Airports*, Manual Series núm. 11 (MS-11).
4. *Asphalt Surface Treatments and Asphalt Penetration Macadam*, Manual Series núm. 13 (MS-13).
5. *Asphalt Mixed-in-Place (Road-Mix) Manual*, Manual Series num. 14 (MS-14).
6. *Undersealing Portland Cement Concrete Pavements with Asphalt*, Construction Series núm. 92 (CS-92).

# Capítulo X

## ELEMENTOS ACCESORIOS DE LA CARRETERA

10.01 GENERALIDADES. Entre los importantes elementos accesorios asfálticos de la moderna construcción de calles y carreteras citaremos:

- A) Arcenes pavimentados o tratados.
- B) Bordillos a lo largo de los arcenes.
- C) Cunetas y desagües pavimentados.
- D) Taludes pavimentados.
- E) Revestimientos pavimentados.
- F) Bordillos y desagües.
- G) Aceras.

El asfalto se emplea también en ciertos tipos de control de la erosión como aglomerante para recubrimientos de paja para los sembrados y en el control de la erosión eólica en las zonas desérticas. (Véase el cap. XV.)

### ***A) Arcenes pavimentados o tratados***

10.02 ARCENES. La investigación y la experiencia han demostrado que un arcén pavimentado con asfalto no sólo constituye un excelente elemento accesorio de seguridad, sino que proporciona una elevada sustentación lateral que aumenta la resistencia del pavimento propiamente dicho. Es práctica cada vez más extendida extender completamente hasta el borde del arcén durante la construcción inicial el mismo material empleado en la cubbase, base, e incluso en la superficie del pavimento (véase la fig. X-1). Esto permite una consolidación uniforme de cuneta a cuneta, y elimina posibles asentamientos y la infiltración de agua bajo el borde del pavimento. Además, facilita enormemente las operaciones de ensanche que puedan ser necesarias en cualquier época posterior.

El proyecto de **los** arcenes depende del volumen e intensidad de tráfico. En las carreteras para tráfico pesado es esencial que **los** arcenes tengan anchura suficiente para que quepan en ellos **los** vehículos mayores, y que sean suficientemente resistentes para soportar sus cargas sin deformación o disgregación.



**Figura X-1. Pavimentación de arcenes en la totalidad de la anchura.**

En las superficies de hormigón asfáltico, que tanto se emplean actualmente, la experiencia **ha** indicado que es mejor extender el mismo tipo de material de superficie a toda la anchura del arcén, marcando, mediante una línea blanca o amarilla pintada sobre la superficie, el borde del pavimento propiamente dicho, delimitan-



**Figura X-2. Los automovilistas agradecen entusiásticamente que se marquen los bordes de los arcones en toda su longitud como medida de seguridad en la autopista de peaje de Massachusetts.**

do el arcén (véase, autopista de peaje de Massachusetts, fig. X-2). Si se desea mayor contraste puede obtenerse mediante un tratamiento superficial del arcén empleando áridos de color.

Una carretera secundaria puede exigir simplemente materiales granulares bien consolidados en cierta anchura, que sólo a intervalos debe ser suficiente para permitir a los vehículos salirse de la calzada. El que estos arcenes necesiten o no un tratamiento o pavimentación asfálticos depende en gran manera de la sensibilidad a la erosión de los materiales no tratados y de lo que costaría su sustitución.

### ***B) Bordillos al borde de los arcenes***

10.03 BORDILLOS AL BORDE DE LOS ARCENES. En las autopistas modernas y en las carreteras de primer orden es frecuente construir en los terraplenes bordillos asfálticos al borde exterior de los arcenes para evitar su erosión. Estos bordillos se construyen con encofrados deslizantes semejantes a los empleados en los bordillos de las calzadas, y se emplea una mezcla similar de áridos y asfalto. El agua recogida por estos bordillos se elimina después a través de desagües revestidos de asfalto.

### ***C) Cunetas y desagües pavimentados***

10.04 CUNETAS Y DESAGÜES. Las cunetas son zanjas paralelas a las carreteras situadas al pie de los terraplenes o entre las zonas pavimentadas correspondientes a las dos direcciones en las autopistas de tipo dual, con franja intermedia a nivel inferior. Pueden ser tan anchas y de pendientes tan suaves que la plantación de hierba resulte protección suficiente. Sin embargo, en terreno accidentado existen muchas zonas que **es** necesario pavimentar para evitar una costosa erosión. También **es** deseable a veces construir cunetas en el borde superior de las trincheras para evitar la erosión e incluso importantes corrimientos de tierras.

Anteriormente nos hemos referido a los desagües que permiten eliminar el agua caída sobre el pavimento. En todos los casos estas cunetas deben ser suficientemente anchas y tener tal trazado que eliminen sin dificultad las precipitaciones más importantes.

En algunos casos pueden ser necesarias, para eliminar completamente las precipitaciones de la zona de tráfico, cunetas muy grandes. El tipo de revestimiento depende de la pendiente y del tipo de suelo. En las zonas de suelo muy sensible a la erosión es de suma importancia elegir cuidadosamente la solución. En general, los mejores resultados se obtienen con mezclas en caliente, aunque también se ha empleado con éxito el macadam por penetración. Para asegurar la durabilidad y la impermeabilidad de los revestimientos es necesario emplear contenidos de asfalto elevados. No es tan importante una gran estabilidad como la durabilidad y la capacidad de adaptación sin agrietamiento a pequeños asentamientos del terreno.

## ***D) Taludes pavimentados***

10.05 PAVIMENTACION DE LOS TALUDES. La pavimentación de los taludes puede ser de dos tipos generales:

1. Se revisten los taludes de los desmontes por encima de la cuneta, para evitar el descalzamiento y los consiguientes deslizamientos. Este revestimiento es una extensión del borde exterior de la cuneta, aunque puede ser de diferente espesor. **Su** característica esencial, además de una composición suficientemente densa y un elevado contenido de asfalto, es un anclaje firme que evite la intrusión de agua.
2. Los taludes de los terraplenes se revisten para evitar la erosión. Un tipo de revestimiento de taludes es el empleado bajo los bordes de los puentes de tipo abierto. Otro es el empleado en revestimientos de presas. El revestimiento de los taludes con una mezcla asfáltica en caliente, de

tipo abierto, con elevado contenido de asfalto, permite la eliminación de la humedad del terraplén por evaporación.

### ***F) Bordillos y regueras de asfalto***

10.07 GENERALIDADES. Los bordillos y regueras de asfalto se han extendido cada vez más como accesorios de la pavimentación de nuevas carreteras y calles en este período de actividad constructiva acelerada.

Presentan ventajas evidentes sobre los otros tipos:

1. Su construcción es más económica.
2. Son más fáciles de construir.

3. Pueden construirse mucho más rápidamente.
4. No son afectados **por** los productos químicos empleados contra el hielo y **para** la fusión de la nieve.

La mayor parte de los bordillos y regueras de asfalto se han construido últimamente con máquinas automáticas. Estas máquinas extienden, compactan y terminan por completo bordillos rectos o curvos para calles, islotes de tráfico y zonas de aparcamiento.

No son necesarios encofrados. Varios moldes intercambiables permiten elegir entre una amplia gama de formas de bordillos.

10.08 FUNCIONAMIENTO DE LA MAQUINA DE CONSTRUIR BORDILLOS. Es práctica usual marcar con cuerdas o tiza líneas de guía sobre la cimentación, que en la mayor parte de los casos es un pavimento existente.

Se vierte el hormigón asfáltico en caliente en la tolva de la máquina. Un tornillo, accionado por un motor de

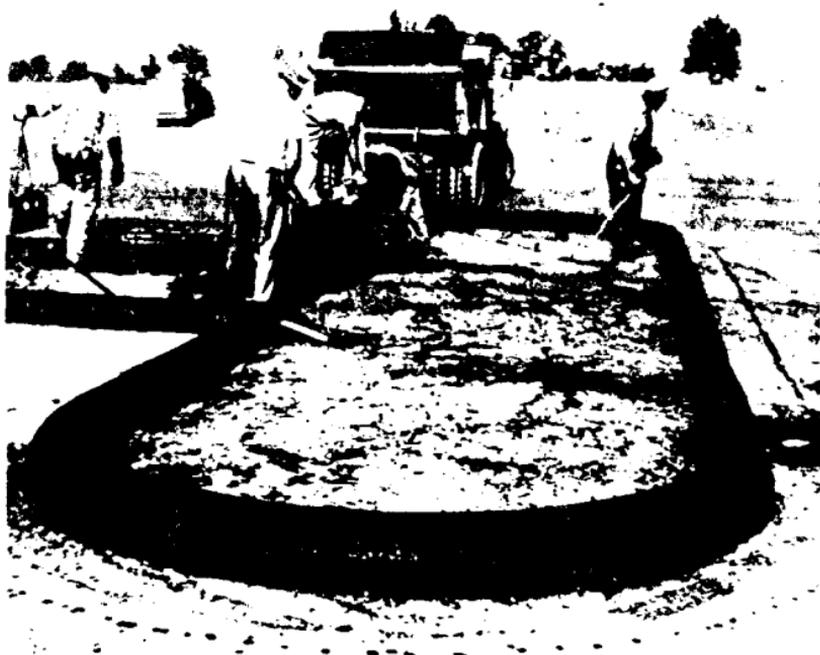


Figura X-3. Los bordillos y regueras de asfalto se pueden colocar fácilmente y a bajo precio con las máquinas de construir bordillos.

gasolina, empuja la mezcla a presión a través del molde. La presión compacta el bordillo y hace que la máquina avance.

Sólo son necesarios dos o tres hombres para realizar la operación. Uno de ellos guía la máquina a lo largo de la línea de referencia, mientras que los otros dos mantienen la tolva llena de mezcla asfáltica.

**10.09 MATERIALES. ARIDOS Y ASFALTO.** Para obtener una mezcla de óptima calidad para construcción de bordillos deben emplearse áridos de buena granulometría y calidad, suficiente polvo mineral y una cantidad adecuada de asfalto. La granulometría de los áridos y los límites del contenido de asfalto deben ser los siguientes:

<i>Tamaño del tamiz</i>	<i>Porcentaje que pasa en peso</i>
4''	100
1''	86-100
3/4''	75-100
Núm. 4	60-80
Núm. 8	45-60
Núm. 50	18-30
Núm. 200	5-15
Betún asfáltico (penetración 60-70)	5,5-8,0 % en peso de mezcla total <sup>1</sup>

Debe fijarse la granulometría de los áridos y el contenido de asfalto. Cuando sea preciso se harán correcciones para obtener un bordillo terminado de la estabilidad necesaria con la textura superficial deseada y un contenido de huecos relativamente bajo (5-10 %).

La penetración y cantidad de betún asfáltico son factores de gran importancia en la obtención de mezclas para bordillos satisfactorias. Aunque el Instituto del Asfalto recomienda la penetración **60-70**, también se ha empleado con éxito en estas mezclas betún de tipo **85-100** con la adición de aproximadamente, el 15 % (sobre el contenido de asfalto) de asfalto en polvo. La cantidad de asfalto debe ser algo superior a la empleada normalmente en mezclas para pavimentación, porque los bordillos asfálticos no pueden com-

---

<sup>1</sup> Este límite superior puede elevarse cuando se empleen escoria u otros áridos absorbentes.

pactarse tanto como los pavimentos. Las mezclas para bordillos requieren normalmente de 0,5 a 1,0 % más de asfalto que las mezclas para pavimentación de la misma granulometría.

**10.10 PREPARACION DE LA CIMENTACION PARA EL BORDILLO.** Los bordillos asfálticos se construyen normalmente sobre la superficie del pavimento. Salvo cuando se aplican sobre pavimentos asfálticos recién construidos, con la superficie aún adherente y libre de polvo, en general, antes de construir el bordillo, se aplicará una capa de adherencia ligera.

Esta capa de adherencia no debe extenderse en una franja demasiado ancha ni con una dosificación excesiva. Estos defectos pueden dar lugar a una alineación defectuosa del bordillo o a mala adherencia a la base.

**10.11 COLOCACION DE LA MEZCLA.** Un factor muy importante en la adecuada construcción de los bordillos de asfalto es la temperatura de la mezcla en el momento de la aplicación. Si ésta es demasiado baja no será posible obtener la compactación adecuada. Si es demasiado elevada el bordillo puede desmoronarse.

En general, la temperatura de colocación no debe superar los 130 °C. En las etapas iniciales de la construcción debe reajustarse la temperatura hasta conseguir la más adecuada. No son necesarias juntas de dilatación.

**10.12 APLICACION A MAQUINA.** En general el trabajo mecanizado no exige compactación adicional. En las zonas en que es evidente que la compactación es insuficiente debe retocarse la mezcla, cargar la máquina con peso adicional o tomar otras medidas que permitan obtener la compactación adecuada. En los bordillos construidos a máquina no son necesarios encofrados laterales. Para obtener una sustentación adecuada en los bordes del pavimento, el borde exterior del bordillo debe distar de ellos al menos 25 mm.

Deben evitarse las mezclas demasiado arenosas o aplicadas demasiado calientes. En ambos casos el material puede no ofrecer suficiente resistencia al empuje de la máquina, y como resultado tenderá a desmoronarse. La mezcla debe tener estabilidad suficiente para

proporcionar a **los** bordillos algo sobre lo que apoyarse y que no ceda.

Nunca debe mantenerse la máquina en funcionamiento mientras espera la llegada de los camiones. La vibración de la máquina inmóvil puede hacer que se desmorone el bordillo ya construido, dando lugar al menos a un asentamiento.

No debe dejarse la mezcla en la tolva mientras la máquina no está funcionando. Si se hace así puede enfriarse por debajo de la temperatura adecuada para **su** colocación.

**10.13 BORDILLO CONSTRUIDO A MANO.** Pueden construirse bordillos y regueras a mano empleando maestras de la forma adecuada. La mezcla asfáltica en caliente se coloca a mano contra el molde y se corta haciendo deslizar contra la maestra una regla. A continuación se compacta el material por vibración o apisonado. En algunos casos se emplea un borde frontal y la mezcla en caliente se pone en posición por vertido. Los bordillos construidos a mano no son tan satisfactorios como **los** construidos a máquina.

**10.14 JUNTAS.** A menos que las condiciones locales exijan otra cosa, la construcción de bordillo asfáltico a la temperatura especificada debe ser una operación continua, avanzando en una dirección única, de tal forma que se eviten las juntas de construcción. Sin embargo, cuando esto no **es** posible, deben hacerse las juntas, por ejemplo, entre el trabajo de días sucesivos, de tal forma que se asegure una unión perfecta entre el bordillo de diversos días. Toda **la** superficie del bordillo antiguo debe pintarse, cubriéndola con un revestimiento uniforme y delgado de material asfáltico en caliente inmediatamente antes de aplicar a la junta el nuevo material.

**10.15 CURADO.** El bordillo recién construido debe protegerse del tráfico mediante barreras o cualquier otro método adecuado, hasta que se haya disipado el calor de la mezcla asfáltica y ésta haya alcanzado el grado adecuado de dureza.

**10.16 RELLENO.** Tan pronto como el bordillo asfáltico haya alcanzado su dureza definitiva debe rellenarse por detrás. El relleno debe hacerse con mate-

rial adecuado colocado y apisonado en capas de no más de 10 cm de espesor.

**10.17 PINTADO DE BORDILLOS.** Si se piensa pintar el bordillo deben observarse ciertas precauciones. En primer lugar solamente debe aplicarse un tipo de pintura especialmente adecuado al empleo sobre una mezcla asfáltica. Las pinturas al aceite pueden reblandecer las mezclas asfálticas, y una película gruesa de pintura de este tipo tiende a reblandecer y agrietar el bordillo. Sin embargo, si se aplica primeramente una ligera imprimación de una pintura de aluminio con base asfáltica, puede usarse después cualquier tipo de pintura sin efectos perjudiciales. Se recomiendan las pinturas de color con base asfáltica, preferiblemente aplicadas por pulverización. También se han empleado con éxito algunas pinturas de tipo emulsión.

**Si** el bordillo terminado tiene una textura abierta o está envejecido, puede aplicarse un revestimiento de emulsión asfáltica o una lechada asfáltica para evitar la absorción de humedad y mejorar su apariencia. Puede prepararse una pintura adecuada para este tipo de tratamiento mezclando al 50 % agua y emulsión asfáltica de tipos SS-1 o SS-1h.

## **G) Aceras**

**10.18 GENERALIDADES.** El empleo del asfalto es un método económico de construir aceras duraderas. Pueden emplearse diversos tratamientos, pero el material más frecuentemente empleado en el revestimiento de las aceras es el hormigón asfáltico, que puede colocarse con gran facilidad sobre una cimentación con preparación mínima. Aunque no es absolutamente necesario, el aspecto de la acera terminada se mejora considerablemente empleando encofrados laterales para obtener bordes cortados limpiamente cuando se emplean métodos de colocación a mano. Si se desea, puede teñirse de verde o de rojo la superficie de la acera mediante la aplicación de másticos asfálticos, especialmente pigmentados.

**10.19 ANCHURA.** La anchura mínima de las

aceras debe ser, en general, la de 1 m, **que** permite a dos personas caminar una al lado de otra. En carreteras con mucho tráfico de peatones debe dárseles una anchura de 1,20 a 1,50 m. La uniformidad de esta anchura es deseable, pero no necesaria, siendo admisible el estrechamiento cuando el no aplicarlo resulte muy costoso.

10.20 DRENAJE. Las aceras deben tener una pendiente del **2 al 3** %, hacia el pavimento, y aproximadamente el doble hacia el exterior, para asegurar la rápida eliminación de las agua de lluvia.

10.21 REVESTIMIENTO DE LAS ACERAS. Las aceras pueden pavimentarse con los siguientes materiales: hormigón asfáltico, macadam asfáltico, mezcla asfáltica en frío, mezcla asfáltica *in situ* y tratamientos asfálticos superficiales.

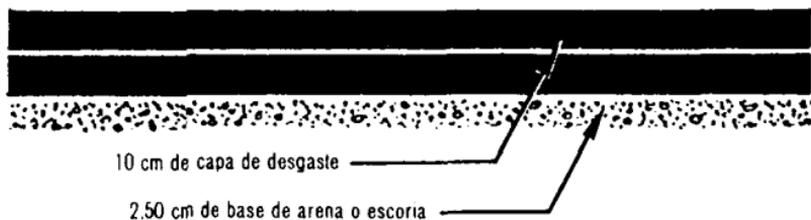
La selección del tipo de superficie, teniendo en cuenta la duración deseable y el costo, son aproximadamente las mismas que en carreteras. Frecuentemente el hormigón asfáltico es el material preferible como consecuencia de su facilidad de construcción con las pequeñas pavimentadoras de que ahora se dispone, su larga vida, su regularidad y otras características deseables.

10.22 ESPESOR. En la figura **X-4** se indican los espesores de las aceras construidas con materiales asfálticos. Estos espesores pueden modificarse teniendo en cuenta las condiciones locales del terreno, humedad, posibilidad de heladas y materiales disponibles.

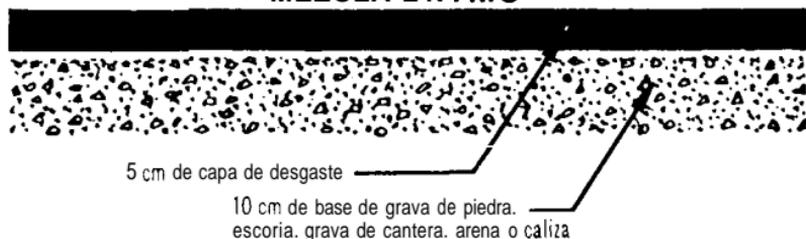
10.23 MATERIALES PARA LA CAPA DE BASE. Usualmente son adecuados como bases para aceras la piedra machacada, escorias, grava, zahorras, arenas, etc. En los cruces de carreteras el espesor de las capas de base indicadas en la figura **X-4** debe aumentarse, haciéndolas adecuadas para el tráfico previsto.

10.24 COMPOSICION DE MEZCLAS PARA ACERAS. Los hormigones asfálticos para aceras son usualmente de granulometria densa o con material fino. La publicación del Instituto del Asfalto *Specifications and Construction Methods for Hot Mix Asphalt Paving for Streets and Highways*, Asphalt Institute Specification Series número 1, da especificaciones completas de

### HORMIGON DE ASFALTO



### MEZCLA EN FRIO



### BLOQUES ASFALTICOS

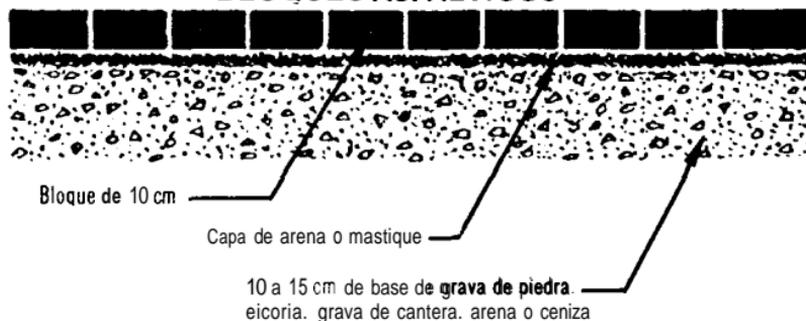


Figura X-4. Espesor de las aceras.

los materiales empleados en los hormigones asfálticos y otras mezclas que puedan emplearse. La publicación *Mix Design Methods for Hot Mix Asphalt Paving*, Asphalt Institute Manual Series número 2, describe el proyecto de las mezclas asfálticas. Las mezclas para pavimentación de aceras **que han de** estar sometidas a tráfico muy ligero deben contener **de un 1 a un 2 %** de fango más **que** el usual **en** pavimentos normales.

**10.25 COMPACTACION DE LOS MATERIALES EMPLEADOS EN PAVIMENTACION DE ACERAS.** En la construcción de aceras con mezclas asfálticas es esencial la perfecta compactación de la mezcla. Normalmente se recomienda el empleo de maquinaria de compactación del tipo normal empleado en carreteras.

**10.26 CONSERVACION DE LAS ACERAS.** Normalmente, el único tratamiento de conservación que requieren las aceras de hormigón asfáltico es un riego en negro cada 5 a 10 años.

**10.27 REFERENCIAS.** A continuación se indican otras publicaciones técnicas del Instituto del Asfalto que contienen información sobre los elementos accesorios de la carretera:

1. *Specifications and Construction Methods for Asphalt Curbs and Gutters*, Specification Series número 3 (SS-3).
2. *Thickness Design-Asphalt Pavement Structures for Highways and Streets*, Manual Series núm. 1 (MS-1).
3. *Asphalt Paving Manual*, Manual Series núm. 8 (MS-8).
4. *Asphalt in Hydraulic Structures*, Manual Series núm. 12 (MS-12).

# Capítulo XI

## SUPERFICIES ASFÁLTICAS PARA PUENTES

11.01 GENERALIDADES. En los puentes resulta conveniente el empleo de superficies asfálticas por las siguientes razones:

1. Cuando se emplea asfalto la capa de superficie puede ser más delgada, reduciendo de esta forma el peso muerto de la estructura.
2. Como consecuencia de estar expuestos a las inclemencias atmosféricas por encima y por debajo, los pavimentos de puentes se congelan más rápidamente y, por ello, acumulan más hielo que las superficies apoyadas sobre el terreno. Esto hace necesario el empleo de más sales para la eliminación del hielo, cuyo empleo no afecta a las superficies asfálticas.
3. Una superficie asfáltica construida cuidadosa y adecuadamente puede impermeabilizar el piso del puente, evitando que el agua y las sales penetren a través de él perjudicando a la estructura.
4. Las superficies asfálticas pueden construirse de tal forma que sean altamente resistentes al deslizamiento, produciendo el tipo más seguro de pavimento para puentes.

En los Estados Unidos existen más de **78 000** puentes, sin tener en cuenta el gran número de viaductos. Más pronto o más tarde todos exigirán conservación o reconstrucción completa, por lo que el mejor procedimiento es construir los nuevos pavimentos **de** puentes de tal forma que pueda colocarse sobre ellos una superficie asfáltica, renovable cuando sea necesario. En los puentes nuevos esto **se** hace cada vez más, pero en los existentes frecuentemente es necesario cambiar el **pico** existente adaptándolo a las necesidades del tráfico actual.

La aparición de irregularidades que dan lugar a una superficie de rodadura desagradable en los pisos de los puentes de hormigón es frecuente en todos los tipos, exceptuando los pretensados. El único método práctico para mejorar las superficies de rodadura es la aplicación de una superficie asfáltica.

### **A) Pavimentación de puentes nuevos**

11.02 TIPOS DE BASE. Las plataformas de los puentes nuevos a pavimentar con asfalto pueden ser de dos tipos: de hormigón de cemento Portland o de acero.

11.03 SUELOS DE LOSAS DE HORMIGÓN DE CEMENTO PORTLAND. En este tipo de puentes los bordillos, bocas de desagüe y otros elementos accesorios se proyectan y construyen con la altura adecuada para que pueda emplearse una capa intermedia de hormigón asfáltico y una capa de superficie, con un espesor total de 5 a 8 cm. Las diversas etapas de la construcción, una vez construida la losa de hormigón de cemento Portland, son las siguientes:

1. Limpiar la superficie de la losa de todas las materias extrañas, lechada de hormigón y hormigón suelto, con cepillos de alambre con motor y aire comprimido, hasta dejar la superficie de hormigón limpia y firme.
2. Se cubre toda la superficie con un riego de adherencia de 0,20 a 0,80 l/m<sup>2</sup> de emulsión SS-1h diluida al 50 % con agua. Deben pintarse también las superficies verticales hasta superar el espesor total de las capas asfálticas. Al aplicar la capa de adherencia debe cepillarse el firme para que el material penetre en las irregularidades de la superficie.
3. Se aplican de 18 mm a 40 mm de capa de nivelación de hormigón asfáltico (mezclas tipo IVa, del Instituto del Asfalto), compactándolos hasta obtener una densidad adecuada.
4. Se cubre la capa de nivelación con un riego de

adherencia de 0,20 a 0,40 l m<sup>2</sup> de emulsión **SS-1h** diluida con agua al 50 %.

5. Se aplica la capa intermedia (mezcla de tipo IVa, del Instituto del Asfalto) hasta un nivel de 12 a 18 mm inferior al de la superficie del pavimento terminado.
6. Se aplica la capa final o de desgaste con un espesor de 12 a 18 mm. Cuando se prevea el empleo de productos químicos para luchar contra el hielo, debe emplearse como material de superficie *sheet asphalt* (mezcla de los tipos VII u VIII del Instituto del Asfalto), Cuando no se prevea esta eventualidad pueden emplearse mezclas del tipo IVa. En las zonas donde vayan a emplearse productos químicos para el control del hielo deben emplearse áridos que no sean atacados por estos productos.
7. Se apisonan todas las capas con apisonadoras de neumáticos capaces de producir una presión de

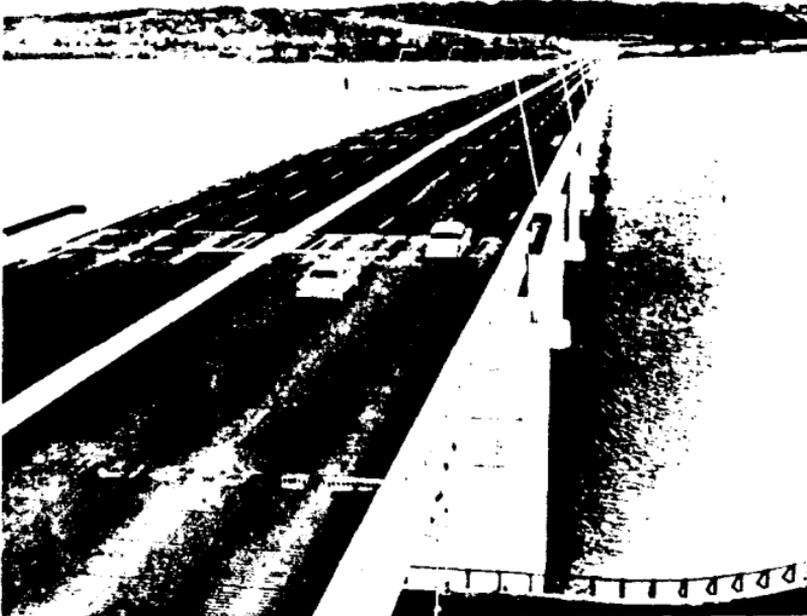


Figura XI-1. Calzada pavimentada con asfalto en el puente nuevo de Woodrow Wilson, Washington.

contacto de 50 lb pulg<sup>2</sup> (5,65 kg cm<sup>2</sup>) por lo menos. Las zonas inaccesibles a la apisonadora deben compactarse con pequeños compactadores vibratorios o pisones de mano.

8. Se cubre la superficie del pavimento hasta una distancia de 30 a 45 cm del bordillo con hormigón asfáltico en caliente (penetración 85-100), aplicado con brocha o pulverizador (esta operación debe repetirse anualmente, ya que el tráfico raramente empleará esta pequeña porción del pavimento).

**11.04 SISTEMAS DE FORJADOS METÁLICOS.** Los puentes nuevos, pavimentados con asfalto sobre pisos metálicos, están contruidos en su mayor parte con perfiles corrugados o en canal con depresiones de 25 a 50 mm. Las etapas de la construcción, una vez soldado el piso metálico, son usualmente las siguientes:

1. Se limpia perfectamente la chapa de toda materia extraña.
2. Se pinta el acero con una pintura asfáltica viscosa.
3. Se aplica una capa intermedia de hormigón asfáltico de granulometría densa (mezcla de tipo IVa, del Instituto del Asfalto) hasta un espesor compactado de 12 mm por encima de la parte más alta de las ondulaciones de la chapa.
4. Se apisona transversalmente (paralelamente a las ondulaciones). Se ha comprobado que éste es el procedimiento más eficaz para compactar la mezcla debidamente en el interior de los perfiles.
5. Se aplica a la capa intermedia un riego de adherencia de 0,20 a 0,40 l/m<sup>2</sup> de emulsión SS-1h diluida al 50 % con agua.
6. Se aplica una capa de hormigón asfáltico (mezcla tipo IVa, del Instituto del Asfalto) de 12 a 18 mm de espesor. Cuando se prevé el empleo de productos químicos para descongelar el pavimento debe emplearse como capa de desgaste un *sheet asphalt* (mezclas de tipos VII u VIII, del Instituto del Asfalto) y áridos que no sean atacados por estos productos.

7. Se apisona la capa de superficie con apisonadoras de neumáticos y de tipo tándem, empleando tanto como sea posible el apisonado transversal y diagonal. Las presiones de contacto de las apisonadoras de neumáticos no deben ser inferiores a  $80 \text{ lb/pulg}^2$  ( $5,65 \text{ kg/cm}^2$ ).
8. Se pinta o pulveriza con asfalto en caliente (penetración 85-100) de **30 a 45 cm** del pavimento al lado del bordillo. Esta operación debe repetirse anualmente, ya que esta parte del pavimento no soporta mucho tráfico.

### ***B) Pavimentación de puentes antiguos***

**11.08 TIPOS DE PISO.** Los **pisos** de los puentes antiguos pueden ser de los siguientes tipos: **de hormigón hidráulico**, que generalmente sirven tanto de elementos estructurales como de superficie de rodadura, suelos metálicos y suelos de madera.

**11.06 PISOS DE HORMIGON DE CEMENTO PORTLAND.** Frecuentemente, en los puentes en los que el suelo está constituido por losas de hormigón de cemento Portland, la superficie se ha disgregado hasta las armaduras, y están agrietados de tal forma que el agua con sales en disolución penetra profundamente en la losa perjudicando a la armadura. El mejor procedimiento para pavimentar de nuevo estos puentes es el siguiente:

1. Limpiarlos perfectamente, eliminando todas las materias sueltas y extrañas de cualquier tipo hasta obtener un hormigón sano y limpio, empleando martillos neumáticos (**si** es necesario), cepillos **de** alambre con motor y aire comprimido. Finalmente, se lava con agua limpia a elevada presión para remover cualquier depósito de sales.
2. Sanear todas las grietas hasta obtener ranuras rectangulares perfectas, usualmente de anchura no inferior a 12 mm y profundidad no inferior a 40 mm.

3. Se llenan estas ranuras hasta unos 12 mm por debajo de su borde con un mástico asfáltico o compuesto para relleno de juntas de elevado punto de reblandecimiento, que se adherirá a los lados y se alargará sin agrietarse bajo los efectos de cualquier posible movimiento o cambio de temperatura.
4. Se pinta la superficie del hormigón en una anchura de unos 10 cm a ambos lados de las ranuras con emulsión asfáltica de tipo SS-1h, cubriéndola a continuación con fieltro asfáltico de 30 lb, 10 cm más ancho que la ranura.
5. Se proveen todas las juntas de expansión con movimiento de los accesorios necesarios.
6. Se cubre toda la superficie con un riego de adherencia de 0,20 a 0,80 l/m<sup>2</sup> de emulsión asfáltica de tipo SS-1h, diluida con agua al 50 %. También deben pintarse las superficies verticales hasta por encima del máximo espesor de las capas asfálticas que se vayan a aplicar. La aplicación de esta capa de adherencia debe hacerse cepillando, de tal forma que el material penetre en las irregularidades de la superficie.
7. Se aplican de 18 a 40 mm de capa de nivelación de hormigón asfáltico (mezcla tipo IVa, del Instituto del Asfalto), compactándola hasta alcanzar la densidad adecuada<sup>1</sup>.
8. Se aplica a la capa de nivelación un riego de adherencia de 0,20 a 0,40 l/m<sup>2</sup> de emulsión SS-1h, diluida con agua al 50 %.
9. Se aplica la capa intermedia (mezcla tipo IVa, del Instituto del Asfalto) hasta una altura de 12 a 18 mm inferior a la de la superficie del pavimento terminado.
10. Se aplica la capa final o de desgaste con un espesor de 12 a 18 mm. Cuando se prevea el empleo de productos químicos para descongelar el pavimento deben emplearse mezclas de tipo

---

<sup>1</sup> El espesor final del pavimento de hormigón asfáltico se determinará teniendo en cuenta la resistencia del puente y la altura de los bordillos, bocas de drenaje y otros accesorios.

*sheet asphalt* (mezclas de tipo VII u VIII, del Instituto del Asfalto'. Cuando no vayan a utilizarse estos productos pueden emplearse como capa de desgaste mezclas de tipo IVa. En las zonas en que se emplean productos químicos para control del hielo, los áridos empleados no deben ser atacables por estos productos.

11. Se apisonan todas las capas con apisonadoras de neumáticos capaces de producir presiones de contacto de 80 lb/pulg<sup>2</sup>, como mínimo. Las superficies no accesibles a esta maquinaria deben compactarse con pequeños compactadores vibratorios o pisones de mano.
12. Se cubre la capa de superficie, hasta una distancia de 30 a 45 cm del bordillo, con betún asfáltico en caliente (penetración 85-100), aplicado con brocha o por pulverización (esta operación debe repetirse una vez al año, ya que el tráfico rara vez empleará esta pequeña porción de la superficie).



Figura XI-2. Repavimentación de las calzadas estropeadas de un puente de hormigón de cemento Portland por medio de hormigón asfáltico.

### 11.07 SISTEMAS DE SUELOS METALICOS.

Los tipos de suelos empleados en los puentes antiguos varían desde delgadas chapas planas de acero fijadas rígidamente a las vigas hasta varios tipos de rejillas abiertas.

11.08 SUELOS DE CHAPA PLANA. Frecuentemente se han construido puentes de acero con una chapa plana y delgada de acero fijada rígidamente a las vigas. A este tipo de cubierta se le llama cubierta de buque de guerra. Es muy difícil fijar superficies de pavimentos de cualquier tipo sobre esta cubierta si no se prevé algún tipo de anclaje seguro, porque las tensiones provocadas por los cambios de temperatura son tales que más pronto o más tarde se produce la separación y la rotura. La mejor forma de obtener el anclaje es soldar a las chapas una malla de acero, de tal forma que permita la contracción y expansión sin separación. Esta malla debe llenarse a continuación con una mezcla de tipo *sheet asphalt* (mezclas tipos VII u VIII, del Instituto del Asfalto) hasta aproximadamente 12 mm por encima del borde superior de los elementos estructurales transversales, después de lo cual debe apisonarse perfectamente la superficie con apisonadoras de neumáticos. El espesor usual de la malla es de aproximadamente 40 mm.

11.09 SUELOS DE ACERO DEL TIPO MALLA ABIERTA. Otro tipo de cubierta de puente empleado frecuentemente es el del tipo de malla abierta, atornillada o soldada directamente a los elementos sustentadores. Estas cubiertas son muy ligeras, pero en las regiones frías resultan peligrosas como consecuencia de las heladas y son desconcertantes por su efecto sobre la rodadura en la transición entre la superficie de los pavimentos vecinos y la suya. La reconstrucción exige: 1) Cubrirlas con chapas soldadas de galga **14**, normalmente de dimensiones **30 cm** por **1 m**, con agujeros que permitan eliminar la condensación y revestidas con pintura bituminosa; 2) soldar a estas chapas una combinación de barras de acero de **9 mm** de diámetro, con **60 cm** de separación entre centros, y una malla metálica soldada. A continuación se coloca hormigón asfáltico en caliente (mezcla tipo IVa, del Instituto del

Asfalto) aplicado en dos capas. Cuando se emplean productos químicos para la eliminación del hielo deben emplearse en la capa de desgaste mezclas de tipo *sheet asphalt* (tipos VII u VIII, del Instituto del Asfalto).

11.10 PISOS DE MADERA. Aún prestan servicio gran número de antiguos puentes metálicos con piso de tablones o bloques de madera cuya conservación es a la vez difícil y costosa. Frecuentemente, estos elementos están sueltos, lo que no sólo hace el tráfico muy ruidoso, sino que produce vibraciones en toda la estructura del puente, que dan como resultado una aceleración de su deterioro. La mayor parte de los puentes de madera tenían originalmente vigas de madera a las que se clavaban tablones transversales de 7,5 cm. Cuando estas vigas se corrompían se añadían otras nuevas sin eliminar las viejas, de tal forma que se cambiaba una situación mala por otra peor, y a veces un camión perforaba el pavimento entre las vigas transversales. Sin embargo, a pesar de los cambios en el tráfico y de que la cubierta de madera se proyectó originalmente para carga uniforme, la carga total en las vigas transversales y longitudinales sólo era algo inferior a la producida por el tráfico moderno con cargas concentradas. Reconstruyendo la cubierta de tal forma que se distribuya esta carga concentrada sobre las vigas longitudinales, muchos de estos puentes antiguos pueden hacerse seguros y útiles para muchos años, especialmente en carreteras rurales.

11.11 METODOS PARA RECONSTRUIR PISOS DE MADERA. El desarrollo de equipos portátiles de soldadura hace posible sustituir fácilmente las traviesas de madera por traviesas de acero, y, cuando es necesario, reconstruir las vigas de los pisos de acero antiguos hasta reproducir su sección primitiva cuando se ha reducido por corrosión, de tal forma que pueda obtenerse una sustentación adecuada. También pueden sustituirse los elementos de las vigas longitudinales cuando sea necesario, cortando y soldando nuevas chapas. Deben reforzarse todas las conexiones, particularmente las de tipo roblonado, hasta que el conjunto de la estructura esté en buen estado. Puede seguirse uno

u otro de los métodos que se describen a continuación, según los fondos de que se disponga:

1. El método preferible es, después de reconstruir adecuadamente los elementos sustentadores, fijar una chapa de acero corrugado de tipo especial soldada transversalmente a las traviesas. Véase el artículo 11.04 para las etapas de reconstrucción una vez se **ha** fijado el suelo metálico. Un proyecto de este tipo, cuidadosamente estudiado, permitirá obtener un nuevo piso con un peso inferior a **250 kg/m<sup>2</sup>**.
2. Cuando las consignaciones son limitadas y se dispone de madera abundante, puede construirse un buen pavimento para tráfico ligero de la manera siguiente: deben atornillarse a los largueros exteriores de acero, que deben ser perfiles de **tipo U** con las alas hacia afuera, maderas achaflanadas en los bordes para adaptarse **al** alma, pero que sobresalgan por fuera de las alas unos **5 cm**. **A** continuación deben colocarse transversalmente tablo-nes clavados a los anteriormente indicados, segui-dos por otra capa de tablo-nes colocados **longitu-dinalmente** y clavados a los primeros. Si es posible, solamente debe emplearse madera trata-da, ya que los años suplementarios de vida hacen compensador el costo. La madera no tratada puede hacer más duradera, en cierta medida, revestiéndola por inmersión con asfalto líquido junto **al** puente. **A** continuación se aplica un trata-miento superficial. Debe evitarse el empleo de **una** capa de superficie de mayor espesor, ya que el movimiento del puente la rompería. Es deseable, más bien, un revestimiento delgado, flexible y muy adherente cubierto de áridos finos, preferiblemente arena. La primera aplicación debe ser un asfalto fluidificado o emulsión, frecuentemen-te con dosificaciones tan elevadas como **2 l/m<sup>2</sup>** para que penetre en la capa superior de tablo-nes e incluso bajo ella y sobre la capa inferior. Des-pués de curar bajo el tráfico puede hacerse una segunda aplicación de asfalto fluidificado o emul-

sión (aproximadamente  $0,60 \text{ l m}^2$ ), cubriéndola con arena gruesa y angulosa. La capa final no debe tener un espesor superior a 6 mm.

3. A veces se emplean, en lugar de dos capas de tablones, elementos de 10 por 20 cm o de 10 por 15 cm situados con su mayor dimensión vertical. Se cortan previamente de tal forma que una vez colocados se obtenga una superficie adecuada. Cada elemento se clava a los anteriormente colocados hasta que se cubre todo el suelo. Usualmente se emplean maderas sin cepillar, de forma que la superficie terminada es ligeramente desigual y sirve como un buen anclaje para el tratamiento superficial. Con este tipo de base de madera es posible aplicar revestimientos algo más gruesos de mezclas de arena-asfalto u hormigón asfáltico.

Las cubiertas de madera construidas por cualquiera de los métodos descritos se llaman a veces cubiertas laminadas, siendo la de la primera una laminación horizontal y la de la segunda una laminación vertical. El primer tipo puede emplearse durante algún tiempo sin tratamiento, pero el segundo debe sellarse inmediatamente después de la construcción, ya que si no quedará agua retenida en las juntas verticales, causando el hinchamiento de la madera. Aunque estas cubiertas son algo más gruesas que las de tablones sencillos que se construían antiguamente, son mucho más resistentes y silenciosas y puede prevérseles una vida de aproximadamente 10 años, con algún tratamiento de vez en cuando.

**11.12 SUPERFICIE DE TABLONES ASFÁLTICOS.** Los tablones asfálticos se emplean para recubrir la superficie de las cubiertas de puentes de madera. Los tablones son mezclas prefabricadas de betún asfáltico, fibra de amianto y filler mineral. Usualmente, se fabrican con longitudes de 90 cm y 1,80 m y anchuras de 15 y 20 cm. Los mejores contienen detritus de cantera, de forma que conservan una textura de papel de lija durante toda su vida. Se colocan longitudinalmente, y pueden clavarse a una cubierta de ma-

drro o unirse con betun asfáltico a una cubierta de hormigón o acero. Es importante que se empleen especificaciones muy estrictas en los tablonos asfálticos a emplear bajo tráfico pesado. Se emplean frecuentemente en los pisos de los tramos móviles de los puentes levadizos. Usualmente, estos pisos están formados por chapas de acero con nervios longitudinales y transversales, entre los que se colocan los tablonos asfálticos (de 30 mm de espesor), unidos perfectamente a las chapas con un mástico asfáltico.

**11.13 TRATAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA.** En las regiones en que las estructuras de los puentes están sometidas a la acción de los productos químicos para el control de hielo, a la absorción debida a la condensación o a los efectos de los derrames de los drenes superficiales, la infraestructura de los elementos expuestos a la intemperie debe tratarse de la manera siguiente:

1. **Infraestructura de hormigón.** Las zonas vistas deben tratarse con tres capas de emulsión SS-1 o SS-1h diluida. La emulsión puede aplicarse por pulverización.
2. **Infraestructura de acero.** Las zonas expuestas a los elementos deben pintarse, con brocha o por pulverización, con una capa de asfalto fluidificado de tipo MC-2 o pintura asfáltica de aluminio. El empleo de la pintura es preferible a veces por consideraciones estéticas.

**11.14 REFERENCIAS.** Más información sobre las clases de asfalto, mezclas y tratamientos de superficie descritos en este capítulo, se puede encontrar en las siguientes publicaciones del Instituto del Asfalto:

1. *Specifications and Construction Methods for Asphalt Concrete and Other Flat-Mix Types*, Specification Series núm. 1 (**SS-1**).
2. *Specifications for Asphalt Cements and Liquid Asphalts*, Specification Series núm. 2 (**SS-2**).
3. *Asphalt Surface Treatments and Asphalt Penetration Macadam*, Manual Series núm. 13 (**MS-13**).

# Capítulo XII

## EMPLEO DEL ASFALTO EN CONSTRUCCION DE FERROCARRILES (INCLUSO EN PASOS A NIVEL)

### *A) El asfalto en las vías de ferrocarril*

12.01 GENERALIDADES. Las mezclas asfálticas se han empleado extensamente en los pasos a nivel, en la construcción de pavimentos entre las vías y junto a ellas en las calles de las ciudades y en el recubrimiento de vías abandonadas o cuando se han quitado los carriles. En los últimos años algunos trabajos experimentales han demostrado que el tratamiento asfáltico del balasto de las vías férreas permite reducir considerablemente los costos de conservación. También parece que el tratamiento asfáltico de los puentes de madera prolonga la vida de estas estructuras, dando lugar, como consecuencia, a una reducción en los gastos de conservación.

### **Pavimentación de vías**

12.02 PASOS A NIVEL. Los movimientos de los carriles y las vibraciones producidas por los trenes perjudican severamente a los pavimentos en los pasos a nivel. Por ello, deben preferirse en estas zonas los tipos más resistentes de pavimentos asfálticos. Cuando los volúmenes de tráfico son relativamente bajos puede elevarse el balasto hasta aproximadamente 25 mm de la cara superior de los carriles, aplicándole un doble tratamiento superficial. Para tráficos más intensos debe emplearse en la parte inferior un macadam asfáltico, entre las traviesas y por encima de ellas, hasta aproximadamente 25 mm de la superficie. A continuación puede emplearse, como capa de superficie, una mezcla asfáltica con áridos finos y con un ligero exceso de asfalto.

12.03 VIAS EN LAS CALLES DE LAS CIUDADES. Los carriles del tranvía y del ferrocarril están sometidos a cargas más pesadas que los pavimentos adyacentes. Por lo tanto, las capas situadas bajo los carriles deben ser capaces de soportar estas cargas sin deflexiones indebidas. Cuando se emplea hormigón de cemento Portland en los pavimentos adyacentes debe construirse, a lo largo de los bordes de las traviesas, una junta. Las traviesas deben apoyarse sobre una capa de macadam asfáltico de 12 a 20 cm de espesor apoyada sobre una subbase adecuadamente preparada. A continuación debe apisonarse el macadam asfáltico entre las traviesas y sobre ellas hasta aproximadamente 25 mm de la superficie final deseada. A continuación debe recubrirse toda la superficie con una mezcla asfáltica de áridos finos.

12.04 CUBRICION DE LAS VIAS ABANDONADAS. Cuando las vías del ferrocarril o del tranvía han sido abandonadas, lo primero que hay que decidir es si se levantan o se cubren. En esta decisión hay que tener en cuenta los siguientes factores:

1. Estado de las traviesas. Si las traviesas no son muy viejas y son de madera tratada es probable que duren mucho tiempo y que resulte seguro dejarlas colocadas. **Si** embargo, si son muy viejas, no están tratadas, o son de madera de mala calidad, deben eliminarse, pavimentando la superficie anteriormente ocupada por los carriles con un pavimento asfáltico adecuadamente proyectado.
2. El segundo factor a tener en cuenta es si deben eliminarse los carriles. En esto intervienen dos aspectos distintos:
  - a) Altura de los carriles.
  - b) Valor del acero recuperado comparado con el costo de levantar los carriles y reparar el pavimento averiado **al** quitarlos.

**Si** se decide cubrir las vías, el espesor de la superficie asfáltica sobre ellas no debe ser inferior a 40 mm.

## ***B) Tratamiento asfáltico del balasto de las vías férreas***

12.05 GENERALIDADES. El empleo del asfalto en el tratamiento del balasto de las vías férreas ha estado en estudio durante varios años. El trabajo experimental comenzó en 1943 y continuo durante los siguientes 10 años, demostrando que pueden obtenerse beneficios importantes de este tipo de tratamiento. Por ello, se ha desarrollado maquinaria especial para la aplicación del asfalto y áridos de cubrición al balasto de las vías férreas. El empleo de este tipo de tratamiento con maquinaria moderna aumentará con toda seguridad en lo futuro.

12.06 MAQUINARIA ESPECIAL. La maquinaria experimental consta de dos unidades. El distribuidor de asfalto está montado sobre un vagón-plataforma. El betún asfáltico es suministrado por vagones-tanque aislados situados delante y detrás del vagón distribuidor y comunicados con él por medio de mangueras flexibles aisladas. Bajo el vagón distribuidor está montada una barra regadora con extensiones plegables a ambos lados del vagón, de tal forma que pueden recogerse durante el transporte. El vagón distribuidor está provisto también de una bomba, de un generador de vapor para mantener calientes las mangueras de suministro, de un tacómetro para regular la dosificación de asfalto y otros elementos accesorios necesarios.

El vagón distribuidor de áridos es un vagón convencional de tipo góndola, con descarga por el fondo, de 50 t de capacidad, en el que se han montado, bajo las aberturas del fondo, compuertas especialmente proyectadas para extender los áridos con dosificación uniforme y controlada.

12.07 PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION. Como consecuencia de la poca experiencia existente hasta la fecha en este tipo de trabajo, aún no se han fijado con exactitud los procedimientos constructivos. La dosificación de asfalto se varía de acuerdo con las necesidades del balasto al que se está aplicando.

En términos generales, se supone que esta dosificación variará de aproximadamente  $8 \text{ l/m}^2$  para balasto muy abierto y poroso, hasta aproximadamente  $4 \text{ l/m}^2$  para balasto de granulometría más cerrada. La penetración del asfalto se variará en los primeros proyectos dentro del margen de 85 a 200 para determinar la penetración más adecuada para estos tratamientos. Es probable que más adelante se estudie también el empleo de asfalto líquido. El equipo distribuidor se **ha** proyectado de tal forma que pueda trabajar satisfactoriamente con cualquiera de los tipos y grados de asfalto.

El tamaño máximo de los áridos de cubrición se determinará después de una inspección del balasto a tratar, pero no excederá en ningún caso de 18 mm. La máxima dosificación de áridos de cubrición será de  $12 \text{ kg/m}^2$  para piedra y de  $20 \text{ kg/m}^2$  para escoria. Es probable que en la mayor parte de los proyectos se empleen de 7 a  $10 \text{ kg/m}^2$  de piedra o de 6 a 8 de escoria.

**12.08 VENTAJAS ECONOMICAS.** Basándose en los datos recogidos en los primeros trabajos experimentales y en estudios consecutivos, es posible hacer un análisis aproximado de las ventajas económicas que pueden esperarse razonablemente de la conservación de los trazados ferroviarios mediante el empleo, de un tratamiento asfáltico. Este estudio indica que es razonable esperar que este tratamiento dé lugar a economías totales hasta del 50 %.

### ***C) Tratamiento asfáltico de los puentes ferroviarios de madera***

**12.09 GENERALIDADES.** Como se indicó anteriormente, el tratamiento asfáltico de las traviesas alarga materialmente su vida. De modo general puede esperarse que el tratamiento asfáltico prolongue materialmente la vida útil de las maderas de los puentes, sustituyendo a los procedimientos costosos actualmente empleados.

La maquinaria descrita en los párrafos anteriores puede emplearse también para tratar económicamente las maderas de los puentes. Para determinar los **métodos** adecuados para este tratamiento y establecer el tipo, grado y cantidad de asfalto adecuados será **necesaria** la realización de algunos trabajos experimentales.

?

# Capítulo XIII

## APARCAMIENTOS Y CAMINOS PARTICULARES

**13.01 INTRODUCCION.** Prácticamente en todos los centros de actividad humana existe una imperiosa necesidad de aparcamientos económicos y eficientes. La necesidad de espacio de aparcamiento ha crecido paralelamente a la población automovil.

En algunas grandes ciudades en que el costo del espacio es muy elevado los aparcamientos construidos en vertical están sustituyendo a los aparcamientos al aire libre. Véase la sección B de este capítulo para el estudio de la pavimentación de los aparcamientos elevados. En las zonas suburbanas de rápido desarrollo grandes superficies de pavimentos asfálticos proporcionan espacio a los automóviles de cientos de compradores y hombres de negocios y a los empleados, que dejan su automóvil a la entrada de la ciudad para emplear los medios de transporte público.

### ***A) Aparcamientos pavimentados con asfalto***

**13.02 TIPOS DE SUPERFICIES ASFALTICAS PARA PAVIMENTACION DE APARCAMIENTOS.** Existen cuatro tipos de superficies asfálticas muy empleadas en las zonas de aparcamiento de automóviles:

1. **Hormigón asfáltico.** Puede aplicarse fácil y rápidamente. Es particularmente ventajoso en las zonas urbanas muy congestionadas, en que resulta especialmente ventajoso reducir al mínimo el tiempo de construcción. El hormigón asfáltico es una mezcla de betún asfáltico y áridos graduados (piedra machacada, grava, escoria, arena, polvo mineral, etc.). La mezcla se fabrica a temperatu-

Tipo de terreno	Espesores**			
	Superficie asfáltica	Capa de base	Capa de sub-base	Capa de aislamiento
Suelos arenosos bien drenador	5 a 7,5 cm*	7,5 a 10 cm	Ninguna	Ninguna
Arcilla limosa no plástica	5 a 7,5 cm	7,5 a 10 cm	0 a 7,5 cm	4 a 5 cm
Terrenos arcillosos plásticos en estado húmedo	5 a 7,5 cm	10 a 12,5 cm	10 a 12,5 cm	4 a 5 cm

Tipo de terreno	Espesores..			
	Superficie asfáltica	Capa de base	Capa de sub-base	Capa de aislamiento
Suelos arenosos bien drenados	1,5 cm +	10 a 12,5 cm	Ninguna	Ninguna
Arcilla limosa no plástica	7,5 cm +	10 a 12,5 cm	7,5 a 10 cm	4 a 5 cm
Terrenos arcillosos plásticos en estado húmedo	1,5 cm +	12,5 a 15 cm	15 a 20 cm	5 a 6 cm

NOTA: Cuando los remolques descansan sobre ruedas metálicas estrechar. la capa de superficie debe ser de mezcla asfáltica en caliente o en frío, macadam por penetración o bloques asfálticos. Debe procurarse que contenga un elevado porcentaje de Arido gruesos.

\*\* Bajo condiciones de trabajo muy duras o con terrenos muy malos. la estructura del pavimento debe proyectarse como se indica en Asphalt Institute Manual Series n.º 1, «Thickness Design Asphalt Pavement Structures».

ras elevadas, adecuadamente controladas, en una instalación para fabricación de mezclas asfálticas en caliente, y se transporta en camión a la obra, donde se extiende sobre un cimiento firme compactándola mientras aún está caliente.

2. **El macadam asfáltico por penetración** se construye empleando áridos gruesos de granulometría abierta, producidos, machacando y tamizando piedra, escoria o grava. Esta piedra se extiende y compacta en el espesor deseado, aplicando a continuación, por riego, cantidades controladas de asfalto. Después se cubre el asfalto con áridos de menor tamaño, apisonando de nuevo.
3. **Mezclas asfálticas en frío.** Pueden ser semejantes al hormigón asfáltico, salvo que en lugar de emplear una mezcla en caliente de betún asfáltico y áridos se emplean en diversas combinaciones asfaltos líquidos y áridos fríos que hacen la mezcla manejable, permitiendo el transporte a largas distancias y la colocación y compactación después de largos períodos de tiempo.
- 4 **Tratamiento asfáltico superficial.** Da buenos resultados en zonas de aparcamiento con trabajo ligero, pero sólo debe emplearse como medio provisional si las condiciones de trabajo son duras. Consiste en la aplicación de un material asfáltico sobre una base preparada, cubriéndolo después con una capa de áridos con un espesor final no superior a 25 mm.

Se recomiendan el hormigón asfáltico y el macadam por penetración para el aparcamiento de camiones pesados (para servicio más ligero pueden emplearse mezclas asfálticas en frío o tratamientos superficiales si la cimentación es satisfactoria y las consignaciones monetarias están limitadas).

En algunas localidades es posible encontrar bloques asfálticos adecuados para servicio bajo condiciones duras cuando se apl an sobre una cimentación resistente; son especialmente adecuados para pavimentar rampas muy pendientes y zonas de aparcamiento elevadas.

Las tablas XIII-1 y XIII-2 indican el espesor de las diversas capas de los pavimentos en zonas de aparcamiento.

13.03 MOVIMIENTO DE TIERRAS En los aparcamientos de nueva construcción, la zona a pavimentar debe nivelarse con la sección transversal necesaria, obteniéndose una superficie sólida apisonando con una apisonadora automóvil de tipo apropiado. Las zonas inaccesibles a las apisonadoras con motor deben compactarse perfectamente **por** otros métodos aceptables.

13.04 DRENAJE. El proyecto y construcción de las zonas de aparcamiento pavimentadas con asfalto deben hacerse tomando las necesarias precauciones de drenaje, tanto superficial como profundo, si fuera necesario.

13.05 CAPA DE AISLAMIENTO. Sobre terrenos arcillosos plásticos debe preverse, como se indica



Figura XIII-1. Aparcamiento pavimentado de asfalto.

en las tablas XIII-1 y XIII-2, una capa de aislamiento, que consistirá en material permeable situado sobre el terreno preparado, y compactado por medio de una apisonadora de peso no inferior a 5 t. Las zonas inaccesibles a las apisonadoras de motor deben consolidarse perfectamente por compactación vibratoria o por apisonado con pisones de mano.

## ***B) Zonas de aparcamiento sobre estructuras elevadas***

13.06 INTRODUCCION. La urgente necesidad de espacio para aparcamiento en las zonas congestionadas ha estimulado el desarrollo de los aparcamientos sobre estructuras elevadas.

No se ha llegado a un acuerdo sobre el mejor método de impermeabilizar y pavimentar forjados para emplearlos como zonas de aparcamiento. Existen varias teorías predominantes. Todos parecen estar de acuerdo en que: 1) Debe prestarse gran atención a la nivelación de la superficie para asegurar una buena eliminación del agua, evitando la formación de charcos; 2) el siguiente paso es sellar las juntas de construcción y de expansión y las grietas del forjado, picándolas cuando sea necesario y llenándolas con un material de relleno de juntas elástico y muy adherente, compuesto usualmente de asfako y caucho, y 3) el siguiente paso es impregnar la superficie del forjado con asfalto, cubriéndolo con algún tipo de membrana o papel de construcción. Precisamente en este punto es donde empiezan a surgir las diferencias.

13.07 SISTEMA CON DESLIZAMIENTO LIBRE. Una escuela afirma que el papel de construcción no debe estar pegado con asfalto, sino que debe existir posibilidad de deslizamiento del pavimento sobre la losa del forjado, de tal forma que las diversas etapas de la construcción serían:

1. Aplicación de una impermeabilización convencional empleando cuatro o cinco capas de fieltro asfáltico ligero sin revestimiento final de áridos.
2. Se establece, entre la superficie del hormigón a

cubrir y la impermeabilización, una capa que cree una discontinuidad que asegure la completa libertad de movimiento del hormigón respecto al pavimento.

3. Se aplica a la última capa de fieltro un riego de adherencia muy ligero empleando asfalto de tipo duro (emulsión **SS-1h** diluida).
4. Se construye el pavimento, compuesto de un mínimo de 5 cm de hormigón asfáltico en caliente extendido en una sola capa y fabricado, empleando áridos de granulometría muy cerrada, con un tamaño máximo de 9 mm aproximadamente.

**13.08 UNION DEL FORJADO Y EL PAVIMENTO.** Otra escuela establece que después de sellar las grietas y juntas debe aplicarse una impermeabilización convencional compuesta de cuatro a cinco capas de fieltro asfáltico, membranas con fibra de vidrio o tejido de algodón unidas entre sí perfectamente con asfalto. La superficie resultante se cubre después con una capa de 25 a 75 mm de espesor de un hormigón asfáltico denso, como antes se indicó.

Otros recomiendan emplear una membrana asfáltica con filler mineral y fibras de amianto o de otro tipo para darle mayor resistencia.

El betún asfáltico empleado es de baja penetración (penetración 40-50). Se toman grandes precauciones para asegurar un espesor uniforme y no se permite la ejecución de ninguna otra operación sobre la membrana hasta que ésta ha curado perfectamente *in situ*.

Después de que la membrana ha curado se cubre con dos capas de hormigón asfáltico muy impermeable, con un elevado contenido de asfalto, y áridos de un tamaño máximo de 9 ó 6 mm. El espesor total del pavimento no debe exceder de los 75 mm. Con estas precauciones se pretende obtener una mezcla impermeable que sufra los efectos del envejecimiento sin grandes inconvenientes a pesar de no estar sometida a la acción beneficiosa del tráfico, y que tenga una estabilidad Marshall de 500 lb o más.

Usualmente se emplean apisonadoras pequeñas o de aceras como consecuencia de las restricciones impues-

tas al trabajo por el lugar en que se realiza y, especialmente, por la máxima carga admisible por el edificio. Generalmente, esto exige emplear una apisonadora de peso no superior a 3 ó 4 t. En las zonas inaccesibles a las apisonadoras se emplean pequeños compactadores vibratorios manuales, eléctricos o de gasolina.

13.09 TABLEROS ASFALTICOS. También pueden emplearse paneles asfálticos armados, semejantes a los empleados para revestimientos de depósitos, o posiblemente más delgados, como elemento de impermeabilización.

13.10 CAPA POROSA BAJO LA SUPERFICIE ASFALTICA. Aún existe otra teoría que recomienda el empleo de una capa porosa sobre la impermeabilización asfáltica antes de colocar la superficie de rodadura de hormigón asfáltico. La capa porosa puede consistir en una capa de mezcla asfáltica de granulometría muy abierta. Cuando se emplee este tipo de construcción debe tenerse cuidado de proveer al conjunto de los elementos adecuados para la eliminación del agua. Es especialmente delicada la impermeabilización de las uniones entre la superficie horizontal del pavimento y los elementos verticales de la estructura. La capa porosa funciona como capa de drenaje que permite la eliminación del agua condensada bajo el pavimento. Sirve también como elemento de discontinuidad que permite la libertad de movimiento del pavimento respecto a la losa de hormigón.

13.11 TRATAMIENTO SUPERFICIAL. Algunas especificaciones exigen el empleo de un tratamiento superficial de tipo ((sellado con lechada asfáltica» como acabado de la capa de superficie de hormigón asfáltico, de la manera siguiente:

**Materiales para el tratamiento superficial:** Cuando haya de emplearse un tratamiento superficial los materiales y proporciones recomendados son los siguientes:

Cemento Portland . . . . .	47 kg
Arena silicea (tamiz num. 60) . . . . .	85 kg
Emulsion asfáltica SS-1h, 40 l) . . . . .	42 kg
Agua (30 l) . . . . .	30 kg
Peso total en el extendido . . . . .	204 kg
Peso total en seco después de compactar.	153 kg

**Cemento:** Puede emplearse cualquier tipo comercial y **no** deben emplearse tipos especiales, como de alta resistencia, tipos plásticos, de molido fino, etc.

**Arena silícea:** Debe ser fina y perfectamente limpia.

**Emulsión asfáltica:** Emulsión de tipo SS-1h, según las especificaciones del Instituto del Asfalto para este tipo de material.

**Agua:** Cualquier tipo de agua potable.

Nota: Esta mezcla debe prepararse en una pequeña mezcladora de tambor y, si se desea, puede almacenarse durante varios días en recipientes metálicos con cierre hermético. La mezcla debe extenderse de forma que cubra completamente el hormigón asfáltico.

Algunas especificaciones suelen exigir el empleo de un riego en negro de emulsión asfáltica de tipo SS-1 o SS-1h diluida, si es necesario, con hasta 3 ó 4 partes de agua y aplicado después de que se haya terminado la compactación de la capa de superficie del hormigón asfáltico.

13.12 PAVIMENTACION DE LAS RAMPAS DE ACCESO A LOS APARCAMIENTOS EN TERRAZA. Como consecuencia de la buena eliminación del agua, debida a la pendiente de las rampas, no es necesario en ellas el empleo de la impermeabilización bajo el pavimento. Es práctica usual terminar la losa de hormigón de cemento Portland con una superficie rugosa. A continuación se aplican las capas intermedia y de superficie como antes se ha descrito para los aparcamiento. Debe construirse una zona de transición entre la rampa y la zona de aparcamiento prácticamente horizontal. También debe tenerse cuidado en esta zona de evitar el deslizamiento de las diversas capas de hormigón asfáltico.

### ***C) Caminos particulares pavimentados***

13.13 INTRODUCCION. Los caminos particulares pavimentados con asfalto se emplean normalmente en zonas residenciales. Se construyen fácil y económicamente, y bien contruidos son de gran duración y requieren poco gasto de conservación.

Son especialmente ventajosos porque resisten los efectos del hielo y la nieve y no son afectados por la

acción corrosiva de las sales empleadas para fundir el hielo. Además, constituyen excelentes superficies para el juego de los niños.

**13.14 SELECCION DE LA SECCION TRANSVERSAL.** Al seleccionar la sección transversal de un camino pavimentado con asfalto, el propietario de la casa debe tomar en consideración las finalidades que el pavimento debe cumplir. Además, debe considerar el estado del suelo natural, las posibilidades de drenaje y las disponibilidades de materiales.

Una vez determinados estos factores debe proyectarse la sección, de acuerdo con las recomendaciones de la tabla XIII-3.

**13.15 SECCION TRANSVERSAL TIPICA DE UN CAMINO PARTICULAR.** La anchura del pavimento asfáltico debe ser como mínimo de 2,50 m. En los casos en que el camino sirva tanto de acceso al domicilio como de entrada al garaje, se recomienda como mínimo una anchura de 3 m. La figura XIII-3 indica una sección transversal típica de caminos de este tipo. El empleo de drenes cerámicos a ambos lados de la capa de base no es indispensable, dependiendo su necesidad de la pluviosidad y de la pendiente del camino. Sin embargo, se recomienda su empleo en los lugares en que el agua puede tender a acumularse al borde del pavimento.

**13.16 PREPARACION DEL TERRENO.** La cimentación o terreno sobre el que vaya a apoyarse el camino debe prepararse cuidadosamente, teniendo en cuenta especialmente el tipo de suelo existente. En general, las arenas o suelos de tipo granular dan una cimentación mejor que los de tipo arcilla o limo.

A veces, en las construcciones nuevas, se entierran alrededor del edificio desperdicios compuestos principalmente de pequeños trozos de madera, recipientes metálicos u otros materiales similares que, al destruirse con el tiempo, tienden a dejar huecos en la zona de relleno. Es un mal sistema que puede dar lugar a la larga a asentamientos del camino. Debe tenerse cuidado de asegurarse de que en la zona en que vaya a construirse el camino no se ha empleado como material de relleno ninguno que contenga restos de este tipo. Si

fuera así, conviene eliminar este material volviendo terraplenar la zona con suelo adecuado.

Cumplida esta condición fundamental, el siguiente paso es trazar el camino estableciendo la planta y perfiles más adecuados, teniendo en cuenta el terreno circundante y las necesidades del usuario.

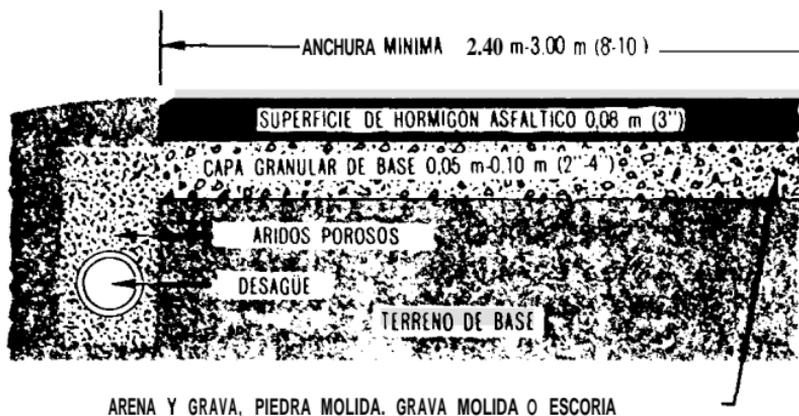


Figura XIII-2. Calzada privada pavimentada de asfalto

En las zonas de relleno debe compactarse perfectamente el suelo antes de construir el pavimento.

13.17 DRENAJE. Al establecer un sistema de drenaje es necesario asegurarse que se elimina el agua alejándola de los edificios, empleando un sistema de tubos subterráneos, si es necesario. En suelos muy drenantes, de tipo arena o grava, no es necesario, usualmente, construir un sistema de drenaje complicado. En limos y arcillas será necesario emplear todo tipo de precauciones para asegurarse de que no se estanque el agua al lado del edificio o en la zona próxima a la cimentación del camino. El agua procedente de las bajantes debe conducirse mediante tubos hasta puntos suficientemente alejados del camino para tener la seguridad de que no satura su cimentación.

### CAPA GRANULAR DE BASE



### CAPA ASFALTICA DE BASE

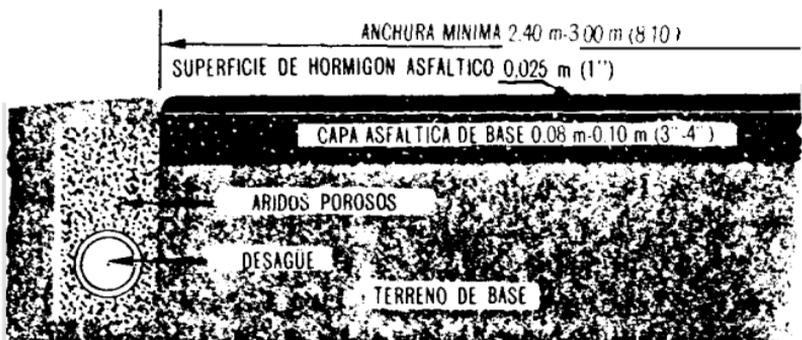


Figura XIII-3. Corte vertical típico de una calzada.

13.18 CONSTRUCCION DE LA BASE. Cualquier tipo de pavimento asfáltico exige algún tipo de base entre la capa de desgaste o de rodadura y el terreno. Usualmente, en las zonas residenciales, basta con 10 cm de material de base. La finalidad de esta base es distribuir la carga transmitida al terreno a través de la capa de superficie. Para la capa de base pueden emplearse materiales locales de calidad aceptable.

Las secciones transversal y longitudinal de la capa de base y sus espesores deben ser los previstos, y debe apisonarse, hasta conseguir una superficie firme y resistente, con el tipo más pesado de maquinaria de compactación de que se disponga y cuyo empleo sea

practicable en la zona en que se construye el camino. A falta de datos especiales es práctica segura emplear las especificaciones del Departamento de Carreteras local o del Ayuntamiento. Debe recordarse en este punto que la utilidad y buen funcionamiento del camino dependen de la construcción de una buena capa de base.

### 13.19 CAPA DE RODADURA ASFALTICA.

Existe cierto número de tipos generalmente empleados de superficies asfálticas para caminos. Aquí indicaremos solamente tres de los muchos tipos existentes. En cualquiera de ellos pueden hacerse modificaciones que los hagan adecuados para las condiciones locales. Los tres tipos que indicaremos son: 1) hormigón asfáltico (mezcla en caliente); 2) Mezcla asfáltica en frío, y 3) tratamiento superficial.

1. **Hormigón asfáltico (mezcla en caliente).** Es el tipo de pavimento más duradero, el que da mayor servicio con menor gasto de conservación.

El hormigón asfáltico se compone de áridos bien graduados y asfalto mezclados en una instalación central. Se mezcla y se extiende en caliente (105-165 °C). Este pavimento, una vez apisonado, es relativamente impermeable, fácil de limpiar y presenta una superficie lisa y de textura uniforme. Los espesores a emplear deben ser los indicados en la tabla XIII-3.

Las especificaciones del Instituto del Asfalto aplicables para los pavimentos de hormigón asfáltico son:

**SS** núm. 1: *Specification and Construction Methods for Hot Mix Asphalt Paving.*

2. **Mezcla asfáltica en frío.** La mezcla asfáltica en frío es una combinación de materiales asfálticos y áridos preparada en una instalación mezcladora central. Este tipo de mezclas se aplica usualmente en espesores superiores a 25 mm. Los áridos se mezclan sin calentamiento con un asfalto líquido o una emulsión asfáltica. La mezcla puede aplicarse en frío, y por ello resulta muy

**Tabla XIII-3—ESPEORES DE PAVIMENTOS PARA CAMINOS PRIVADOS  
PARA AUTOMOVILES DE TURISMO**

Tipo de terreno	Espesores necesarios			
	Superficie asfáltica	Capa de base	Capa de sub-base	Capa de aislamiento
Arenas o gravas arenosas bien drenadas	<b>5 a 7,5 cm.</b>	<b>7,5 a 10 cm.</b>	Ninguna	Ninguna
Arcillas limosas medias no plásticas	6 a 7,5 cm.	<b>7,5 a 10 cm.</b>	0 a <b>7,5 cm.</b>	4 a 6 cm.
<b>Arcillas blandas plásticas en estado húmedo</b>	<b>5 a 7,5 cm.</b>	10 a <b>12,5 cm.</b>	<b>10 a 12,5 cm.</b>	4 a <b>5 cm.</b>

- Nota: El espesor y tipo de superficie dependen de la intensidad del tráfico y de las condiciones climatológicas. Los tratamientos superficiales deben apoyarse en una base adecuada, y su espesor será normalmente inferior a **25 mm.**

conveniente en lugares en que es posible que el trabajo progrese muy lentamente.

La textura superficial de la mezcla en frío es de un tipo ligeramente abierto. La mezcla en frío es similar en apariencia al pavimento empleado usualmente en parques y zonas de juego. Este pavimento tiende a mantenerse algo poroso incluso después de haber sufrido tráfico considerable. Aunque puede extenderse en capas hasta de 25 mm, los espesores deben ser los indicados en la tabla XIII-3.

Las especificaciones del Instituto del Asfalto aplicables a los pavimentos con mezclas asfálticas en frío son:

CL-4 capas de base y de superficie de mezclas asfálticas en frío con emulsión asfáltica (áridos de granulometría densa).

3. **Tratamiento superficial.** Se compone de una delgada capa de desgaste, de espesor usualmente inferior a 25 mm, compuesta de dos o más aplicaciones de asfalto líquido cubiertas con áridos. El tratamiento superficial es un tipo de pavimento económico que da buenos resultados durante un período limitado de tiempo. Puede emplearse como un paso en la construcción por etapas.

El tratamiento superficial da una capa de desgaste impermeable, adecuada para tráfico ligero. Recién construido quedarán sobre la superficie algunos áridos sueltos, pero éstos pueden barrerse después de varias semanas.

Los materiales asfálticos empleados en los tratamientos superficiales y revestidos de sellado se especifican en el capítulo VIII, sección F.

13.20 REFERENCIAS. A continuación se indican algunas publicaciones del Instituto del Asfalto que contienen información referente a la pavimentación de aparcamientos y caminos particulares:

1. *Specifications and Construction Methods for Asphalt Concrete and Other Plant-Mix Types*, Specification Series núm. 1 (SS-1).

2. *Thickness Design-Asphalt Povement Structures for Highways and Streets*, Manual Series núm. 1 (MS-1).
3. *Asphalt Paving Manual*, Manual Series núm. 8 (MS-8).
4. *Asphalt Surface Treatments ond Asphalt Penetration Macodam*, Manual Series núm. 13 (MS-13).
5. *Paving Roof Decks ond Industrial Floors* de Lansing Tuttle, Information Series núm. 130 (IS-130).

# Capítulo XIV

## EMPLEO DEL ASFALTO EN OBRAS HIDRAULICAS

### *A) Introducción*

14.01 GENERALIDADES. El empleo del asfalto en las obras hidráulicas data de la más lejana antigüedad y sus grandes ventajas hacen que su empleo se extienda cada vez más. La versatilidad del asfalto ha conducido, naturalmente, a muchas modalidades diversas en su empleo en las estructuras hidráulicas. Algunos de estos empleos, que se discutirán con mayor detalle en este capítulo, son: revestimientos de canales y torrentes, revestimiento de depósitos y piscinas, control de la erosión en torrentes y lagos, revestimientos de presas, escolleras y depósitos para aguas industriales y sistemas de tratamiento de residuos.

En el empleo del asfalto en estructuras hidráulicas no deben correrse riesgos innecesarios construyendo sin un proyecto cuidadoso y los necesarios estudios de laboratorio, tomando, en suma, las mismas precauciones que en cualquier otra construcción. En casi todas las regiones existen áridos satisfactorios para este tipo de construcción. En caso de que la economía haga aconsejable emplear materiales de cuyo empleo no exista experiencia previa, deben hacerse estudios de laboratorio que indiquen el mejor modo de emplearlos en la construcción. Teniendo presente esta idea básica general, los factores más importantes a considerar son:

1. Terreno.
2. Control de la vegetación.
3. Proyecto y construcción.

14.02 TERRENO. Es evidente que el hormigón asfáltico para revestimientos hidráulicos no depende de la cimentación o el terreno de la misma forma que lo hace en un sentido técnico en un pavimento sometido a la acción del tráfico. Sin embargo, existen semejanzas en determinados factores de proyecto, construcción y

utilidad. Es importante **la** consolidación del terreno en los cajeros, especialmente **en** suelos densos o semidensos con pendientes muy acentuadas: pendiente **2 : 1** o mayor. Además, en este caso, **es** esencial para la posterior compactación del revestimiento una cimentación sólida. Rara vez **será** necesario el empleo de una capa de base de material seleccionado e importado. **Sin** embargo, los principios ingenieriles establecidos sobre el control y consolidación del suelo deben aplicarse con el mayor cuidado posible en los cajeros y en el fondo. Además de consolidar perfectamente el terreno, se recomienda que se redondee la unión entre cajeros y fondo. La experiencia ha indicado que un radio de curvatura no inferior a la mitad de la anchura del fondo **ni** a un metro facilita la colocación y compactación del revestimiento asfáltico, haciendo también más difícil que se produzcan grietas **en** la arista durante la compactación. **Los** bordes superiores deben extenderse al menos 15 cm sobre las bermas, cubriéndolos después con tierra o, si no, debe aumentarse su espesor ligeramente. Se recomienda que la pendiente mínima de los cajeros sea de 1,5 : 1. Véase la sección transversal típica en la figura XIV-1.

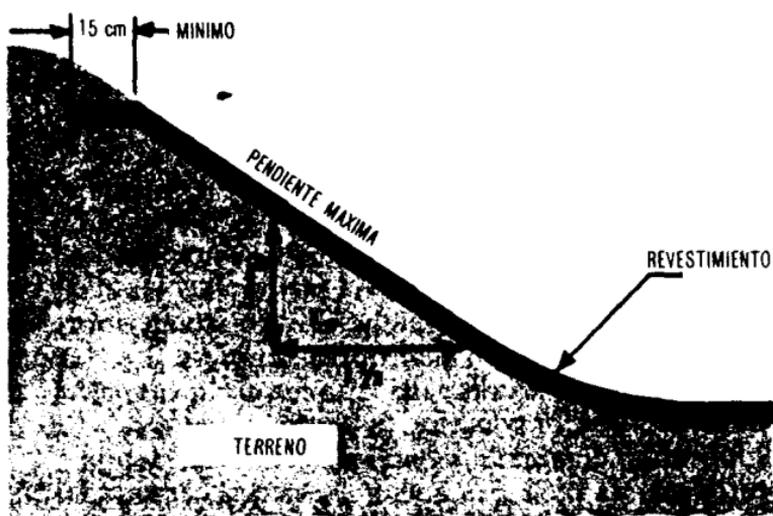


Figura XIV-1. Sección característica del revestimiento de un canal o depósito.

14.03 CONTROL DE LA VEGETACION. Si existen dudas sobre la esterilidad del suelo sobre el que ha de aplicarse el hormigón asfáltico, es recomendable el empleo de algún tipo de control de la vegetación. Los principales métodos que se han empleado con éxito están incluidos en dos categorías generales:

1. Productos químicos inorgánicos.
2. Derivados del petróleo.

Los principales productos del primer tipo son compuestos arsenicales, clorato sódico y bórax-sosa (80 % de bórax y 20 % de sosa). Para evitar el peligro de inflamabilidad del clorato sódico se recomienda el empleo de una mezcla de bórax-lejía y clorato sódico en la relación de 10: 4 en peso. Esta mezcla puede aplicarse al terreno en forma de polvo a razón de aproximadamente 250 g/m<sup>2</sup>, regándola después ligeramente con agua suficiente para hacerla penetrar en el suelo, pero no tanta que corra a lo largo de los cajeros. También puede aplicarse en disolución, regulando la concentración y la cantidad de disolución, de tal forma que la dosificación aplicada se aproxime a las cifras antes indicadas.

La historia de los derivados del petróleo como herbicidas es limitada si se compara con la de los productos químicos inorgánicos antes citados; pero algunos destilados muy aromáticos y otros productos con temperaturas de ebullición próximas a las del combustible tipo Diesel parecen prometedores en este aspecto. También se emplean con éxito productos menos tóxicos, como fuel-oil comercial reforzado con productos químicos herbicidas solubles. Entre estos productos parece prometedor el Diesel oil con un 1,5 % de pentaclorofenol. Estos herbicidas se pulverizan sobre el terreno preparado con una dosificación de 3 a 4 l/m<sup>2</sup> en varias aplicaciones de aproximadamente 0,8 a 1,2 l/m<sup>2</sup>, permitiéndoseles penetrar y evaporarse durante varios días antes de aplicar el revestimiento.

Además de estas precauciones, ciertas características del proyecto del hormigón asfáltico, e incluso el tipo de asfalto, tienen alguna influencia en el control de la vegetación. La experiencia indica que una mezcla densa

y rica empleando un asfalto duro contribuye a disminuir mucho el peligro de crecimiento de hierbas.

**14.04 PROYECTO.** Los objetivos a cumplir en las estructuras hidráulicas son varios. Entre ellos citaremos:

1. Evitar la pérdida de agua.
2. Proteger las laderas de la erosión.
3. Disminuir el rozamiento.
4. Reducir la conservación necesaria.

Para cumplir estas finalidades de un modo satisfactorio el revestimiento debe ser resistente y duradero, tener estabilidad mecánica y superficie lisa, ser suficientemente flexible para admitir pequeñas deformaciones y ser impermeable. Los revestimientos y estructuras asfálticos adecuadamente proyectados y construidos cumplen todas estas exigencias. Se han empleado



**Figura XIV-2. Canal revestido de hormigón asfáltico.**

en estructuras hidráulicas diversos tipos de revestimientos y mezclas, y debe hacerse un cálculo de proyecto cuidadoso para cada tipo de trabajo. Al construir estas estructuras deben establecerse y seguirse procedimientos detallados de construcción para obtener resultados de utilidad práctica.

**14.05 TIPOS.** En la construcción de depósitos, canales y acequias se emplean diversos tipos de revestimientos asfálticos, entre los que citaremos: hormigón asfáltico, membranas enterradas, revestimientos prefabricados y revestimientos de zavorras tratadas por penetración. Todos estos tipos son de utilidad en casos determinados y merecen ser estudiados cuidadosamente. Los criterios de proyecto varían según los empleos particulares.

### ***B) Revestimientos de hormigón asfáltico para canales***

**14.06 PROYECTO DE LA MEZCLA.** Después de muchos años de comportamiento satisfactorio, el hormigón asfáltico mezclado y extendido en caliente, se ha consagrado en el campo de las obras hidráulicas como un excelente método de construcción. Cumple todas las exigencias indicadas en el párrafo **14.04**.

El tipo de hormigón asfáltico que cumple con mayor perfección las antes citadas exigencias funcionales es una mezcla rica, densa y bien graduada. Esta mezcla, que contiene menos del 5 % de huecos en estado compactado, puede considerarse impermeable. Debe componerse de áridos resistentes y bien graduados con tamaño máximo no superior a 18 mm y contener la máxima cantidad de asfalto compatible con una elevada estabilidad. En la página siguiente indicamos dos granulometrías recomendadas.

El asfalto debe tener una penetración no inferior a **60** ni superior a 100, prefiriéndose asfaltos del tipo **60-70**. Las mezclas fabricadas empleando los asfaltos más duros presentan mayor resistencia al crecimiento de la vegetación, al agrietamiento por lodo, al desplazamiento y al descuelgue. Son menos perjudicadas por los cascos de los animales y menos susceptibles a los

Mezda número	I	II
Espesor mínimo	1 1/2 pulgadas	1 pulgada
Porcentaje que pasa		
3/4" tamiz . . . . .	100	—
1/2" tamiz. . . . .	95-100	—
3/8" tamiz. . . . .	—	100
Número 4 tamiz. . . . .	60-80	90-97
Numero 8 tamiz. . . . .	43-58	70-83
Número 50 tamiz, . . . . .	22-32	30-38
Numero 100 tamiz. . . . .	16-24	20-28
Número 200 tamiz. . . . .	8-15	10-16
Betún asfáltico. . . . .	7-9	8-10

cambios de temperatura, resistentes y duraderas incluso sometidas a climas extremados.

**14.07 CONSTRUCCION.** El espesor de los revestimientos de hormigón asfáltico varía de 40 mm en los canales más pequeños (perímetro mojado  $\leq$  4 m) a 75 mm en las obras más grandes. No existe una evidencia convincente de que sean nunca necesarios espesores superiores a 75 mm, mientras que, por el contrario, existen muchas pruebas de que 50 mm bastan en casi todos los casos.

La compactación de la mezcla es importante y debe conseguirse perfectamente. Se recomienda exigir en las especificaciones, como mínimo, el 95 % de la densidad de las probetas de laboratorio. Antes se conseguía esta compactación apisonando transversalmente mediante rodillos arrastrados por cabrestantes montados sobre camiones o tractores situados en el borde superior de los cajeros. Recientemente se ha desarrollado maquinaria más adecuada en la que se emplea la compactación vibratoria, encofrados deslizantes y apisonado longitudinal, o una combinación de ellos. No cabe duda de que en el futuro aparecerá maquinaria más satisfactoria para extender y compactar este tipo de mezclas. Mientras tanto debe conseguirse la compactación deseada por los medios más prácticos de que se disponga. El empleo de mallas de alambre como armadura no se

recomienda en el hormigón asfáltico para revestimientos hidráulicos. La experiencia ha indicado que, debido al efecto de resorte del alambre deformado y a los diferentes coeficientes de dilatación, la malla de acero hace más mal que bien y no es necesaria si se cumplen las exigencias antes indicadas en cuanto a proyecto y construcción.



**Figura XIV-3. Colocación de un revestimiento de hormigón asfáltico con métodos improvisados. Depósito de la Lemont Water Company, Pensilvania.**

Una mezcla de granulometría densa, rica, bien compactada y adecuadamente extendida no necesita un tratamiento de sellado. Esto es especialmente cierto cuando se extiende el revestimiento mediante encofrados deslizantes o se emplea compactación vibratoria. A este particular debe mencionarse que los áridos redondeados aumentan la trabajabilidad y la facilidad de compactación de la mezcla. También es importante que la relación entre el tamaño máximo de los áridos y el espesor de la capa compactada sea pequeña. Como regla general, esta relación debe ser un tercio, y nunca superior a un medio.

### **C) *Revestimiento de canales con membrana enterrada***

**14.08 GENERALIDADES.** Las membranas asfálticas enterradas, como su nombre indica, son capas asfálticas impermeables que se cubren con tierra, arena, grava o cualquier otro material protector resistente a la erosión.

Estos revestimientos se emplean fundamentalmente para evitar las pérdidas de agua de los canales, especialmente cuando se construyen en terrenos arenosos permeables o cuando se encuentran zonas con fallas, terrenos pizarrosos o materiales semejantes. Cuando se emplean capas protectoras de arena, grava o materiales semejantes, de espesores comprendidos entre 15 y 60 cm, se obtiene frecuentemente un revestimiento perfectamente impermeable con sólo una fracción del costo de revestimientos de tipo convencional. La membrana asfáltica, protegida del aire y de los rayos solares, puede durar muchos años. La consideración fundamental al construir revestimientos de tipo membrana enterrada es la obtención de una membrana asfáltica y de una capa protectora de espesor suficiente, con materiales y pendientes que eviten el corrimiento de la capa protectora en las condiciones de trabajo.

**14.09 MATERIALES.** Los materiales asfálticos empleados en las membranas enterradas deben ser su-

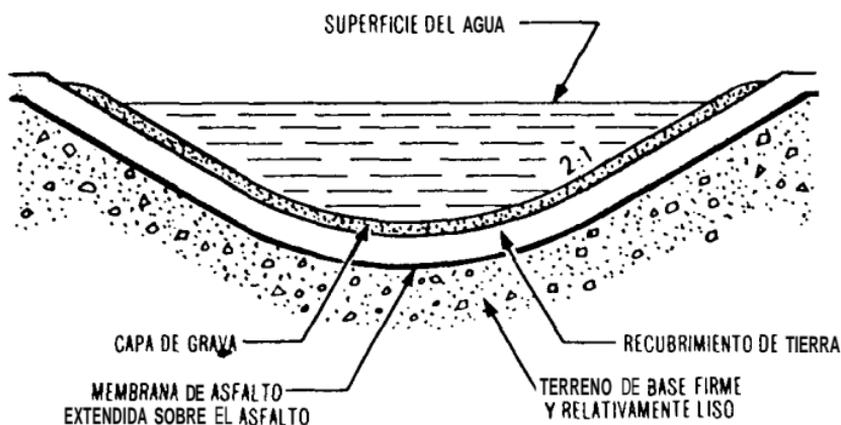
ficientemente resistentes para soportar **los** esfuerzos que se producen durante **su** cubrición con las tierras, y suficientemente dúctiles para resistir **el** agrietamiento durante posibles movimientos del conjunto. **El** objetivo fundamental es conseguir una película continua.



**Figura XIV-4.** La barra extendidora lateral unida al camión extendedor coloca una membrana de asfalto caliente para que sirva de recubrimiento de un canal grande.

Se han estudiado varios materiales asfálticos adecuados para satisfacer estas exigencias, con la conclusión (en las experiencias realizadas hasta la fecha) de que el que mejor satisface las necesidades planteadas es un asfalto oxidado catalítico de penetración comprendida entre 50 y 70, con puntos de reblandecimiento del orden de 80-95 °C.

La membrana asfáltica aplicada debe ser continua, sin orificios o zonas porosas. La cantidad de material necesaria varía considerablemente con la textura del terreno. Sobre una base lisa son necesarios al menos 6 l/m<sup>2</sup> si se desea obtener una membrana razonablemente duradera e impermeable. Esto da lugar a membranas de espesor comprendido entre 4,5 y 7,5 mm.



**Figura XIV-5. La tierra preexistente sirve perfectamente para recubrir la membrana extendida anteriormente. (A veces se necesita grava para evitar corrimientos.)**

**14.10 METODOS DE CONSTRUCCION.** Al hacer la excavación para un canal que vaya a impermeabilizarse con membrana asfáltica enterrada, debe tenerse en cuenta el espesor de material de protección que vaya a emplearse. El material de protección se acopia en la orilla, y la superficie del terreno debe alisarse con motoniveladora o dragalina. Debe tenerse

en cuenta que la continuidad de la membrana y la cantidad de material necesario para lograr esta continuidad dependen en gran manera de la lisura de la superficie, que debe ser **tan** grande como sea posible. A continuación se aplica la membrana sobre esta superficie. Después de colocada la membrana y dar tiempo al material asfáltico para enfriarse se coloca sobre la capa asfáltica un revestimiento de tierra, arena, grava u otro material similar. Se recomienda que se emplee una capa de tierra de espesor no inferior a 30 cm.

Al principio de la vida de un tratamiento terminado debe tenerse cuidado, una vez se ha colocado la capa protectora de tierra y el canal ha entrado en uso, de que la membrana no quede expuesta a los elementos por corrimiento de la capa protectora. Este corrimiento se producirá con cierta frecuencia por arrastre bajo grandes caudales, que deben evitarse. Si la membrana queda expuesta a los elementos debe cubrirse en seguida, ya que si no puede llegar a dañarse de manera permanente.

El material de cubrición debe aplicarse cuidadosamente para evitar dañar la membrana. El espesor de la capa protectora puede variar de **30** a **60** ó **90** cm, según el tipo de material y las condiciones de trabajo. Normalmente no deben aplicarse revestimientos de este tipo a pendientes más acentuadas que **1 3 4** : 1. El material de cubrición puede aplicarse sobre cualquier pendiente estable, que usualmente no será superior a la indicada.

Los revestimientos de canales con membrana enterrada, construidos cuidadosamente y conservados como antes se **ha** indicado, son muy duraderos y eficaces.

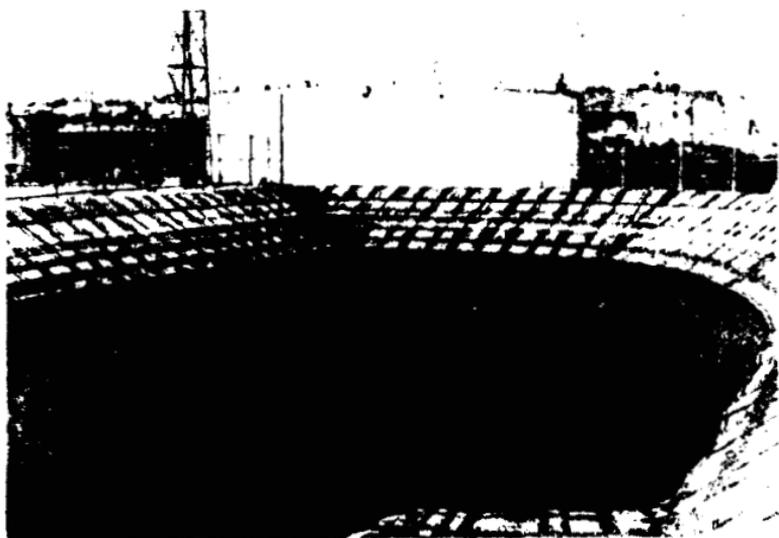
## ***D) Revestimientos prefabricados***

14.11 GENERALIDADES. En general, los revestimientos asfálticos prefabricados consisten en mezclas asfálticas impermeables densas o másticos aplicados sobre diversos tipos de tejidos, empleados como trasdós o alma, fabricados en instalaciones centrales y

transportados como productos terminados a la obra en que se aplican.

Estos revestimientos se presentan en forma de paneles o rollos. Son especialmente útiles en los puntos en que no se dispone de instalaciones mezcladoras o máquinas pavimentadoras, o cuando no es económico ponerlas en servicio o las limitaciones de espacio impiden su uso.

**14.12 DESCRIPCION.** Existen dos tipos de revestimientos asfálticos prefabricados para canales que han estado en servicio durante tiempo suficiente para quedar consagrados como revestimientos eficaces y servir como modelos.



**Figura XIV-6. Depósito industrial de paneles de asfalto prefabricados.**

Un tipo de revestimiento asfáltico prefabricado, conocido normalmente como paneles asfálticos, se emplea en gran escala para impermeabilizar depósitos, piscinas, canales, etc. Los paneles asfálticos se componen de un alma de asfalto oxidado dúctil reforzado con filler mineral y fibras. Diversos ingredientes se mezclan y moldean con aplicación de presión y calor en forma de tableros o paneles del espesor, anchura

y longitud deseados. A continuación, el alma así obtenida, se reviste por ambas caras con capas de fieltro asfáltico y un revestimiento protector de asfalto de impermeabilización aplicado en caliente. Se fabrican en longitudes hasta de 10 m, según las necesidades. Las longitudes de 3 a 0,5 m son de manejo más fácil y generalmente preferidas. Sus espesores varían de 3 a 12 mm, según las necesidades. Generalmente, se emplean anchuras de 1 a 1,20 m. El peso de los paneles de 12 mm de espesor es aproximadamente de 15 kg/m<sup>2</sup>. Los pesos de las chapas de otros espesores son proporcionales al indicado.

El segundo tipo de revestimientos prefabricados se compone de material fabricado en rollos del mismo tamaño que los fieltros empleados en impermeabilización. Estos materiales tienen una armadura de fieltro, velo de vidrio o fieltro de amianto, saturada y revestida con asfaltos fillerizados o másticos asfálticos.

**14.13 CUALIDADES NECESARIAS.** Los revestimientos prefabricados deben construirse sobre bases o almas de tejidos con considerable resistencia a tracción, para reducir al mínimo los daños producidos durante su manejo y por la vegetación. Este tejido debe ser incorruptible. Generalmente, se emplean velo de vidrio, fieltro de amianto, fieltro de fibras y otros materiales semejantes.

Los materiales asfálticos empleados como revestimiento sobre el alma de fieltro impregnado deben ser impermeables, ya que ésta es su función primordial. También deben ser razonablemente lisos para oponer la menor resistencia posible al flujo del agua y disminuir al mínimo las posibilidades de anclaje de las plantas acuáticas. Son esenciales las buenas cualidades en cuanto a envejecimiento. Los revestimientos deben estar unidos al alma de manera continua, de manera que no fluyan ni formen bolsas; esto es, deben ser estables, pero al mismo tiempo flexibles y trabajables. La capacidad de resistir el agrietamiento cuando se les dobla según curvas de radio muy pequeño es esencial. Estas hojas o rollos no deben ser demasiado pesados, para que sea posible manejarlos manualmente.

**14.14 CONSTRUCCION.** Los revestimientos as-

fálticos prefabricados se emplean tanto en depósitos como en canales. Los paneles asfálticos de 12 mm de espesor han sido el tipo más empleado, principalmente en la construcción de depósitos para suministros de agua e industriales. Se han empleado como revestimiento original y como revestimiento posterior de revestimientos de hormigón hidráulico muy agrietados y con pérdidas considerables. Las juntas son los puntos críticos. La junta se obtiene solapando una chapa sobre la otra al menos en 8 cm, o bien a tope, cubriendo la junta con un cubrejuntas de 15 cm de anchura por lo menos. Las dos chapas deben pegarse cuidadosamente a todo lo largo de la junta, usualmente haciendo presión con el pie y empleando como material de unión asfalto en caliente o un mástico especial. A continuación la junta se impermeabiliza y refuerza por aplicación de mástico a lo largo de todos los bordes vistos.

### ***E) Revestimiento de mampostería rejuntada con asfalto***

**14.15 GENERALIDADES.** Los revestimientos de este tipo se han utilizado en torrentes en que se presentan frecuentemente grandes caudales con altas velocidades. Se coloca la mampostería llenando los huecos entre los diversos elementos con un mástico asfáltico o un asfalto de baja penetración. Deben tomarse precauciones para asegurarse de que se llenan bien todos los huecos para evitar la pérdida de agua. Antes de construir este tipo de revestimiento debe analizarse cuidadosamente el costo, ya que es posible que pueda encontrarse algún tipo de construcción más económico y eficiente.

### ***F) Revestimiento de depósitos y lagunas***

**14.16 GENERALIDADES.** El asfalto está encontrando cada vez más uso en el revestimiento de depósitos para abastecimiento de agua. Puede emplearse en forma de membranas o paneles prefabricados, dando revestimientos impermeables, y como hormigón asfál-



Figura XIV-7. Aplicación en un depósito de un revestimiento prefabricado de asfalto.

tico puede emplearse en forma de revestimientos impermeables o porosos. Durante muchos años se han experimentado diversos tipos de materiales asfálticos para depósitos y lagunas. Los primeros intentos se realizaron empleando asfaltos fluidificados de curado lento mezclados *in situ* con áridos locales. Actualmente, numerosos depósitos de muchos millones de litros de capacidad, y otros de dimensiones más reducidas, emplean uno o varios de los tres tipos fundamentales de revestimiento: hormigón asfáltico, membrana asfáltica y paneles asfálticos prefabricados.

**14.17 MATERIALES Y CONSTRUCCION.** En la construcción de depósitos el hormigón asfáltico desempeña un papel doble. Sirve como revestimiento impermeable o como revestimiento poroso. Cuando se emplea como revestimiento exterior poroso, la impermeabilidad se consigue mediante una capa inferior de tierra arcillosa o con algún otro tipo de sellado. El empleo de revestimientos de hormigón asfáltico poroso disminuye las subpresiones y evita el levantamiento del revestimiento durante el vaciado, permitiendo al agua contenida en el terreno fluir al interior del depósito sin producir daños. La principal función del revestimiento de hormigón asfáltico poroso es evitar la erosión y proporcionar una superficie de trabajo que permita la limpieza y conservación del depósito. A veces se emplea como ~~capa~~ capa porosa enterrada, que sirve como drenaje para controlar las pérdidas a través del revestimiento impermeable.

La composición de los hormigones asfálticos difiere según se empleen de una u otra de las dos formas indicadas. Las mezclas porosas deben tener áridos de mayor tamaño, y su contenido de asfalto es más bajo en general. Las mezclas impermeables deben ser ricas en asfalto y tan densas como sea posible.

El hormigón asfáltico para revestimiento de depósitos debe ser resistente, duradero y no erosionable. La mezcla debe contener un elevado porcentaje de asfalto de los tipos más duros. Generalmente, no estará sometida a cargas concentradas, pero debe resistir la fluencia plástica bajo el efecto constante de su propio peso. Para esta finalidad se recomiendan asfaltos de

concentración comprendida dentro de los límites 60-70.

En la construcción de revestimientos de hormigón asfáltico se prepara la mezcla en una instalación mezcladora, se transporta después a la obra, se extiende y compacta sobre terreno preparado mediante máquinas pavimentadoras de tipo convencional o a mano, y se apisona con apisonadoras o mediante maquinaria especialmente proyectada o modificada. Usualmente se hace alguna modificación en las máquinas, especialmente para el revestimiento de los cajeros.

Los revestimientos de tipo membrana en depósitos y piscinas se aplican de la misma forma que en los canales.

### **G) Protección contra la erosión**

**14.18 GENERALIDADES.** Se han empleado diversos tipos de mezclas asfálticas y métodos constructivos para evitar la erosión en torrentes, canales, ríos y lagos. La erosión da lugar a problemas de muy diverso tipo, y cada uno de ellos debe tratarse de una forma diferente. En muchos casos es posible revestir las orillas lo mismo que cuando se construye un revestimiento impermeable asfáltico para un depósito. Al proyectar y construir el revestimiento de mezcla asfáltica deben tenerse en cuenta otros tipos que se han empleado con éxito, como se indica más adelante en este mismo capítulo. Las diferencias existentes pueden exigir se tengan en cuenta uno o más de los siguientes factores: aumento del espesor, mezcla permeable, armadura metálica, penetración del betún asfáltico y empleo de áridos locales.

**14.19 ESPESOR.** Cuando se construyen escolleras en las que es previsible una violenta acción del oleaje pueden ser necesarios espesores superiores a 75 mm; lo mismo ocurre en revestimiento de cauces torrenciales por los que puedan ser arrastradas durante las avenidas piedras de gran tamaño. Estos incrementos del espesor se determinan por estimación, teniendo en cuenta la experiencia previa en construcciones de naturaleza similar, y no son aplicables criterios de proyecto de carácter general.

11.20 REVESTIMIENTOS PERMEABLES. Frecuentemente se construyen revestimientos de hormigón asfáltico para evitar la erosión en obras en las que el nivel del agua no es constante, por lo que es previsible se produzcan subpresiones que exijan el empleo de una mezcla de tipo permeable. Esto es especialmente cierto cuando el revestimiento se aplica a suelos densos o semidensos con índices de plasticidad elevados. En estos casos se recomienda una mezcla compuesta de partículas de la siguiente granulometría:

<i>Tamices</i> (Aberturas cuadradas)	<i>Porcentaje total que pasa</i> (En peso)
3''	100
$\frac{3}{4}$ ''	80
Num. 4	50 (Máximo)
Num. 8	30 "
Núm. 30	13 "
Núm. 100	2 "
Núm. 200	0 "
Betún asfáltico (Porcentaje sobre mezcla total) . . . . .	6 (Máximo)

Otro procedimiento que se ha empleado para obtener revestimientos permeables es el aplicar poca o ninguna compactación a una mezcla de granulometría más densa. Al no apisonar la superficie después de la extensión de la mezcla el contenido de huecos se mantiene relativamente alto, e incluso las mezclas densas se mantienen permeables en cierta medida. Como regla general, no se recomienda este sistema por los peligros de inestabilidad de la capa de hormigón asfáltico y de la mayor vulnerabilidad a los daños producidos por los objetos flotantes. Sin embargo, se indica este procedimiento como un método posible de resolver el problema de obtener permeabilidad del revestimiento, especialmente cuando se dispone en condiciones económicamente aceptables de áridos locales de granulometría densa. En general, el mejor sistema es proyectar una mezcla permeable y compactarla perfectamente de la forma usual.

Un sistema muy empleado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos en el reves-

timiento del curso inferior del río Mississippi, es emplear una mezcla asfáltica en caliente sin compactar de arena y asfalto. Los áridos se componen de arena del río excavada (no dragada), de la que no debe pasar por el tamiz número 100 menos del 1 ni más del 8 %. Se mezcla con aproximadamente un 6 % de betún asfáltico de penetración 85-100 en una instalación mezcladora flotante, empleando un mezclador de paletas de tipo



**Figura XIV-8. Revestimiento de la orilla superior del río Mississippi.**

continuo. Se pone en obra a temperaturas comprendidas entre 107 °C y 135 °C con una tolva extendedora que la extiende en capa de 12 cm, y se deja sin compactar. La mezcla debe ser porosa para que permita la salida del agua contenida en el terreno, evitando los daños causados por la subpresión. Se deja sin compactar para permitir alguna adaptación al contorno de la orilla si se produjera pérdida de materiales situados debajo. Revestimientos de este tipo o de otros similares han estado en funcionamiento durante muchos años resistiendo con éxito la acción del oleaje, inundaciones

y otros ataques. Un estudio realizado recientemente sobre su vida probable la ha estimado en 20 años o más.

Otra solución para el problema de las subpresiones que se ha empleado con éxito consiste en colocar una capa de material drenante granular bajo el revestimiento de hormigón asfáltico. Si se actúa de esta forma y se desea la impermeabilidad del revestimiento debe emplearse una mezcla de tipo denso. La elección del tipo de tratamiento depende de las condiciones económicas locales y de exigencias funcionales.

**14.21 ARMADURAS METÁLICAS.** Se han empleado tres métodos generales para proteger el hormigón asfáltico al pie de una ladera contra la socavación y la destrucción subsiguiente. Uno de los métodos es extender el revestimiento hasta una profundidad de 1,20 m a 1,80 m por debajo del lecho de la corriente. Naturalmente, esto sólo es posible cuando el cauce se queda en seco durante la temporada de trabajo. Si se emplea este método es dudosa la utilidad de emplear armaduras metálicas. Otro método es aplicar por vertido, al pie de la ladera, un recubrimiento de escollera que evita la erosión y socavación. El tercer método es el empleo en el revestimiento asfáltico de una armadura de alambre, de forma que pueda adaptarse a cambios de rasante importantes producidos por la socavación sin separarse completamente del conjunto del revestimiento. Este empleo de las armaduras metálicas debe considerarse como solución a un problema particular y no de naturaleza que le haga aplicable, en general, más que en aplicaciones semejantes.

En revestimientos normales de hormigón asfáltico no se recomienda el empleo de armaduras metálicas a menos que se considere altamente probable la erosión del pie del revestimiento. Si se emplean armaduras, pueden utilizarse satisfactoriamente diversos tipos de telas metálicas prefabricadas. En la California meridional se han empleado para este fin mallas de tipo F Ellwood u otras equivalentes. El alambre debe ser galvanizado, si es de galgas 14 ó 16, y con separación entre alambres de 10 cm, aproximadamente. Es conveniente que los rollos sean lo más anchos posible, disminuyen-

do con ello la cantidad necesaria de ataduras. El alambre debe extenderse paralela o perpendicularmente al eje del cauce. Se recomienda el primer sistema, que exige menos atado, haciendo las ataduras cada 10 cm con alambre al menos de galga 14. En la coronación deben clavarse tubos de hierro o piquetes metálicos de aproximadamente 5 cm de diámetro y 1,50 m de longitud, cada 1,80 m, a los que se fijará sólidamente la malla metálica. Al extender el hormigón asfáltico sobre el alambre éste debe levantarse ligeramente, introduciéndolo en la mezcla, mediante ganchos metálicos, antes de apisonar la superficie. El tipo de protección que se emplea contra la socavación depende de las circunstancias locales y del juicio del ingeniero.

**14.22 PENETRACION DEL BETUN ASFALTICO.** En los casos normales en que se aplica inicialmente el revestimiento de hormigón asfáltico en su posición final y no se esperan grandes deformaciones, el betún asfáltico a emplear en la mezcla debe ser el mismo empleado en revestimientos de canales, esto es, de penetración comprendida entre 60 y 100. Sin embargo, en casos especiales, como revestimientos prefabricados que hayan de transportarse después del enfriamiento, puede ser aconsejable emplear asfaltos más blandos, llegando hasta penetraciones de 200. Si se emplean asfaltos de penetración superior a 100 y los elementos prefabricados han de aplicarse sobre pendientes muy acentuadas, puede ser deseable aumentar su resistencia a la fluencia mediante el empleo de fillers especiales, como tierra **de diatomeas**.

**14.23 EMPLEO DE ARIDOS LOCALES.** Aunque se recomienda el empleo de áridos aprobados y ensayados en laboratorio, hay casos en que motivos económicos pueden hacer aconsejable el empleo de áridos locales. Cada caso de éstos debe considerarse como un problema separado y no pueden darse recomendaciones generales, salvo que deben hacerse estudios completos técnicos y de laboratorio de los áridos en cuestión, de forma que pueda sacarse de ellos el máximo provecho. Con las técnicas actualmente conocidas puede emplearse casi cualquier tipo de material granular, cualquiera que sea su tamaño, determinando

directamente la cantidad y tipo de asfalto necesarios o mezclandolo con otros materiales granulares y fillers, determinando a continuación la cantidad de asfalto precisa. De esta forma es posible un número de soluciones casi infinito para los problemas generales de la prevención de la erosión.

**14.24 APLICACION EN MASA BAJO EL AGUA DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE.** La protección de las orillas de los ríos bajo el nivel del agua con mezclas asfálticas aplicadas en masa, desarrollada por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, es el resultado de la experiencia obtenida en la colocación bajo el agua de mezcla asfáltica en caliente en el dique de Galveston. Experimentos iniciales demostraron que cuando se vertían, sobre la parte sumergida de la orilla, a través del agua, grandes masas de mezcla arena-asfalto en caliente, éstas se extendían formando una capa delgada antes de enfriarse. Durante **1947** se hizo una aplicación en gran escala de revestimientos de este tipo en Reid-Bedford, cerca de Vicksburg, en el río Mississippi. Se preparó una mezcla compuesta de arena de playa local, que pasaba por el tamiz número 10, y de un **10** a un **11** % de betún asfáltico de penetración **85-100**. La mezcla se preparó en una instalación mezcladora montada en una barcaza y se transportó a una temperatura de unos **200 °C**, por medio de una cinta transportadora, a una gran barcaza de dos compartimientos con descarga por el fondo, que contenía una capa aislante de arena. La mezcla se fundió en masas de aproximadamente **260 t**, a una temperatura de **180 °C**, aproximadamente, extendiéndose y formando un revestimiento de espesor variable entre **75** y **315** mm. El objetivo perseguido era obtener un recubrimiento completo de la zona a proteger de la erosión. Para asegurarse de que no se había dejado sin recubrir ninguna zona fue imprescindible un reconocimiento submarino. Es probable que la colocación en masa de mezclas de este tipo encuentre un empleo similar en la protección de costas de lagos y océanos, entradas de puertos, etc.

**14.25 COSTAS DE LAGOS.** Para evitar la erosión en las costas de los lagos pueden utilizarse tam-

bién protecciones similares a las empleadas en los canales. Antes de determinar el tipo de revestimiento debe hacerse un análisis de las condiciones existentes. Una de las mayores obras de este tipo se construyó en el lago Okeechobee, de Florida, por el Cuerpo de Ingenieros. El revestimiento se componía principalmente de una mezcla de arena y caliza blanda de tamaños comprendidos entre el de polvo y los 37 mm. Como aglomerante se empleó asfalto líquido (asfalto fluidificado de curado rápido) con un contenido de disolvente inferior al 10%. Se comprobó que resultaba preferible para la mezcla el empleo de un contenido de asfalto comprendido entre el 9 y el 10%. La mezcla se fabricó en una instalación mezcladora en caliente, extendiéndola sobre las orillas mediante maquinaria de pavimentación de tipo convencional. La mezcla curó y compac-



**Figura XIV-9. Pavimentación del paramento de un dique en el lago Okeechobee, Florida.**

tó, después de lo cual se selló con un asfalto fluidificado de tipo RC-2. El revestimiento ha demostrado ser muy eficaz en la prevención de la erosión de las orillas del lago.

### ***H) Diques y escolleras asfálticos***

14.26 GENERALIDADES. Las primeras estructuras construidas para luchar contra el mar fueron diques y escolleras. Se construían usualmente de grandes trozos de piedra, pilotes de madera o tablestacas. Los países europeos, especialmente los que rodean el mar del Norte, han luchado contra el océano durante generaciones con diques y escolleras. Hace pocos años descubrieron el valor del asfalto y han tratado por penetración y revestimiento con mezclas asfálticas muchas estructuras. En 1935 se reparó una escollera existente, llenando los huecos y recubriéndola después con una mezcla de arena y asfalto. De este experimento se derivaron conclusiones muy interesantes. Una escollera tratada por penetración con mezcla asfáltica en 1939, en Long Beach, California, aún resiste en excelentes condiciones los embates del océano Pacífico.



**Figura XIV-10. Dique recubierto de asfalto en Palos Verdes, California.**

Los experimentos americanos con diques asfálticos comenzaron en 1948 en Wrightsville Beach, de North Carolina. Se empleó una mezcla arena-asfalto en caliente en forma de revestimiento de 5 cm de espesor y 6 m de anchura a cada lado de un dique de 1,80 m de anchura y 1,20 m de altura de sección triangular con vértice redondeado. Estos diques experimentales protegieron la playa contra la erosión hasta que fueron destruidos por los ciclones en los últimos años.

En 1935 se realizó un segundo experimento en Ferdinandina Beach, Florida. Estos experimentos, aunque no excesivamente bien proyectados o realizados, resultaron muy interesantes por la economía de este tipo de construcción.

En la construcción de 43 diques en Ocean City, Maryland, el empleo del asfalto fue objeto por primera vez de un estudio cuidadoso y práctico. Estos diques prometían desde el principio de su vida proteger la costa contra la erosión, pero varios temporales y ciclones han socavado y destruido varios de ellos.

**14.27 PROYECTO.** La sección transversal típica es la de un pequeño dique triangular con una coronación plana de aproximadamente 90 cm de altura y de 1,80 a 2,40 m de anchura en la base. El dique se construye sobre una base de 6 m de anchura y 10 a 30 cm de espesor.

El dique debe ser normal al borde de la playa. Su nivel más alto debe corresponder justamente al borde de la arena; esto es, al punto en que la arena de la playa alcanza una cota más elevada.

La longitud de los diques debe ser tal que el extremo del lado del mar llegue a un punto en que la proyección del máximo nivel de arena esté aproximadamente 30 cm bajo el nivel de la bajamar media. Los diques construidos de esta forma quedarán en seguida cubiertos de arena.

Debe recordarse **que la** arena de playa es un material extremadamente **móvil**. La línea de arena nunca se mantiene constante. La construcción de diques cortando el camino natural de las corrientes a **lo** largo de la costa pueden dar lugar a **una** disminución temporal del nivel de arena.

14.28 PROYECTO DE LA MEZCLA. Es muy importante asegurarse de que se emplea el tipo adecuado de mezcla asfáltica. Es esencial un contenido de asfalto elevado para producir la necesaria flexibilidad e impermeabilidad. Frecuentemente puede especificarse el empleo de arenas de playa si admiten suficiente asfalto sin excesiva docilidad en caliente. En general, se recomienda el empleo de aproximadamente 15 % (en peso) de asfalto de penetración 60-70. Los asfaltos más blandos carecen de resistencia inicial y pueden ser perjudicados por la acción de las olas durante las primeras pocas horas después de la colocación. Muchas arenas de playa no son adecuadas para mezclas asfálticas a emplear en el extremo marítimo del dique. En estos casos deben añadirse arenas bien graduadas y filler para dar al conjunto estabilidad y resistencia juntamente con elevado contenido de asfalto.

14.29 CONSOLIDACION E IMPERMEABILIZACION DE ESCOLLERAS ASFALTICAS BAJO EL AGUA<sup>1</sup>. Una escollera ordinaria es un inmenso caballón de grandes fragmentos de roca que penetra en el agua. Puede considerarse como una estructura típica la escollera de Galveston. Penetra en el golfo de Méjico aproximadamente 8 km, con su extremo superior so-

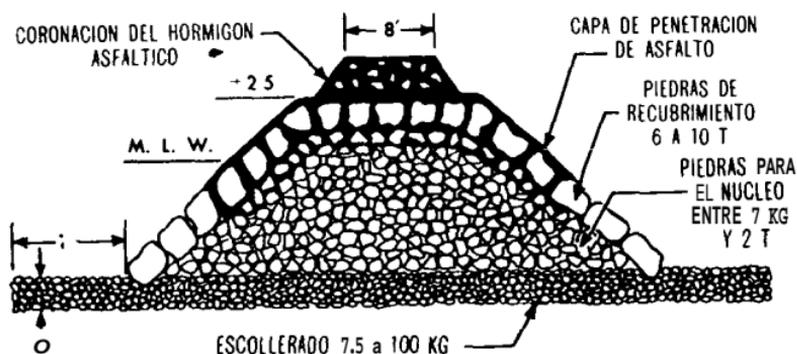


Figura XIV-11. Sección de la escollera sur de Galveston, Tejas.

<sup>1</sup> Desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos con la cooperación del Instituto del Asfalto.

bresaliendo sólo levemente del agua en la pleamar. Toda la masa se compone de un montón de grandes fragmentos de piedra, cada uno de los cuales pesa de 100 a 200 kg. La cara superior y los costados del caballón están cubiertos con una capa de fragmentos más grandes, aproximadamente paralelepípedicos, cada uno de los cuales pesa de **8 a 14 t**. Una escollera de este tipo tiene dos graves inconvenientes:

1. Está llena de grandes huecos que permiten el paso del agua, que arrastra arena y limo, y
2. Los fragmentos de roca no están unidos entre sí, incluso los elementos más gruesos del revestimiento exterior son frecuentemente arrastrados por las grandes tormentas, rompiendo la escollera. Se **ha** demostrado que puede emplearse con éxito mezcla asfáltica en caliente para penetrar estas estructuras hasta **3 m** o más bajo el agua, y que los costados, en profundidades hasta de **12 m** o más, pueden protegerse cubriéndolos con un

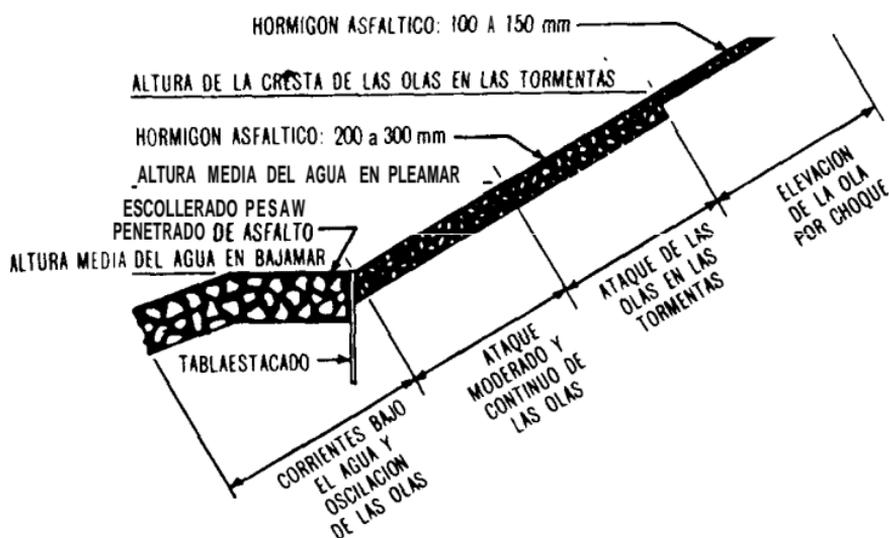


**Figura XIV-12. Dique de asfalto para la arena.**

revestimiento grueso de mezcla asfáltica. También se han reconstruido grandes trozos de escollera relleno de los huecos con mezcla asfáltica, sin añadir piedra.

**11.30 PENETRACION DEL NUCLEO.** Se consiguió la penetración de la mezcla asfáltica a partir del borde de la superficie superior vertiendo cargas de mezcla de aproximadamente 2 t y empleando vibradores internos de mango largo para hacerla fluir en los huecos entre la piedra. La mezcla se colocó a una temperatura de aproximadamente 230 °C. A esta temperatura la mezcla no se mezcla con el agua, y retiene suficiente calor para permitirle fluir durante un periodo de unos 30 min después de la colocación. Se ha observado que las mezclas colocadas de esta forma unen firmemente los elementos de piedra.

**14.31 IMPERMEABILIZACION DE LOS COSTADOS.** Donde la profundidad del agua era superior a 3 m, los costados se protegieron desde el fondo hasta el nivel del agua, aplicándoles una gruesa capa de mezcla de penetración que penetraba parcialmente,



**Figura XIV-13. Revestimiento de la pendiente de un dique.**

uniéndose a la superficie rugosa y desigual. La aplicación de la mezcla se hizo mediante una gran almeja suspendida de una grúa flotante.

**14.32 REVESTIMIENTO DE LA ESCOLLERA.** La coronación de la escollera sobre el agua se rellenó y suavizó con una mezcla asfáltica más rígida que la empleada para la penetración. Se conoce como mezcla de revestimiento, y, después de colocada se consolidó con apisonadoras vibratorias especiales. Los laterales de la escollera sobre el agua se terminaron a mano, dándoles una pendiente 1 : 1.

**14.33 REPARACION DE ROTURAS DE LA ESCOLLERA.** Se repararon grandes secciones de la escollera, que habían sido destruidas por los temporales, vertiendo en los huecos grandes masas de mezcla de revestimiento en caliente, que se consolidaron hasta dar lugar a una estructura densa e impermeable. Esta construcción se continuó sobre la superficie del agua uniendo las partes adyacentes, compuestas de escollera tratada por penetración, lográndose la consolidación mediante vibración.

**14.34 MEZCLAS PARA PENETRACION Y REVESTIMIENTO.** Las mezclas para penetración y revestimiento se prepararon en una instalación mezcladora en caliente, como se indica en el capítulo VII. La arena de playa fue el **árido más** grueso empleado, y la utilizada en Galveston pasaba prácticamente en **su** totalidad por el tamiz número **40**, quedando retenida en el número 200. El loes del delta del Mississippi ha demostrado ser un excelente filler mineral para este tipo **de** trabajo. Se empleó betún asfáltico de penetración 60-70 para la mezcla de penetración, y de penetración **30-40** para la de revestimiento. La composición de las mezclas empleadas fue la siguiente:

*Mezcla de penetración:*

Arena de playa . . . . .	68,5 %
Filler (loes) . . . . .	9,5 %
Betún asfáltico de penetración 60-70 . . . . .	22,0 %

*Mezcla de revestimiento:*

Arena de playa . . . . .	65,0 %
Filler (loes) . . . . .	21,8 %
Betún asfáltico de penetración 30-40 . . . . .	13,2 %

Las estabilidades de estas mezclas fueron las siguientes:

Temperatura . . . . .	80 °F (26,7 °C)	100 °F (37,8 °C)	140 °F (60 °C)
Estabilidad en libras de la mezcla para penetración.	2000	900	112
Estabilidad en libras de la mezcla de revestimiento.	6025	3950	1275

**14.35 VIBRADORES.** En la escollera de Galveston se obligó a la mezcla de penetración a penetrar en los huecos de la estructura rocosa con vibradores internos especiales de mango largo proyectados para producir una consolidación rápida. El mecanismo vibratorio consistía en un martillo de vapor encerrado en una pequeña envoltura metálica al extremo de un mango de tubo hueco. Mediante estos vibradores, hundidos en la mezcla en caliente, se consiguió una extensión lateral de la zona ocupada por una carga de mezcla vertida de 0,75 a 2,10 m. Para consolidar y terminar la superficie se emplearon martillos de vapor montados en piones de mano y alisadores de hierro de gran peso.

### ***1) Revestimiento de presas***

**14.36 GENERALIDADES.** Las mezclas asfálticas se han empleado para revestimientos de presas en varias grandes obras en los Estados Unidos y en otros países. Permiten conseguir una capa impermeable a precio muy económico. Una de las obras más recientes de este tipo es la presa Montgomery, en Colorado. Se trata de una presa de escollera revestida de una capa de hormigón asfáltico de aproximadamente 30 cm de espesor. Después de la construcción de la presa de escollera se aplicó una capa de nivelación de mezcla asfáltica para rellenar los huecos de la roca, dando lugar a una superficie sobre la que se colocó el revestimiento de hormigón asfáltico. El espesor de esta capa de nivelación estaba comprendido entre 25 y 75 mm. El revestimiento se aplicó en tres capas: la primera de 10 cm



**Figura XN-14. Protección de pendientes con hormigón asfáltico. Carretera sobre el dique de Point Lookout, Maryland. A la derecha está la bahía de Chesapeake.**

de espesor, la segunda de 9 cm y la última de 7,5 cm. La mezcla se extendió en capas continuas con pavimentadoras convencionales modificadas y se compactó perfectamente. El hormigón asfáltico contenía aproximadamente el 8,5 % de betún asfáltico sobre el peso de los **áridos**. Los áridos de la mezcla provenían de depósitos glaciales vecinos a la presa. Se han construido otros revestimientos de este tipo en California, Alemania, Portugal y Argelia.

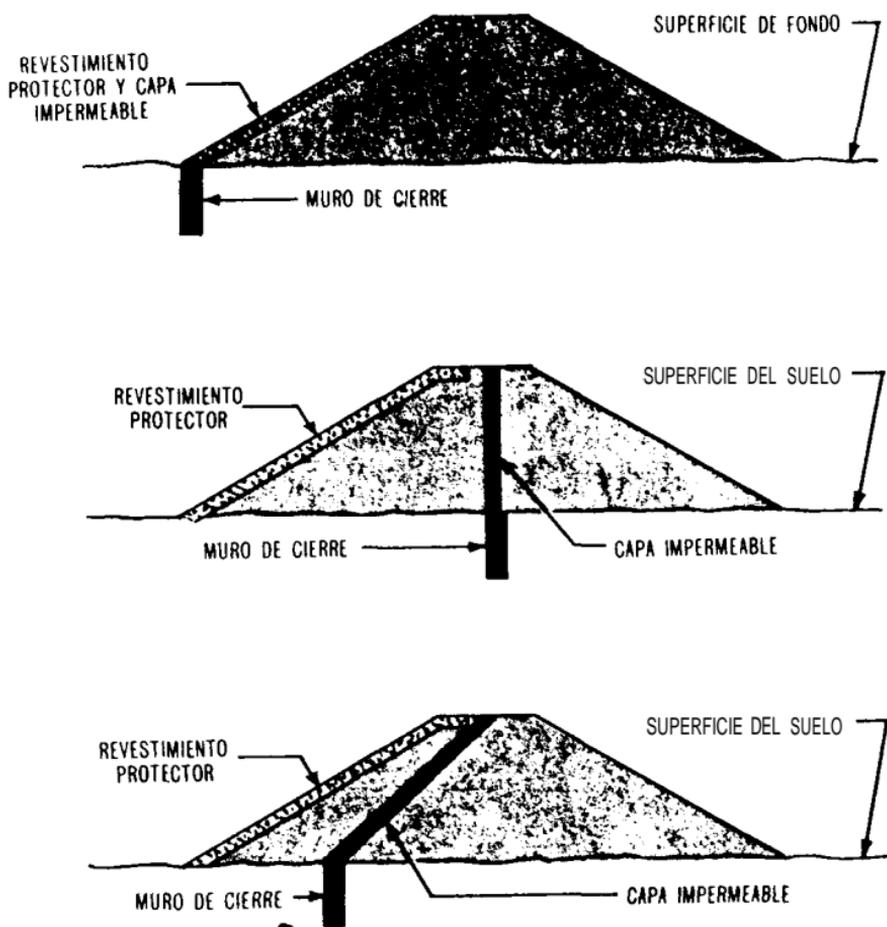


Figura XIV-15. Capas alternas de asfalto para las presas.

### *J) Revestimientos asfálticos para instalaciones de tratamiento de aguas residuales*

14.37 GENERALIDADES. Se han empleado revestimientos asfálticos para diversos tipos de instalaciones para tratamiento de aguas residuales y en sistemas industriales en los que **es** necesario almacenar ciertos líquidos para utilizarlos más adelante. Muchos de estos líquidos tienen efectos perjudiciales sobre otros tipos de revestimientos, sensibles **al** ataque de ciertos tipos de ácidos o sales. Como el asfalto no es

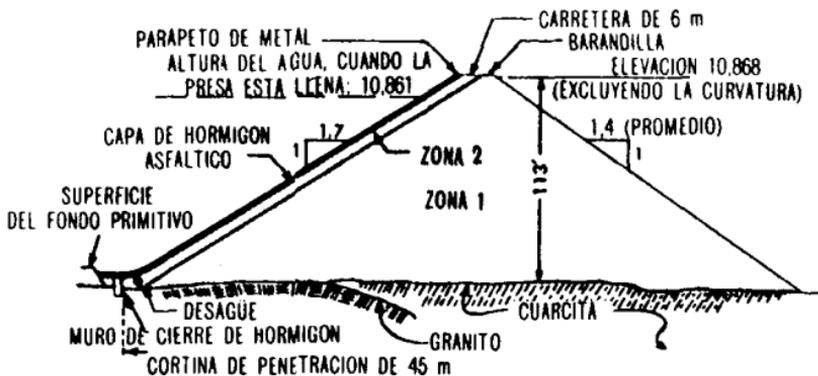


Figura XIV-16. Presa de Montgomery, Colorado. Sección vertical máxima.

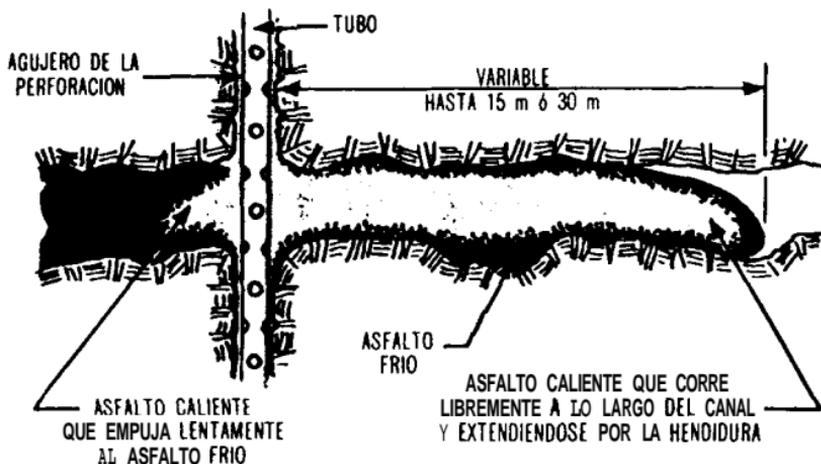


Figura XIV-17. Cierre con asfalto de un canal de escape.

afectado en general por la mayor parte de los ácidos y sales, proporciona un excelente revestimiento para estructuras de este tipo. Normalmente, se emplean revestimientos del mismo tipo empleado en depósitos, pero debe hacerse un análisis cuidadoso para asegurarse de que el revestimiento es adecuado para la finalidad perseguida y de que los áridos tampoco serán afectados por los líquidos almacenados.

**14.38 REFERENCIAS.** La publicación del Instituto del Asfalto que se cita a continuación, contiene más información detallada sobre el empleo del asfalto en obras hidráulicas:

1. *Asphalt in Hydraulic Structures*, Manual Series núm. 12 (MS-12).

# Capítulo XV

## EMPLEOS DIVERSOS DEL ASFALTO

15.01 GENERALIDADES. Otros empleos del asfalto son los siguientes:

- A) Impermeabilización de cubiertas.
- B) Terrenos de juego.**
- C) Pistas de tenis.
- D) Piscinas.
- E) Utilizaciones agrícolas.
- F) Motocines.
- G) Pavimentos industriales.
- H) Protección de tuberías.
- I) Aceras (véase el capítulo X).
- J) Protección de sementeras.

### **A) Impermeabilización de cubiertas**

15.02 HISTORIA. La construcción de cubiertas fue probablemente la primera profesión del mundo, pues la protección contra los elementos ha sido siempre una de las necesidades materiales primarias del hombre. Este ha tenido que protegerse desde el principio contra las implacables fuerzas de la Naturaleza: contra el calor y el frío extremados, la lluvia, el viento, el granizo, la nieve y el hielo.

El asfalto, con **su** extraordinaria combinación de cualidades impermeabilizadoras, protectoras y aglomerantes, fue uno de los primeros descubrimientos de los pueblos antiguos. Lo empleaban extensamente en la construcción de sus edificios y caminos, muchos de los cuales aún existen en buenas condiciones después de miles de años de exposición a los elementos. El asfalto impermeabilizó el Arca de Noé **y** embalsamó a los reyes egipcios.

Refiriéndonos a las preferencias del público, las cifras del Departamento de Comercio de los Estados Unidos indican que del 85 al 90 %, de todas las impermeabilizaciones de techados de los Estados Unidos son actualmente de tipo asfáltico. Este predominio se refleja en un constante y apreciable crecimiento anual en la cantidad de asfalto empleada por esta industria. Esta cantidad fue en 1940 inferior a 1,5 millones de toneladas, subiendo en 1959 por encima de 3 millones de toneladas.



**Figura XV-1.** En los Estados Unidos las cubiertas de capas asfálticas cubren más casas que las demás formas de techumbre reunidas.

### 15.03 TIPOS DE CUBIERTAS ASFALTICAS.

Las impermeabilizaciones asfálticas para cubiertas son de dos tipos generales:

1. Revestimientos prefabricados, que se componen de:
  - a) Placas compuestas de tres materiales básicos: asfalto, fieltro y partículas minerales. El fieltro se impregna con un saturante asfáltico, recubriéndose a continuación ambas caras del fieltro.

tro saturado con una capa de una asfalto más duro, sobre el que se pegan partículas minerales. El material así obtenido se corta después en tiras o placas aisladas.

- 6) Fielros asfálticos en rollo con superficie lisa. Se compone de una hoja de fieltro saturado con asfalto y revestido por ambos lados con un asfalto más duro.
  - c) Fielros asfálticos en rollo con superficie **mi**neral. Se compone de fieltro del tipo antes citado en el que se han cubierto de partículas minerales una o ambas caras.
2. Cubiertas asfálticas construidas *in situ*. Se componen de varias capas de fieltro saturado con asfalto aplicadas a una cubierta plana o con pequeña pendiente. Las capas sucesivas se unen entre sí con asfalto, y sobre la última se aplica un riego asfáltico que ~~se~~ cubre con grava o escoria.

De los tipos citados, el más empleado en los Estados Unidos **es** el de placas prefabricadas, que se aplican a los tejados de viviendas, pajaros y construcciones similares. Satisfaçen la necesidad de un revestimiento para tejados atractivo, eficaz y resistente **al** fuego, pero de costo económico, para construcciones en zonas residenciales.

La impermeabilización *in situ* se aplica a las cubiertas planas o casi planas de edificios muy grandes, industriales, públicos y de otros tipos. Estos tejados están literalmente pavimentados con asfalto, aunque de una manera completamente diferente de la utilizada en carreteras.

**15.04 PRODUCTOS PREPARADOS.** Decimos que son materiales de cubrición preparados los que se fabrican y embalan listos para aplicarse a las cubiertas, usualmente sólo por clavado. Pertenecen a esta categoría las placas y algunos tipos de fielros asfálticos en rollo. Se componen de una base de fieltro saturado al que se **ha** aplicado un revestimiento asfáltico y, usualmente, otro de partículas minerales. En las impermeabilizaciones construidas *in situ* se envían al tajo los elementos componentes que se combinan en obra,

construyendo directamente sobre la cubierta la impermeabilización en una serie de capas.

15.05 PENDIENTE DEL TEJADO. Hay muchos tejados a los que puede aplicarse un revestimiento preparado o construido *in situ*, pero la elección está limitada en cierto modo por la pendiente de la cubierta. Las impermeabilizaciones construidas *in situ* sólo se aplican, usualmente, en las cubiertas de menos pendiente, mientras que las placas y otros revestimientos prefabricados se aplican con mayor frecuencia en cubiertas más inclinadas. Sin embargo, empleando técnicas especiales, también se aplican frecuentemente placas asfálticas a pendientes hasta de 6 a 12 °.

15.06 PROTECCION CONTRA EL VIENTO DE LAS PLACAS ASFALTICAS. En algunas zonas de los Estados Unidos, en las que se presentan vientos violentos, se han desarrollado técnicas especiales para proteger las placas asfálticas convencionales contra los perjuicios causados por los vientos. Una solución a este problema es fijar cada uno de los elementos de las placas con una pequeña cantidad de asfalto situada bajo su extremo después de aplicado el conjunto. Otro sistema consiste en emplear placas de formas especiales con ranuras o ganchos que permiten fijar su borde inferior, o preparadas de forma que pueda fijarse el borde inferior mediante una grapa especial resistente a la corrosión.

El último avance en este camino parece combinar los elementos necesarios de sencillez y seguridad de acción sin necesidad de formas especiales o trabajo suplementario. En estos *shingles* se emplea un adhesivo desarrollado especialmente para este fin, que no pega hasta que se expone al calor del sol. Este material adherente se aplica a las placas de tal forma que, una vez que éstas han sido aplicadas al tejado y calentadas por el sol, cada una de ellas se une firmemente a las situadas debajo. No se necesitan procedimientos de aplicación especiales y durante el manejo y almacenaje del material solamente deben tomarse precauciones sencillas para evitar se exponga éste al sol durante grandes períodos de tiempo antes de su aplicación.

Los informes obtenidos después de los huracanes

recientes han demostrado que este tipo de placas ha resuelto el problema de los daños causados por el viento. Los tejados cubiertos empleando este nuevo procedimiento han quedado prácticamente intactos. En algunos casos las placas se han mantenido intactas incluso cuando toda la estructura del tejado **ha** sido arrastrada por el viento.

#### **15.07 PLACAS TERMINADAS EN COLOR.**

Hasta hace poco los colores de las partículas minerales empleadas tenían que ser los de las piedras naturales de las que se obtenían. Solamente estas tonalidades naturales parecían ser capaces de resistir sin decolorarse la exposición indefinida a la luz del sol y a la humedad. Las ventajas de poder fabricar partículas en gran variedad de colores permanentes es evidente, y este problema **ha** sido estudiado por fabricantes de partículas minerales **y** de fieltros durante muchos años de difícil investigación, logrando al fin los resultados apetecidos. Actualmente puede obtenerse casi cualquier color del arco iris, desde tonos pastel a los colores más vivos, y constantemente aparecen en el mercado nuevos colores. Con la aparición de estos nuevos colores se han mejorado las técnicas fabriles de aplicación de las partículas, que ahora pueden ser aplicadas en casi cualquier combinación de colores o de dibujos.

#### **15.08 METODOS Y TIPOS DE APLICACION.**

Los métodos de aplicación y los tipos de materiales asfálticos empleados varían según las especificaciones. Frecuentemente los tejados construidos *in situ* son de aplicación en frío, lo que exige un revestimiento final de asfalto aplicado con cepillo o por pulverización en lugar de la escoria o grava. Cualquiera que sea el método de empleo y el **tipo** de asfalto, su uso asegura la máxima economía. Los fieltros asfálticos fabricados a **bajo** costo, y servidos en rollos de tamaño conveniente, se transportan fácilmente. Como son flexibles y, por consiguiente, fácilmente manejables, su aplicación a la cubierta es sencilla y no exige mano de obra especializada.

La extensión del asfalto y de la escoria o grava puede lograrse con maquinaria del **tipo** más sencillo, de fácil obtención. Todas las operaciones pueden realizarse

rápidamente por métodos manuales, aunque para tejados muy grandes se han desarrollado máquinas aplicadoras de fieltros y de asfalto en caliente y extendedoras de gravilla que permiten ejecutar el trabajo con mayor facilidad y rapidez. Una impermeabilización asfáltica construida *in situ* adecuadamente se mantendrá en excelentes condiciones de servicio durante muchos años, exigiendo usualmente unos gastos de conservación pequeños o nulos. Aunque a veces sea necesario ocasionalmente un retoque, puede hacerse por un costo despreciable.

15.09 CUBIERTAS INDUSTRIALES. Los últimos años han visto también cambios en la construcción *in situ* de impermeabilizaciones para edificios industriales y comerciales, aunque estos cambios son más bien cambios en la atención prestada al empleo de ciertos tipos de asfalto que **en** los materiales propiamente dichos. Particularmente en el oeste de los Estados Unidos se aprecia considerable tendencia a la construcción de edificios industriales y comerciales con tejados horizontales o casi horizontales. Estas cubiertas horizontales permiten el empleo de asfaltos con punto de fusión considerablemente más bajo que en cubiertas más pendientes. Estos asfaltos más blandos tienen usualmente una vida más larga que los materiales más duros que deben emplearse en las pendientes acentuadas para evitar la fluencia durante el tiempo cálido.

Además, se fabrican usualmente con mayor susceptibilidad térmica, para que las pequeñas grietas que puedan producirse como consecuencia de la contracción y expansión térmicas o de pequeños movimientos debidos al asentamiento del edificio, puedan cerrarse por el reblandecimiento y ligera fluencia que se produce en el asfalto durante el tiempo cálido. Esta curación de las grietas es de mayor importancia en las cubiertas planas, en las que el agua puede mantenerse durante algún tiempo después de la lluvia, que en las más inclinadas, en las que se elimina el agua inmediatamente.

La fabricación de asfaltos de bajo punto de fusión para empleo específico **en** cubiertas planas hace resaltar las muchas ventajas de la posibilidad de fabricar asfaltos a la medida con las características más adecua-

das a las necesidades a cubrir. Existen asfaltos para impermeabilización adecuados para su empleo en cualquier clima y sobre cubiertas con cualquier pendiente.

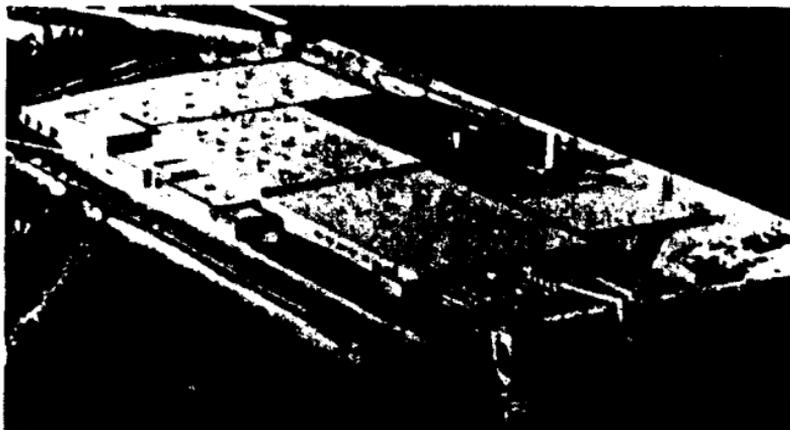


Figura XV-2. Moderno edificio industrial coa cubierta de asfalto.

15.10 MAQUINARIA PARA LA APLICACION DE LAS IMPERMEABILIZACIONES. Puede decirse que se ha progresado más en el desarrollo para la maquinaria para el aplicador de impermeabilizaciones en la Última media docena de años que en los cincuenta años anteriores. Y, lo que es más importante, la aceptación y empleo de esta maquinaria está comenzando a estar a tono con su progreso.

Para el manejo de las placas asfálticas se emplean casi universalmente bandejas de madera y elevadores de horquilla. Actualmente, muchos impermeabilizadores van aún más allá de la mera descarga mecánica de los camiones: colocan los *shingles* directamente sobre el tejado desde el camión, para lo que emplean elevadores de horquilla o, en algunos casos, camiones de plataforma elevable. En los edificios demasiado elevados para este tipo de maquinaria existe una gran variedad de ascensores y montacargas, desde sencillos artificios que se emplean con escaleras hasta complicados aparatos de accionamiento mecánico.

15.11 CALDERAS PARA ASFALTO. El cora-

zón de toda la operación de construcción de impermeabilizaciones *in situ* es la caldera para calentar el asfalto hasta la temperatura de aplicación adecuada. Para obtener un buen funcionamiento la caldera debe ser capaz de llevar el asfalto a su temperatura de aplicación en un breve período de tiempo, sin sobrecalentarlo al principio ni en ningún momento durante su funcionamiento, ya que este sobrecalentamiento podría perjudicar considerablemente al asfalto, reduciendo en proporciones importantes la vida probable de la impermeabilización.

El sobrecalentamiento puede dar también lugar a que se aplique el asfalto en capas demasiado delgadas, dando lugar a una adherencia insuficiente entre los fieltros y, posiblemente, a una separación posterior de las capas. Es probable que puedan atribuirse más fracasos en impermeabilizaciones de este tipo a un exceso de calentamiento del asfalto que a cualquier otro motivo.

La mayor parte de estos problemas de sobrecalentamiento pueden resolverse mediante el empleo de las calderas recientemente desarrolladas controladas termostáticamente. Para ello se han adaptado controles normalizados de temperatura semejantes a los empleados en el control de la calefacción de las viviendas. Sencillamente se fija el termostato en la temperatura deseada y el quemador se apaga automáticamente cuando el asfalto alcanza esta temperatura, para no encenderse de nuevo hasta que la temperatura cae por debajo del límite inferior establecido.

La adición de una bomba de recirculación a una caldera de este tipo da lugar a una temperatura uniforme en toda la masa, evitando el sobrecalentamiento local. Esta recirculación del asfalto puede lograrse mediante una bomba, cuya función primordial es elevar el asfalto en caliente al tejado rápida y fácilmente, evitando con ello un trabajo considerable, y con muy pequeño enfriamiento del asfalto antes de su aplicación; gran mejora sobre el método lento e ineficiente de elevar el asfalto hasta el tejado en cubos. Los modelos más recientes de bombas han demostrado ser muy seguros en cuanto a tuberías atascadas y averías se refiere.

15.12 APLICADOR DE FIELTRO. El siguiente paso en la mecanización de la operación de impermeabilización *in situ* es el empleo del aplicador de fieltros. Esta máquina aplica asfalto en caliente y una capa de fieltro en una operación uniforme y continua.

15.13 EXTENDEDOR DE ARIDOS. La extensión de los áridos para cubrición de impermeabilizaciones también se hace con frecuencia mecánicamente. Las extendedoras hacen un trabajo mucho más uniforme y eficiente que el que puede obtenerse a mano con palas. Para aplicar el último revestimiento de asfalto puede emplearse la extendidora de fieltros o una extendidora especial, seguida inmediatamente por la extendidora de áridos, asegurando de esta forma que éstos se colocan antes de que el asfalto haya podido enfriarse.

La existencia de esta abundancia de nueva maquinaria de aplicación es una oportunidad y un desafío para el impermeabilizador. Existe la posibilidad de producir mejores impermeabilizaciones a menor costo, pero cada obra presenta el problema de planificar el trabajo haciendo el mejor uso posible de la maquinaria disponible. Mediante el adecuado empleo de los métodos mecanizados nadie resulta perjudicado: el impermeabilizador puede conseguir mayores beneficios y el propietario logra una impermeabilización mejor y de mayor duración.

## ***B) Terrenos de juego***

15.14 PAVIMENTOS PARA TERRENOS DE JUEGO. Naturalmente, la existencia de un pavimento no es una necesidad inmediata **en** todos los terrenos de juego. **Sin** embargo, en los casos **en** que sí lo es, la descripción que damos a continuación puede ayudar en su tarea a los encargados del estudio de la solución.

En la construcción de pavimentos para terrenos de juego se han empleado tratamientos asfálticos superficiales, macadam por penetración y mezclas en frío y en caliente, y, salvo las modificaciones que puedan ser necesarias por tratarse de superficies pequeñas, debe

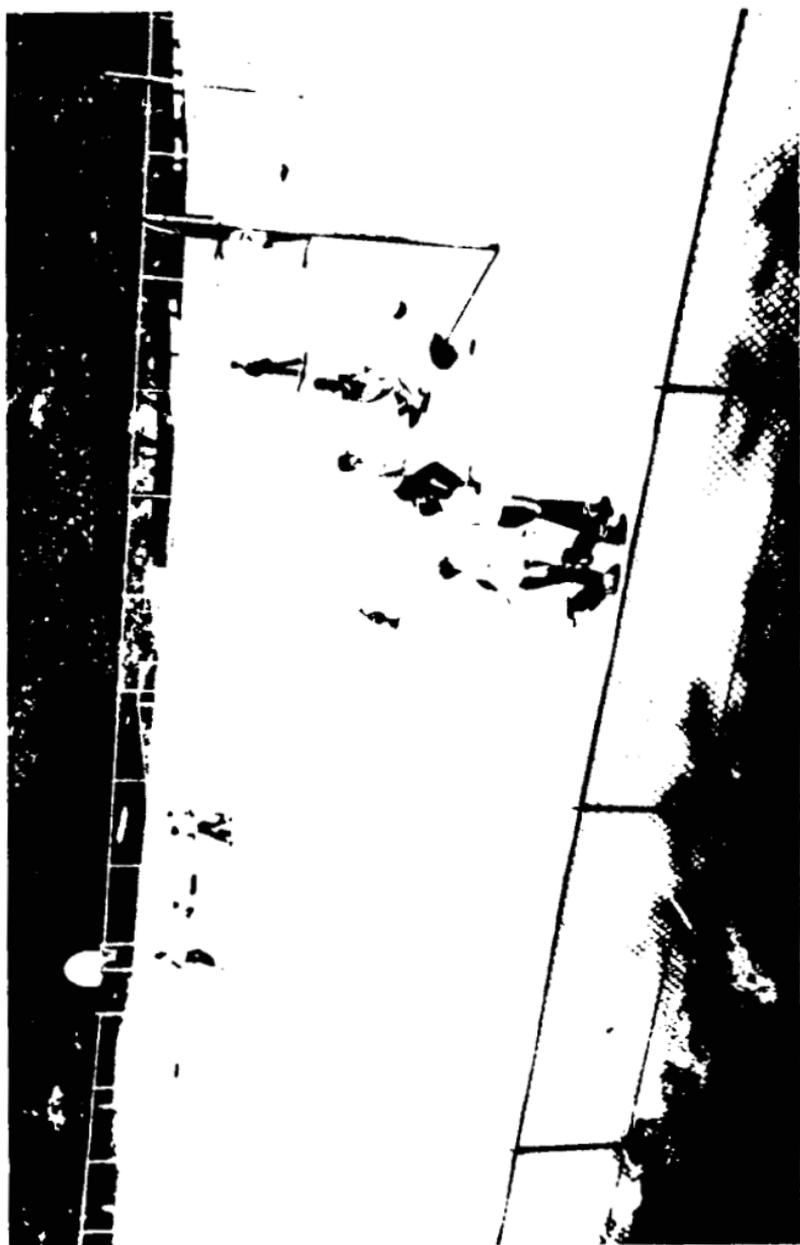


Figura XV-3. Terreno de juego pavimentado con asfalto en Washington.

emplearse el mismo procedimiento que al construir una carretera. En la mayor parte de los casos será ampliamente suficiente una cimentación con un espesor de 10 a 15 cm. La piedra machacada, la escoria y la grava constituyen bases excelentes, que drenan fácilmente como consecuencia de su naturaleza porosa. También pueden conseguirse fundaciones excelentes estabilizando, mediante productos asfálticos, terrenos naturales adecuados. Salvo en el caso de tratamientos superficiales, es deseable un espesor de la capa de superficie de 40 a 50 mm para obtener una buena durabilidad. Como regla general, la textura superficial debe ser suave o de grano fino. Además de los tipos en que se emplean los áridos usuales se han hecho experimentos con serrín o usuales, granulado en un intento de conseguir superficies suaves.

Se han patentado y gozan de gran aceptación productos en los que se emplea una emulsión asfáltica combinada con pigmentos seleccionados y fillers para aplicación en forma de lechada sobre el hormigón asfáltico. Estos materiales producen un sellado muy impermeable sin ningún material suelto. Permiten una limpieza fácil y conservación sencilla y dan lugar a una superficie suave y antideslizante.

**15.15 PAVIMENTOS DE ASFALTO Y SERRÍN.** El procedimiento para obtener una superficie de asfalto y serrín es esencialmente similar a un tratamiento superficial, y puede ser un primer tratamiento sobre una capa de superficie de macadam al agua o un segundo tratamiento sobre una superficie ya existente. Puede ser un tratamiento ligero o pesado. En el primer caso, todo el serrín debe pasar por el tamiz número 4, mientras que, para el segundo, es decir, para un tratamiento pesado, debe pasar por un tamiz de 12 mm y no contener astillas ni otros elementos semejantes. La superficie debe apisonarse perfectamente con una apisonadora ligera hasta que el serrín quede perfectamente adherido. Puede emplearse como aglomerante emulsión asfáltica o un asfalto fluidificado ligero de curado rápido. Para el tratamiento pesado puede emplearse un asfalto fluidificado viscoso de curado rápido, por ejemplo, de tipo RC-4, o un betún asfáltico en caliente. La

penetración del betún asfáltico debe estar comprendida entre 200 y 300 y debe aplicarse a una temperatura comprendida entre 135 °C y 163 °C.

Después de la aplicación del material asfáltico debe extenderse y apisonarse el serrín grueso hasta que quede perfectamente adherido. La cantidad de asfalto empleada debe ser de aproximadamente 1,20 l/m<sup>2</sup>, añadiendo el serrín en aplicaciones delgadas y cepillándolo después hasta que no se adhiera más.

**15.16 SUPERFICIE ASFALTICA CON CORCHO.** Las capas de superficie de este tipo se extienden en un espesor compactado de 25 a 50 mm, usualmente sobre una capa asfáltica intermedia o de base. La mezcla debe componerse de corcho granulado de 6 mm de diámetro máximo, arena gruesa y angulosa, polvo de caliza y un betún asfáltico de penetración 60-70. En la pavimentación de un campo de juego municipal excepcionalmente grande, se han empleado con éxito las siguientes proporciones en peso:

	<i>Porcentaje</i>
Arena limpia y angulosa . . . . .	70 a 72
Granulado de corcho . . . . .	5 a 6
Polvo de caliza . . . . .	7 a 8
Betún asfáltico . . . . .	15 a 17

**15.17 DETALLES DEL PROCEDIMIENTO.** En las oficinas del Instituto del Asfalto pueden obtenerse detalles completos sobre los procedimientos empleados en la pavimentación de terrenos de juego utilizando los diversos procedimientos citados.

### **C) Pistas de tenis**

**15.18 GENERALIDADES.** Las pistas de tenis asfálticas se construyen rápidamente, son muy cómodas y permiten jugar inmediatamente después de la lluvia. Cuando no se dispone de mucho dinero pueden construirse las pistas sobre una base sólida mediante una capa de nivelación de hormigón asfáltico, terminándolas con un hormigón asfáltico muy rico con acabado fino. Se han patentado muchos productos para

construir pistas de tenis en varias capas dentro de tolerancias muy estrechas, obteniendo pistas de color, muy del agrado de los jugadores y de las autoridades de atletismo.

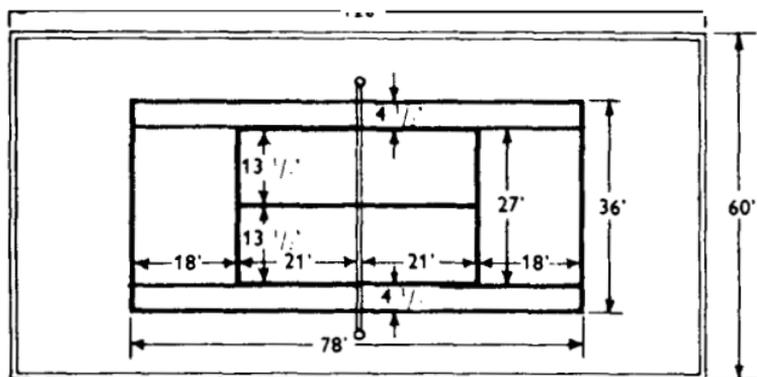
**15.19 TIPOS DE SUPERFICIE.** La superficie debe construirse a base de mezclas arena-asfalto como los tipos VII u VIII del Instituto del Asfalto. Véase Asphalt Institute Specification Series núm. **1**, *Specifications and Construction Methods for Hot Mix Asphalt Paving*.

El empleo del color en pistas de tenis construidas con asfalto es cada vez más popular. Los colores más apreciados son el verde hierba y el rojo ladrillo o una combinación de ambos. Se han patentado cierto número de productos especiales para obtener estos coloridos, pero deben ensayarse para comprobar que son compatibles con el asfalto y que envejecen sin exudar o perder color. Estos productos especiales de acabado son materiales de base acuosa y deben diluirse hasta la consistencia adecuada antes de su aplicación. Los mejores resultados se obtienen extendiéndolos con un cepillo de mango largo en varias aplicaciones.

**15.20 DRENAJE.** El drenaje adecuado es de la máxima importancia en la construcción de una buena pista. Cuando no se dispone de consignaciones abundantes es mucho mejor emplear una superficie de bajo costo que descuidar la cimentación. En terrenos arenosos o de grava puede no ser necesario el drenaje profundo, pero en los terrenos muy arcillosos es deseable circundar la pista con una zanja, con tal pendiente en el fondo y tales salidas, que evite por completo la acumulación de agua. La zanja debe medir de **60 a 90 cm** de anchura y en su fondo debe situarse un tubo de hierro corrugado, perforado, o de material cerámico con juntas abiertas, volviéndola a llenar con piedra machacada o grava gruesa casi hasta la superficie.

**15.21 TRAZADO.** La superficie pavimentada de una pista de tenis debe medir aproximadamente **20 x 40 m**, lo que da amplitud de espacio por fuera de los límites de una pista de **12 x 26 m**.

Es preferible que toda la superficie constituya un plano único, pero cuando esto no es posible, como



PLANTA



Figura XV-4. Pista de tenis

consecuencia de la topografía del terreno, la pendiente debe estudiarse de tal forma que exista una sola arista de cota máxima, situada bajo la red. La pendiente usual es del 1 por 1000, aproximadamente. Durante la construcción el terreno debe nivelarse y terminarse, dejando su superficie a tal cota que, después de aplicar las capas de base y de superficie, la máxima cota de la pista supere ligeramente la del terreno adyacente. Cuando es necesario construir terraplenes éstos deben compactarse perfectamente y, preferiblemente, dejarse asentar durante algún tiempo, si es posible, dejando que soporten lluvias importantes antes de aplicar la superficie.

15.22 CAPA DE BASE. Para la capa de base resultan perfectamente satisfactorias las escorias de buena calidad, y usualmente será suficiente un espesor de 10 a 15 cm. Cuando se construyen capas de base con

piedra machacada, escoria o grava, **es** deseable aplicar primeramente una capa de detritus de cantera o arena para consolidar y endurecer el terreno y evitar la infiltración de tierra en el material más grueso. En general, serán suficientes 25 mm de detritus, bien apisonados sobre el terreno, y de 7 a **15 cm** de espesor, compactado de piedra, escoria o grava. La capa de base debe apisonarse completa y uniformemente. También pueden construirse capas de base estabilizando terrenos naturales adecuados mediante materiales asfálticos. Puede obtenerse una cimentación de tipo superior mediante capas de base de 50 a 75 mm de espesor terminado.

**15.23 MACADAM ASFALTICO Y TRATAMIENTO SUPERFICIAL.** Cuando no se dispone de fondos suficientes se han empleado superficies de este tipo empleando los procedimientos normales, pero, debido a la dificultad de obtener superficies suficientemente lisas que permitan un buen juego, no han resultado muy satisfactorias.

**15.24 CONSTRUCCION EN VARIAS CAPAS CON MEZCLA EN FRIO.** Se obtienen superficies de excelente calidad, resistentes a las inclemencias del tiempo, empleando productos patentados. Es importante emplear una base asfáltica y un buen drenaje, de manera que la cimentación sea perfecta. Estas pistas se construyen de manera que su superficie este en un solo plano con una pendiente del 0,5 %. La base, de un espesor mínimo de **10 cm**, puede construirse por penetración con emulsión asfáltica, aunque también pueden emplearse otros tipos de **bases** tratadas con asfalto. En las capas intermedia y de superficie se emplean mezclas en frío compuestas de áridos y filler, cuidadosamente dosificados, con emulsiones asfálticas especialmente preparadas y agua suficiente, que se extienden mediante maestras. La capa de nivelación tiene 40 mm de espesor y se cubre con una capa de superficie de textura más fina de **12 mm**. Después de que cada capa ha secado se apisona hasta obtener la máxima compactación. La superficie se comprueba con una regla de **3 m**, admitiendo una variación máxima de **3 m**. **A** continuación se inunda la pista, señalando los

puntos bajos, aplicando después mezclas de textura muy fina para rellenar los puntos bajos, en capas muy delgadas.

A continuación se hacen varias aplicaciones de productos preparados en fábrica, que contienen proporciones adecuadas de ligante asfáltico de tipo emulsión y fillers minerales seleccionados, hasta obtener una superficie suave, antideslizante y completamente impermeable. Cuando se desea un terminado en color se emplean en la aplicación final productos patentados especiales. Estos productos especiales no contienen asfalto, pero son compatibles con las superficies asfálticas y se aplican con dosificaciones de **40** a **60 l** por cada **100 m<sup>2</sup>**, empleando cepillos de mango largo.

**15.25 SUPERFICIE DE HORMIGON ASFALTICO.** Las superficies de tipo más elevado se construyen mediante mezclas en instalación mezcladora. Se emplean para la capa intermedia mezclas con áridos gruesos, pero los últimos 25 mm de capa de superficie deben componerse preferiblemente de una mezcla de tipo arena-asfalto muy densa. Estas mezclas pueden extenderse con precisión, empleando maestras, hasta obtener el perfil y sección transversal deseados, permitiendo pequeñas correcciones de las irregularidades de la base. Como consecuencia de lo ligero del tráfico sobre una pista, en comparación con el que ha de sufrir una calle o carretera, se recomienda emplear un poco más de asfalto o asfalto de una consistencia ligeramente más blanda en las mezclas dedicadas a esta finalidad. Los posibles agrietamientos o envejecimiento de la superficie con el tiempo, pueden remediarse mediante ligeros tratamientos asfálticos superficiales en los que se apliquen **0,4 l/m<sup>2</sup>** de asfalto Ruidificado de tipo RC-1, o una emulsión asfáltica de rotura rápida de tipo **RS-1**, y **5 kg** de arena. También para este tipo de sellados se han desarrollado productos patentados especiales.

## **D) Revestimientos asfálticos para piscinas**

**15.26 CONSIDERACIONES GENERALES.** En las piscinas se han empleado diversos tipos de revestimientos, pero el asfalto **es** particularmente adecuado para este uso como consecuencia de sus excelentes cualidades. La construcción asfáltica de mejor calidad exige el empleo de una capa de superficie de **granulometría** densa aplicada en caliente, aunque también se ha empleado con éxito un macadam asfáltico bien sellado. Es importante que se aplique la capa de superficie sobre una base firme y bien drenada, de forma que se elimine cualquier posible subpresión durante el vaciado de la piscina para su limpieza. En los climas muy fríos la **piscina** puede vaciarse hasta el nivel que sea preciso para obtener una pista de patinaje. La profundidad de este vaciado depende del espesor del hielo formado.

**15.27 PISCINA ASFALTICA EN WALLINGFORD.** En la primavera de **1960** la ciudad de Wallingford, Conneticut, construyó, como parte de su sistema de parques y zona de recreo, una piscina asfáltica de tamaño record. La piscina tiene una superficie total de más de **6000 m<sup>2</sup>** y una profundidad que varía desde un mínimo de un metro **en** la zona menos profunda a un máximo de **2,85 m** frente a los trampolines.

La piscina de Wallingford existió durante 10 años como laguna comunal alimentada por un caudal constante de agua procedente de un pequeño arroyo. Sin embargo, el limo que el agua del arroyo arrastraba **al** interior de la piscina creó un fondo cenagoso que enturbiaba el agua, y en **1959** se decidió revestir la piscina de un hormigón asfáltico denso para permitir una limpieza periódica.

Después de eliminar aproximadamente **500 m<sup>2</sup>** de limo acumulado, el ingeniero encargado del proyecto añadió algunos miles de metros cúbicos de grava a la arena natural de cimentación. Sobre ella se colocaron de **10 a 15 cm** de base de piedra compactada de tamaño comprendido entre 30 y **18 mm**. Esta capa de base se cubrió con **75 mm** de hormigón asfáltico denso aplicado en dos capas: **5 cm** de capa intermedia y **2,5 cm** de

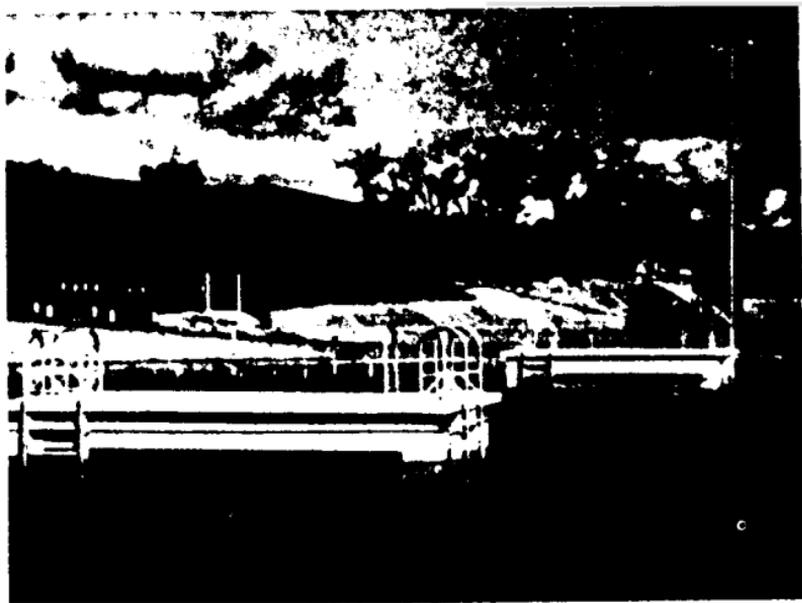


Figura XV-5. Piscina con revestimiento asfáltico,  
Montpelier, Vt.

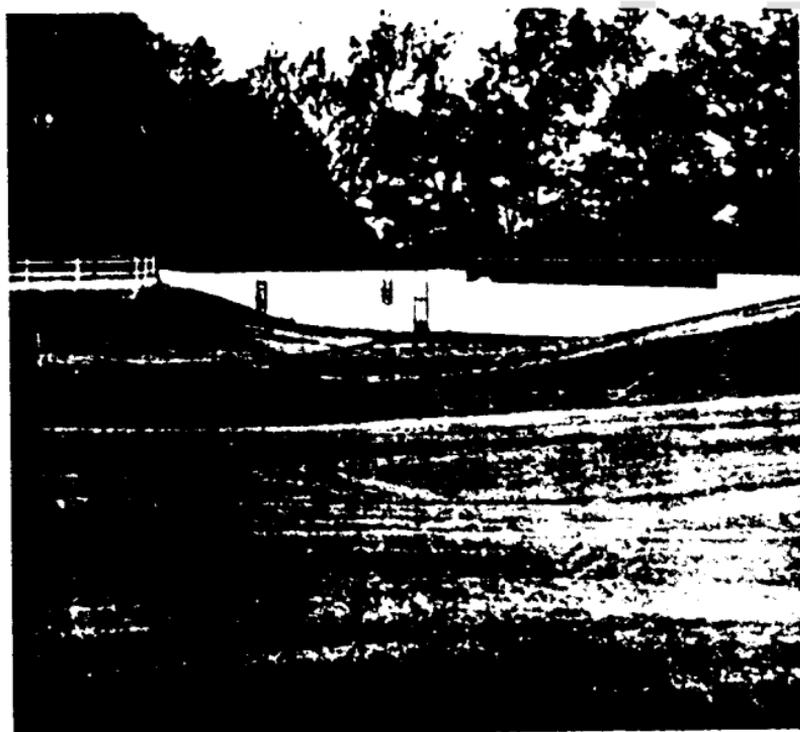


Figura XV-6. Piscina con revestimiento asfáltico,  
Wallingford, Conn.

mezcla de superficie. Después de **una** imprimación por riego se trató esta superficie con un betún con emulsificado filler antes de pintarla con una pintura acrílica.

**15.28 VERSATILIDAD DE EMPLEO.** Las piscinas pavimentadas con asfalto permiten obtener grandes extensiones aprovechables a costo relativamente económico. Por ejemplo, la piscina de Wallingford está dividida con cuerdas en tres zonas. Aproximadamente una tercera parte de la piscina es para **niños** y no nadadores, con una profundidad máxima de **1 m**. Al otro lado de la cuerda existe una piscina normal de **50 m** de longitud con profundidades comprendidas entre **1 m** y **2,40 m**. Del otro lado, el fondo desciende rápidamente hasta una gran zona para saltos.

**15.29 VENTAJAS DEL ASFALTO.** Entre las excelentes cualidades de las piscinas revestidas de asfalto cuentan la suavidad de la superficie, su agradable apariencia y sus cualidades de envejecimiento excepcionalmente buenas. Estas propiedades se deben a la resistencia del asfalto **al** agua, los rayos solares, el aire, la presión, el peso, la helada, el deshielo, el cloro y la abrasión.

**15.30 RECONSTRUCCION DE UNA PISCINA.** Otra piscina muy grande, actualmente revestida de asfalto, se encuentra en Crescent Hill, Louisville, Kentucky. Esta piscina, de **58 m** de largo por **50** de ancho, de forma ovalada, revestida originalmente de hormigón hidráulico, se había agrietado de tal forma que en **1948** se decidió revestirla con asfalto. El proceso de construcción consistió en tratar los baches, imprimir con una capa de adherencia de asfalto líquido de curado rápido y volver a revestir con **40 mm** de hormigón asfáltico en caliente. Después de revestir el fondo de la piscina empleando maquinaria de pavimentación del tipo usual y una apisonadora de **10 t**, se revistió **la** superficie con pintura de aluminio, aplicando a continuación dos capas de pintura blanca.

**15.31 NUEVO PAVIMENTO ASFALTICO.** El revestimiento de la gran piscina de Crescent Hill tuvo tal éxito, que en **1949** se decidió volver a pavimentar la superficie agrietada y disgregada de **una** piscina poco

profunda próxima. Esto se logró cubriendo sus 200 m<sup>2</sup> de revestimiento de tipo rígido averiado, después de tapar los huecos e imprimir con una capa lisa e impermeable de arena-asfalto de **40 mm** de espesor.

**15.32 PISCINAS ASFALTICAS POCO PROFUNDAS.** Estas piscinas pueden imaginarse como grandes extensiones de poca profundidad con una pendiente gradual hasta una profundidad máxima que suele ser de unos **45 cm**, con un revestimiento impermeable. Para superficies de este tipo se obtendrá la impermeabilidad suficiente y una textura superficial satisfactoriamente lisa, empleando **75 mm** de una mezcla asfáltica en caliente con áridos finos o un hormigón asfáltico con áridos de poco tamaño, extendido y compactado adecuadamente sobre una cimentación bien drenada.

Es importante construir cuidadosamente la cimentación para la piscina excavando primeramente el terreno en la forma deseada y aumentando su densidad mediante una compactación completa que alcance hasta una profundidad de al menos **20 a 25 cm**. También debe preverse un drenaje, y el fondo de la piscina debe tener una ligera pendiente, de manera que pueda limpiarse rápidamente.

Como la congelación no afecta en absoluto a las superficies asfálticas, las piscinas de este tipo pueden servir satisfactoriamente como pistas de patinaje en invierno.

### *E) Empleos del asfalto en ganadería*

**15.33 GENERALIDADES.** Los estudios realizados hasta la fecha han demostrado que los establos, abrevaderos y demás espacios ocupados por los animales, revestidos de asfalto, son económicos y duraderos y producen aumentos **en** el peso del ganado y en su producción de leche, así como un estado sanitario más satisfactorio.

**15.34 ESPESOR DEL PAVIMENTO.** En el artículo **15.37** se indican los espesores de los pavimentos a colocar sobre el terreno.

15.35 CONDICIONES. 1. **Terreno.** Debe limpiarse el terreno natural de suciedad y desechos de todo tipo, regularizarse su superficie dándole la pendiente adecuada y compactarlo por apisonado hasta obtener un poder portante uniforme.

2. **Drenaje.** Es totalmente imprescindible un drenaje superficial efectivo. Se recomienda el empleo de una pendiente no inferior al 0,8 ‰, siendo deseables pendientes incluso mayores. Cuando el borde del pavimento está en desmante es necesario construir a lo largo de él un canal de desagüe para eliminar el agua y evitar que penetre bajo el pavimento. .

3. **Capas de base y subbase.** El material para las capas de base y subbase se compondrá de áridos locales de buena calidad que cumplan las exigencias locales para construcción de carreteras y calles. La **granulometría** de los materiales debe ser satisfactoria, y no deben contener más del 8 ‰ de materiales que pasen por el tamiz número 200.

4. **Capa de superficie.** Los ácidos de los desechos animales no afectan al asfalto, pero a veces pueden atacar o destruir ciertos tipos de áridos, como las calizas o dolomías más blandas. Por ello **es** preferible emplear en la capa de superficie áridos inertes al ataque de los ácidos. La capa de superficie debe ser densa para evitar la infiltración de humedad.

5. **Revestimiento de arena.** Después de terminado el apisonado superficial debe cubrirse el pavimento uniformemente con arena fina a razón de aproximadamente 5 kg m<sup>2</sup>.

#### PRECAUCION

**Conviene advertir a los poseedores de ganado que no emprendan un inútil esfuerzo intentando realizar por sí mismos pavimentaciones de este tipo. En todo caso, conviene recurrir a un contratista de pavimentación experimentado.**



**Figura XV-7. Terreno de una granja pavimentado con asfalto.**

15.36 TIPO DE PAVIMENTO. Las cargas concentradas de las patas de los animales y las ruedas de los vehículos empleados en los trabajos de las granjas, requieren un pavimento resistente y duradero que se componga de una capa asfáltica superficial sustentada por las necesarias capas de base y subbase. Véanse los artículos 2.21, 2.22 y 2.23. Normalmente se obtienen los mejores resultados si se construye el pavimento de hormigón asfáltico. Véase el artículo 2.50, tabla V-2 y la tabla V-3. Sin embargo, cuando existe suficiente espacio, también dan excelentes resultados los pavimentos de macadam por penetración construidos cuidadosamente por trabajadores expertos, de forma que se cumplan las condiciones antes indicadas. Véase el artículo 2.37, capítulo VIII, sección D.

**Tabla XV-1—ESPEORES RECOMENDADOS PARA PAVIMENTOS PARA CORRALES DE GANADO**

Tipo de terreno		Espesores necesarios			
		Superficie asfáltica		Capa de base	Capa de sub-base
		Hormigón asfáltico	Macadam por penetración		
<b>Buena</b>	Arenas o gravas arenosas bien drenadas y compactadas	6 a 10 cm	7.1 a 10 cm	10 cm	Ninguna
<b>Aceptable</b>	Arcillas limosas medias no plásticas en estado húmedo	5 a 10 cm	7.5 a 10 cm	10 a 15 cm	0 a 10 cm
<b>Mala</b>	Arcillas pesadas plásticas en estado húmedo	5 a 10 cm	7.6 a 10 cm	10 cm	10 a 20 cm

15.38 CONSERVACION. Véase el capítulo IX, sección B.

### **F) Motocines**

15.39 GENERALIDADES. El asfalto es un material ideal para la pavimentación de motocines, porque su superficie oscura refleja muy poca luz, facilitando de esta forma la visión de la pantalla.

15.40 TIPOS DE PAVIMENTOS. Los pavimentos para los motocines son esencialmente los mismos empleados en los aparcamientos sometidos solamente al tráfico ligero de vehículos de turismo. Véase el capítulo XIII.

### **G) Suelos industriales**

#### **Suelos para almacenes y fábricas**

15.41 GENERALIDADES. Los pavimentos asfálticos se adaptan admirablemente para su empleo en muchas fábricas y almacenes. Normalmente se extien-

den, si están situados sobre el nivel del suelo, sobre forjados de hormigón hidráulico, pero si están en la planta baja o en sótanos pueden extenderse sobre cualquier capa de base adecuada para la construcción de carreteras. Los pavimentos asfálticos son impermeables, altamente resistentes al desgaste, por lo que no dan polvo, y mediante la selección de unos áridos muy silíceos puede conseguirse que sean resistentes a los ácidos.

**15.42 SUELOS DE MASTICO ASFALTICO.** Inicialmente el mástico asfáltico se preparaba empleando piedra caliza bituminosa machacada (roca asfáltica), pero actualmente se aplica normalmente esta denominación a una mezcla de arena graduada, filler mineral y betún asfáltico, completamente similar en esencia a las pavimentaciones de tipo *sheet asphalt*. Los suelos de fábricas y almacenes están sometidos frecuentemente a cargas unitarias muy pesadas aplicadas a través de ruedas metálicas estrechas y de pequeño diámetro. Cuando se encuentra esta dificultad, la mezcla normal de tipo *sheet asphalt* se modifica empleando un betún asfáltico más duro, por ejemplo, de penetración 30 a 40, y una proporción más elevada de filler mineral muy fino. Se recomienda un espesor máximo de 40 mm. Cuando no es necesaria la resistencia a los ácidos, pero *sí* una alta estabilidad y resistencia al impacto, puede emplearse un producto patentado compuesto de una emulsión asfáltica especial, cemento Portland, arena y piedras con un tamaño máximo de 9 mm.

**15.43 SUELOS DE HORMIGON ASFALTICO.** El hormigón asfáltico fabricado con áridos de granulometría densa y aplicado en caliente, como el que se emplea en pavimentación de calles y aeropuertos, es excelente para la pavimentación de suelos de almacenes y fábricas. El asfalto en **si** no es afectado por los ácidos, pero **los** áridos deben ser resistentes a ellos, y debe tenerse cuidado de proyectar y compactar la mezcla de tal **forma** que se obtengan alta densidad y gran impermeabilidad.

El espesor de las capas de superficie, intermedia, de base y de subbase en los suelos de almacenes debe

proyectarse lo mismo que en los pavimentos de carreteras sometidos a cargas similares (véase el cap. V).

**15.44 PAVIMENTOS DE BLOQUES ASFÁLTICOS.** Los pavimentos de bloques asfálticos se han empleado ampliamente y con éxito en suelos industriales sometidos a trabajo duro, plataformas de carga, muelles y rampas. Se aplican usualmente sobre una capa de mortero con juntas cerradas, aplicando a continuación una lechada de material de relleno de juntas a base de emulsión asfáltica.

## ***H) Revestimiento asfáltico de tuberías***

**15.45 TIPOS PRINCIPALES.** Los revestimientos asfálticos protectores para tuberías<sup>1</sup> pueden pertenecer a uno de los tres tipos principales siguientes:

1. Sistemas con vendas.
2. Sistemas a base de mástico.
3. Revestimientos para superficies interiores.

### **Sistemas con vendas**

**15.46 GENERALIDADES.** Los sistemas de protección para tuberías a base de asfalto y vendas consisten en una capa de imprimación **seguida** por una o dos aplicaciones de UM pasta asfáltica combinadas con una o más capas de vendas reforzantes y protectoras. A veces se aplica UM venda exterior en lugar de la venda interior o además de ella. Cuando **es** necesaria UM protección adicional<sup>2</sup> pueden aplicarse más capas o mayores espesores de pasta asfáltica y vendas. Cuando las zanjas en que se encuentran las tuberías han de rellenarse con piedra, puede especificarse también una protección especial a base de material de relleno adecuado o una protección prefabricada contra la acción de las rocas.

---

<sup>1</sup> Véase también la publicación *Asphalt Protecting Coatings for Pipelines*, Asphalt Institute Construction Series numero 96.

<sup>2</sup> Nota: El ingeniero debe especificar en qué puntos es necesaria protección adicional y en qué ha de consistir ésta.

1. **Sistemas de venda simple.** Se componen de:
  - Una capa de material asfáltico de imprimación.
  - Una capa de pasta asfáltica en caliente con un espesor de **2,4 mm**.
  - Una venda de fieltro o velo de vidrio saturados de asfalto, perfectamente adherida a la pasta asfáltica.Si el ingeniero acepta un sistema más vulnerable con menos protección puede emplearse el siguiente procedimiento:
  - Una capa de imprimación asfáltica.
  - Una capa de masilla asfáltica, de tipo B, de **2,4 mm** de espesor.
  - Una venda de velo de vidrio (hundida en el material de revestimiento).
2. **Sistemas de venda doble.** Se componen de:
  - Una capa de imprimación.
  - Una capa de pasta asfáltica en caliente con un espesor de **2,4 mm**.
  - Una venda de velo de vidrio (hundida en la pasta).
  - Una venda de fieltro o velo de vidrio saturado en asfalto completamente unida a la pasta asfáltica.
3. **Sistema de doble revestimiento y doble venda.** Se compone de:
  - Una capa de imprimación.
  - Una capa de pasta asfáltica en caliente con un espesor de **2,4 mm**.
  - Una capa de fieltro o velo de vidrio saturado en asfalto completamente unida a la pasta.
  - Una capa de pasta asfáltica en caliente de **0,8 mm** de espesor.
  - Una venda de fieltro o velo de vidrio saturado en asfalto, perfectamente unida a la pasta.

Cuando se requiere mayor protección se modifica el procedimiento especificado en cualquiera de los dos procedimientos a base de doble venda, de forma que sea posible añadir más capas de pasta asfáltica en caliente y vendas de fieltro saturado en asfalto, velos de vidrio o velos de vidrio saturados en asfalto.

**15.47 SISTEMAS A BASE DE MASTICOS.** Los

sistemas para protección de tuberías a base de másticos se componen de una capa de imprimación seguida de un revestimiento con una mezcla densa, impermeable y esencialmente carente de huecos, de asfalto, áridos y filler mineral, a la que puede incorporarse fibra de amianto. El máximo espesor admisible es usualmente de 6 mm. El revestimiento terminado debe pintarse encalándolo.

Las especificaciones y métodos de ensayo para material asfáltico de imprimación, aglomerando asfáltico, áridos, filler mineral y fibra de amianto, se describen con detalle en *Asphalt Protecting Coatings for Pipelines*, Asphalt Institute Construction Series núm. 96, así como los métodos de construcción de los sistemas para protección de tuberías a base de másticos.

**15.48 REVESTIMIENTOS PARA SUPERFICIES INTERIORES.** Los revestimientos asfálticos para las superficies interiores de las tuberías se componen de una capa de imprimación seguida por una capa de pasta asfáltica aplicada por centrifugación. El espesor es usualmente de 2,4 mm.

Las especificaciones y métodos de ensayo para los productos asfálticos de imprimación y las pastas asfálticas para empleo en revestimientos de interior de tuberías, se describen completamente en *Asphalt Protective Coatings for Pipelines*, Asphalt Institute Construction Series núm. 96, donde se describen también los métodos constructivos y los ensayos a realizar sobre el revestimiento terminado.

### **I) Aceras**

(Véase la sección G, cap. X.)

### **J) Protección de sementeras con asfalto**

**15.50 GENERALIDADES.** La estabilización de laderas y superficies planas próximas a las carreteras y otras obras semejantes es un problema crónico para los ingenieros y un problema de magnitud nacional para

los granjeros. La erosión del suelo causada por el viento y el agua puede detenerse y prevenirse de la forma más efectiva y económica mediante la plantación de vegetación de tal tipo que produzca un anclaje del suelo evitando su desplazamiento.

Sin embargo, a menos que se empleen métodos artificiales para mantener la estabilidad del suelo durante el período de germinación, las continuas fuerzas destructivas de la Naturaleza pueden producir el arrastre de la semilla casi tan pronto como se siembra. Para evitarlo se emplean procedimientos protectores que mantienen las semillas en su lugar hasta que hayan germinado y las plantas hayan arraigado.

La aplicación por riego de un asfalto líquido, combinada con un recubrimiento de paja, fija ésta, produciendo una delgada protección que acelera la germinación y asegura un buen crecimiento de la hierba.

**15.51 METODO DE EMPLEO.** Existen dos métodos aceptados para el empleo del asfalto en este tipo de protección. Uno de ellos es aplicar asfalto solamente en forma de película delgada extendida por riego sobre la superficie sembrada; el otro es emplear el asfalto líquido como elemento aglomerante de paja o heno. La experiencia ha demostrado que puede emplearse el asfalto con éxito de ambas formas. A continuación describiremos ambos procedimientos separadamente:

### **1. Protección solamente con asfalto.**

Cuando se emplea solamente asfalto como protección puede utilizarse en forma de asfalto fluidificado o de emulsión. Esta delgada película de asfalto tiene tres tipos de efectos beneficiosos. En primer lugar, protege la semilla contra las fuerzas erosivas del viento y la lluvia. En segundo lugar, como consecuencia de su color oscuro, absorbe y conserva el calor solar durante el período de germinación. Finalmente, tiende a mantener la humedad del suelo, dando lugar a un abundante y rápido crecimiento de la vegetación. La película de asfalto se agrieta y contrae fácilmente cuando las plantas emergen del suelo, permitiendo su libre

crecimiento. Después de haber cumplido su finalidad, la película de asfalto se disgrega.

Se emplea normalmente un asfalto fluidificado de curado medio (MC-2 o MC-3) o una emulsión asfáltica (SS-1 o MS-2). Se aplica a razón de 0,60 a 1,20 l/m<sup>2</sup>, según el terreno y la pendiente de la superficie a tratar. Debe cuidarse la dosificación empleada. Un exceso de asfalto puede sellar el suelo retrasando el crecimiento. Si la cantidad es insuficiente, puede no evitar los efectos erosivos del viento y del agua.

La superficie a tratar debe estar adecuadamente preparada antes de sembrar. No deben existir surcos u hoyos, ya que la distribución del asfalto no sería **uni**-forme. Cuando existen surcos, uno de los lados puede recibir una aplicación de asfalto muy abundante, mientras que el más alejado puede quedar insuficientemente tratado. Cuando existen agujeros, el asfalto puede acu-



**Figura XV-8.** Aplicación de asfalto a laderas recubiertas de paja mediante una barra extendidora lateral unida al camión distribuidor.

mularse en ellos formando lagunas, retardando la germinación de la semilla.

Una vez preparada la superficie se extienden las semillas y el fertilizante. Esto puede hacerse a mano, pero también se han desarrollado varias máquinas que aplican la semilla, el abono y el agua en una sola aplicación. Las máquinas pueden trabajar desde terreno firme, lanzando la mezcla por soplado sobre la superficie a tratar sin modificar su aspecto superficial.

Después de sembrar se extiende el asfalto con la dosificación prescrita. Puede aplicarse mediante pulverizadores de mano o con una barra distribuidora unida a un camión distribuidor de asfalto.

## 2. Cubrición de asfalto y paja.

Existen dos métodos normalmente empleados en la fijación de paja o heno con asfalto. Uno de ellos consiste en extender la paja o el heno sobre la zona a proteger, cubriéndolos después con un riego asfáltico. El otro método emplea un soplador mecánico que lanza simultáneamente la paja o heno y el asfalto, mezclándose ambos ingredientes en el aire. Ambos métodos dan excelentes resultados si se emplean adecuadamente.

Este método presenta muchas ventajas sobre el antiguo sistema de atar la paja con alambres o estacas de madera. Con este nuevo sistema la mano de obra necesaria es muy poca y se evitan los daños que causan en la zona sembrada los hombres y máquinas al andar sobre las laderas.

A continuación se discuten separadamente los dos métodos para proteger laderas con paja fijada con asfalto.

## 3. Método A.

Después de preparar adecuadamente la superficie se aplica la paja o heno, a razón de, aproximadamente, 3 a 4 t/hc. El material puede aplicarse manualmente o con un soplador especial construido con esta finalidad. Una vez aplicada esta capa de protección se mezcla la simiente con agua y se riega la mezcla mediante

un aplicador hidráulico de simientes y fertilizante. Arrastrados por la mezcla acuosa, la simiente y el fertilizante pasan a través de la capa de paja penetrando en el suelo. A continuación se riega sobre la manta de paja el asfalto líquido, que la fija en su posición definitivamente.

El asfalto puede aplicarse de diversas formas. Algunos prefieren una distribución en diente de sierra, mientras que otros prefieren la distribución en tablero de ajedrez cruzando líneas verticales, distribuidas uniformemente, con otras horizontales. El método más usado, y el que parece dar mejores resultados —especialmente cuando la velocidad del viento es elevada—,

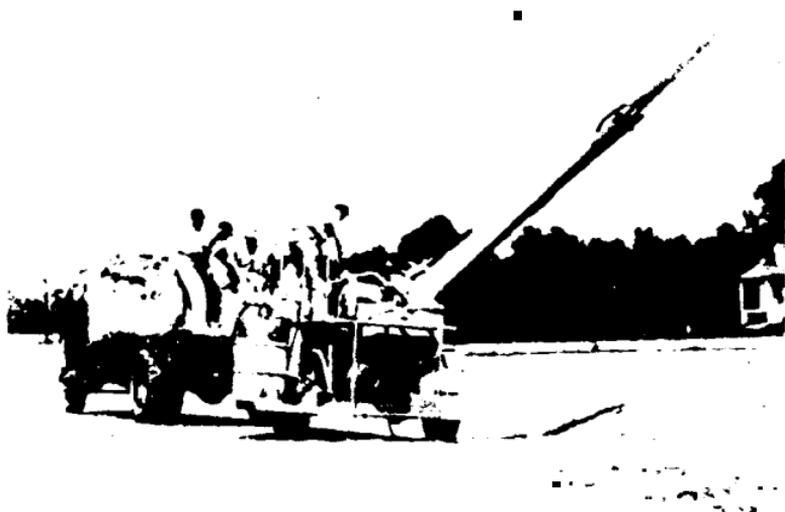


Figura XV-9. El soplador mecánico lanza la paja y el asfalto simultáneamente en una sola operación de gran rendimiento.

es la aplicación del asfalto formando una capa uniforme.

Al aplicar el asfalto de esta última forma puede emplearse una boquilla pulverizadora simple, especialmente proyectada, o, en ciertos casos, una barra pulverizadora con boquillas múltiples. El asfalto se aplica

usualmente a razón de **0,4 l/m<sup>2</sup>** si la cantidad de paja aplicada **es** la indicada anteriormente. Si se emplean cantidades mayores de material de protección la cantidad de asfalto debe aumentarse también proporcionalmente.

#### **4, Método B.**

Después de preparar la superficie para la siembra y de extender la simiente y el fertilizante, se aplican la paja y el asfalto en una sola aplicación. Para ello se emplea una máquina sopladora especial con chorros gemelos, que lanza el asfalto y el material de protección simultáneamente. Este método tiene dos importantes ventajas: aplica materiales en una operación única, reduciendo el costo y acelerando el trabajo, y produce una unión más perfecta de la capa protectora.

Algunos organismos especifican determinados materiales asfálticos para su empleo en este tipo de aplicaciones, pero, en general, se **ha** encontrado que cualquier tipo de asfalto líquido suficientemente fluido para ser pulverizado por la maquinaria extendedora **es** satisfactorio. Se recomienda el empleo de asfaltos fluidificados de curado rápido (RC-1, RC-2 y RC-3), de curado medio (MC-2 y MC-3) y emulsiones asfálticas (**SS-1**, MS-2, RS-1 y RS-2).

15.52 REFERENCIAS. Las publicaciones del Instituto del Asfalto que **se** citan a continuación contienen más información acerca de los usos del asfalto tratados en este capítulo:

1. *Specificatias and Construction Methods for Asphalt Concrete and Other Plant-Mix Types*, Specification Series núm. 1 (**SS-1**).
2. *Thickness Desing-Asphalt Pavement Structures for Highways and Streets*, Manual Series núm. 1 (MS-1).
3. *Mix Desing Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types*, Manual Series núm. 2 (MS-2).
4. *Asphalt Plant Manual*, Manual Series núm. 3 (MS-3).

5. *Asphalt Mulch Treatment*, Manual Series, num. 7 (MS-7).
6. *Asphalt Paving Manual*, Manual Series num. 8 (MS-8).
7. *Asphalt in Hydraulic Structures*, Manual Series núm. 12 (MS-12).
8. *Asphalt Surface Treatments and Asphalt Penetration Macadam*, Manual Series núm. 13 (MS-13).
9. *Asphalt Protective Coatings for Pipe Lines*, Construction Series núm. 96 (CS-96).

# Capítulo XVI

## TABLAS UTILES Y DATOS DIVERSOS

16.01 Este capítulo contiene una colección de tablas y datos diversos frecuentemente Útiles para quienes emplean materiales asfálticos. Parte de este material se da en forma de tablas y parte en forma descriptiva.

16.02 INSTRUCCIONES PARA LA DESCARGA DE VAGONES CISTERNAS DE ASFALTO.

### ADVERTENCIA

**Manténganse apartadas las luces y fuegos. En la descarga de los vagones cisternas no debe emplearse gas ni aire a presión.**

### 1. Elementos de calentamiento

Todos los vagones cisternas para asfalto están provistos de serpentines de vapor simples o dobles.

En general, se indica de alguna forma cuáles son las conexiones de entrada y de salida de vapor, siendo importante que la conexión se haga de la forma prescrita. Si se conecta la entrada de vapor a las bocas dispuestas para salida de agua condensada, ésta puede acumularse en las tuberías impidiendo la libre circulación del vapor. Cuando las conexiones se hacen de la forma prevista el agua condensada fluye por gravedad a través de los serpentines, eliminándose por las salidas preparadas al efecto.

Entre la caldera y el serpentín del vagón cisterna debe existir una llave de globo.

También debe disponerse entre la caldera de vapor y los serpentines del vagón cisterna una junta de aco-

plamiento rápido para acelerar el montaje de las tuberías y tener un punto adecuado para interrumpir la conexión rápidamente en caso de que sea necesario mover el vagón.

La salida de los serpentines de vapor debe reducirse a una tubería de media pulgada y una válvula situada en su extremo, de tal forma que pueda regularse para eliminar el agua condensada. En los vagones con serpentín doble cada una de las unidades debe tener una válvula de salida separada, preparada de tal forma que, si uno de los serpentines pierde, pueda emplearse el otro cerrando la válvula del averiado.

Si en cualquier momento hay que desmontar la válvula de salida, debe cerrarse antes la de entrada.

En las mangueras de descarga debe preverse una unión de cualquier tipo que facilite la rápida conexión o desconexión de la tubería de descarga si es necesario mover el vagón.

Es esencial que se emplee en el calentamiento del material suficiente presión de vapor. El tiempo necesario para calentar el asfalto a tal temperatura que se bombee fácilmente depende de la penetración del material, la presión del vapor empleado y las condiciones atmosféricas; en condiciones normales son suficientes de 8 a 12 horas.

Debe emplearse vapor a una presión de 6 a 9 kg/cm<sup>2</sup>. Las temperaturas del vapor a diversas presiones son las siguientes: 6,33 kg, 166,1 °C; 7,03 kg, 170 °C; 7,73 kg, 173,9 °C; 8,79 kg, 179,4 °C. Para que pueda bombearse fácilmente el asfalto de penetración 45 a 60, debe calentarse aproximadamente a 116 °C; el de penetración 100 a 150 a unos 102,2 °C, y los más ligeros a temperaturas comprendidas entre 93 y 101 °C.

## 2. Aplicación del vapor

Antes de conectar el vapor a los serpentines hay que asegurarse de que las válvulas de salida están completamente abiertas. Se abre el paso de vapor gradualmente hasta que los serpentines se han calentado y por la salida sale vapor, después de lo cual puede abrirse completamente la entrada.

Cuando empieza a salir vapor por la salida se regula la válvula de salida de manera que se elimine solamente agua condensada.

A menos que se siga cuidadosamente este procedimiento, los serpentines se rompen fácilmente por la expansión excesivamente rápida.

Durante la primera hora de calentamiento es aconsejable abrir de vez en cuando la válvula de salida de vapor para eliminar el exceso de condensación, asegurando así un calentamiento de mejor rendimiento.

Si en el serpentín hay roturas se notarán por el burbujeo del vapor a través del asfalto. A veces este ruido se convertirá en un verdadero tronar.

Si el vagón está provisto de serpentín doble se corta el vapor de los dos y se determina después cuál es el averiado, abriéndolos separadamente. Una vez hecha esta determinación puede continuarse el calentamiento por medio del que está en buenas condiciones.

Si los dos están averiados, o si se encuentra una fuga en las cisternas que sólo tienen un serpentín, puede calentarse el asfalto mediante un serpentín portátil introducido en la cisterna por la boca de hombre.

### **3. Estacionamiento y descarga de vagones cisterna**

Los vagones cisternas deben situarse en un tramo de vía horizontal, con los frenos echados y las ruedas bloqueadas. Hay que abrir la cubierta de la boca de hombre (véase la fig. XVI-3), inspeccionando la válvula interna para asegurarse de que está cerrada.

A continuación debe prepararse la manguera flexible para su conexión. Debe aflojarse gradualmente la tapa de la válvula de la boca de salida, observando cuidadosamente cualquier indicación de fuga. Si existe alguna fuga se aprieta de nuevo la válvula y se comprueba la válvula interior para asegurarse de que está perfectamente cerrada. Si no hay fugas se quita la tapa y se conecta la manguera de descarga.

Antes de empezar a descargar se comprueban todas las válvulas y tuberías que conducen al tanque de almacenaje o al camión, para asegurarse de que hay paso

libre. **A** continuación se abre la válvula interior y se procede a la descarga.

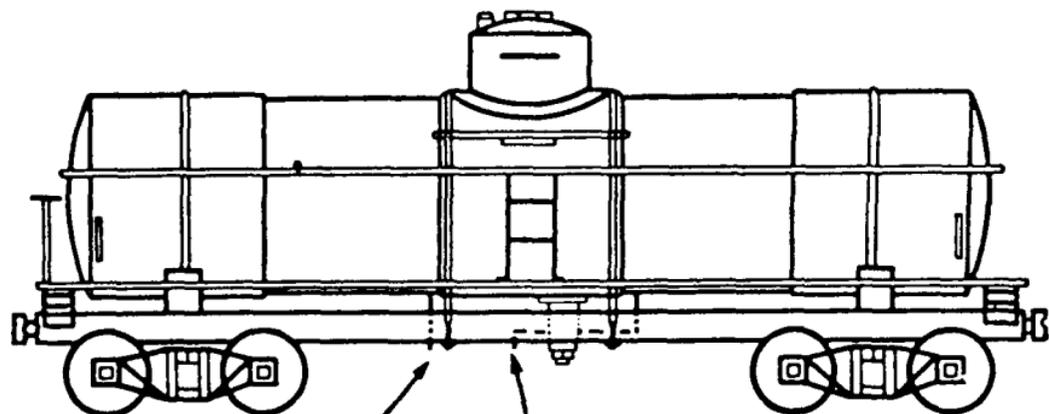
Si la boca de salida esta taponada con asfalto se le aplica vapor vivo. En ningún caso debe emplearse una llama abierta en la boca de salida o bajo la cisterna.

En cualquier momento en que se interrumpa la operación de descarga debe cerrarse la válvula interior antes de cerrar la de la manguera, para permitir que salga el material contenido en la tubería de salida. Si hay que dejar el vehículo sin vigilancia debe interrumpirse el bombeo, cerrar la válvula interior, volver a tapar la boca de hombre, desconectar las mangueras de descarga y de vapor y colocar de nuevo la tapa de la boca de salida.

Después de descargar completamente el tanque se cierra la válvula interior y se vuelve a tapar la boca de hombre, atornillándola con energía.

La boca de salida debe dejarse abierta hasta que termine de escurrir, cerrándola a continuación.

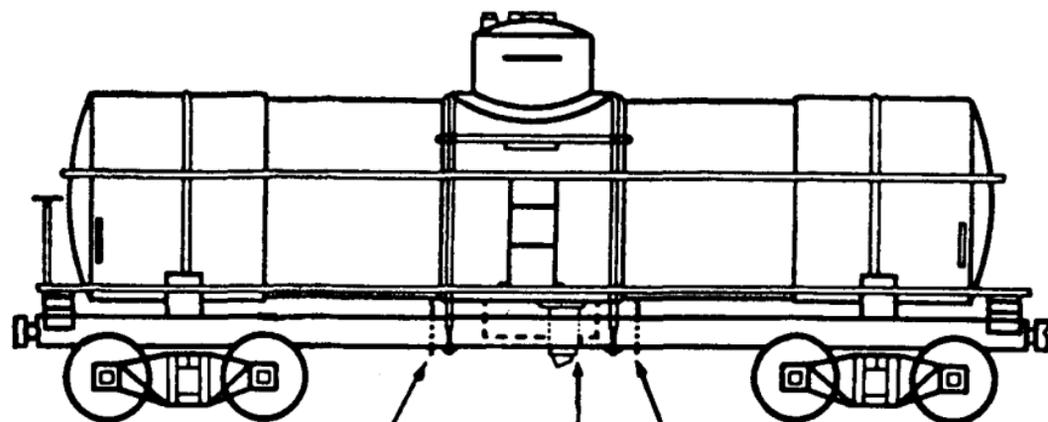
Después se desconectan las conexiones de vapor dejando escurrir los serpentines. Durante el retorno del vagón cisterna no deben taparse las bocas de los serpentines, permitiendo con ello que escurran perfectamente.



**SALIDA DE VAPOR.** Antes de dar paso al vapor debe quitarse la capa del cubo.

**ENTRADA DE VAPOR.** El vapor se conecta después de quitar la tapa del cubo. Una vez vacío el vagón vuelve a colocarse la capa.

**Figura XVI-1. Vagón tanque con serpentín simple.**



**SALIDA DE VAPOR «B».** Antes de dar paso al vapor debe quitarse la tapa del tubo.

Para asegurar una correcta calefacción del vagón debe salir vapor de las bocas «A» y «B».

**SALIDA DE VAPOR «A».** Antes de dar paso al vapor debe quitarse la tapa del tubo.

**ENTRADA DE VAPOR** Se quita la tapa del cubo conectándole el vapor. Una vez a vacío el vagón se coloca de nuevo la tapa.

Figura XVI-2. Vagón tanque con **serpentín** doble.

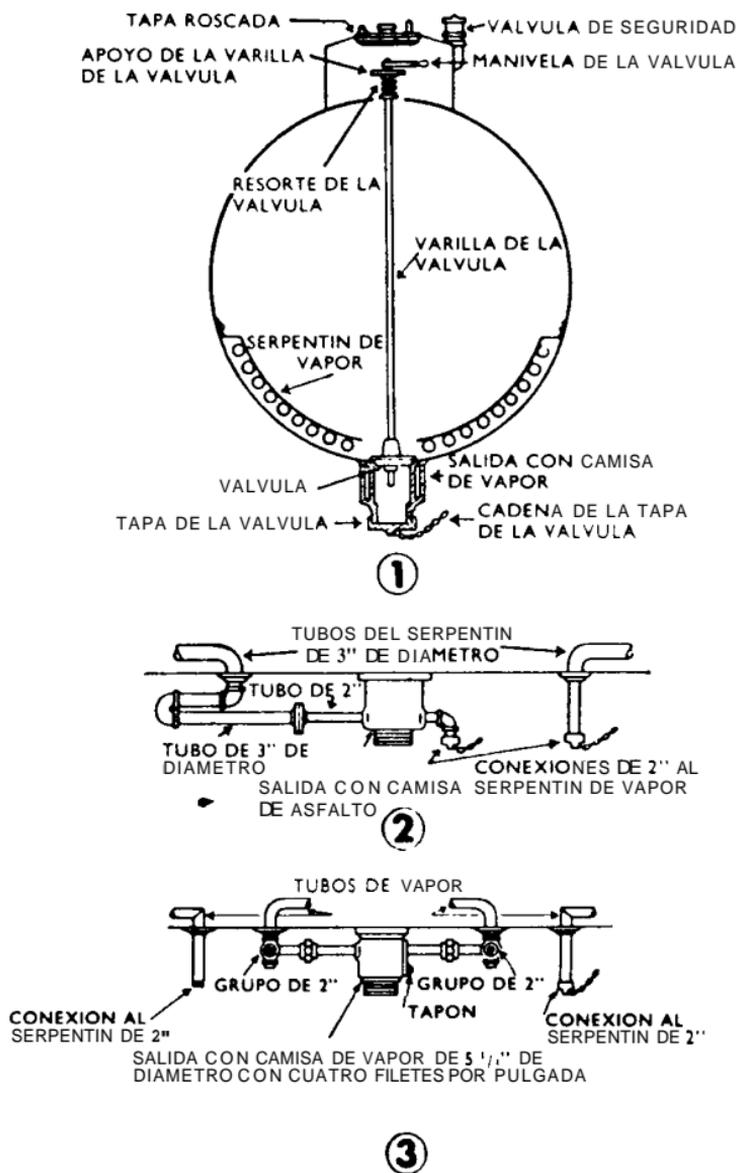


Figura XVI-3. 1) Dispositivos interiores de la válvula. 2) Conexiones de vapor y salida con serpentín simple. 3) Conexiones de entrada y salida de vapor con serpentín doble.

**16.03 CORRECCIONES TEMPERATURA-VOLUMEN PARA MATERIALES ASFÁLTICOS.** Los productos asfálticos cambian de volumen cuando cambia su temperatura. El cambio de la unidad de volumen por grado de cambio en la temperatura se llama coeficiente de expansión, factor que varía con el peso específico del producto asfáltico. Normalmente se emplea como base para determinaciones volumétricas del asfalto y otros productos de petróleo la temperatura de **15,6 °C (60 °F)**.

La American Society for Testing Materials ha preparado y publicado tablas muy completas con las correcciones temperatura-volumen para los productos de petróleo. Estas tablas están contenidas en un libro titulado *ASTM-IP Petroleum Measurement Tables*, publicado en enero de **1953** (designación ASTM **D1250**). Las tablas de corrección temperatura-volumen que damos a continuación se han extraído de esta publicación ASTM.

En las tablas siguientes se dan los datos de corrección temperatura-volumen para materiales asfálticos con peso específico a **15,6 °C** superior a **0,966** (designados por ASTM como materiales de grupo O), para materiales asfálticos cuyo peso específico a la misma temperatura está comprendido entre **0,850** y **0,966**, ambos inclusive (designados por ASTM como materiales de grupo 1), y para emulsiones asfálticas (véanse las tablas XVI-1, XVI-2 y XVI-4).

*Ejemplo de empleo.* Supongamos que el peso específico de un material asfáltico a **15,6 °C** es de **0,985**. Supongamos que el volumen medido de este material es de **9000 l** a una temperatura de **82 °C**. Determinése el volumen de este material a una temperatura de **15,6 °C**.

*Método.* El peso específico de **0,985** sitúa al material en el grupo O. En la tabla correspondiente a materiales del grupo O, a una temperatura de **82,2 °C**, le corresponde un factor de corrección de **0,9587**. Multiplicando **0,9587** por **9000 l** da un volumen a **15,6 °C** de **8628 l**.

**Tabla XVI-1**

**CORRECCIONES TEMPERATURA-VOLUMEN  
PARA MATERIALES ASFALTICOS**

**GRUPO 0—PESO ESPECIFICO A 60° F SUPERIOR A 0,966**

**LEYENDA:** t = temperatura observada en ~~9~~ ° C

**M** = multiplicador para corregir los volúmenes observada a volúmenes a 60° F.

t	M	t	M	t	M
0	1,0095	34	0,9881	68	0,9670
1	1,0089	35	0,9875	69	0,9664
2	1,0082	36	0,9869	70	0,9658
3	1,0076	37	0,9863	71	0,9652
4	1,0069	38	0,9856	72	0,9646
5	1,0063	39	0,9850	73	0,9640
6	1,0057	40	0,9844	74	0,9634
7	1,0050	41	0,9838	75	0,9628
8	1,0044	42	0,9832	76	0,9622
9	1,0037	43	0,9825	77	0,9616
10	1,0031	44	0,9819	78	0,9609
11	1,0025	45	0,9813	79	0,9603
12	1,0019	46	0,9807	80	0,9597
13	1,0012	47	0,9801	81	0,9591
14	1,0006	48	0,9794	82	0,9585
15	7,0000-	49	0,9788	83	0,9578
16	0,9994	50	0,9782	84	0,9573
17	0,9988	51	0,9776	85	0,9567
18	0,9981	52	0,9770	86	0,9561
19	0,9975	53	0,9763	87	0,9555
20	0,9969	54	0,9757	88	0,9548
21	0,9963	55	0,9751	89	0,9542
22	0,9956	56	0,9745	90	0,9536
23	0,9950	57	0,9739	91	0,9530
24	0,9943	58	0,9732	92	0,9524
25	0,9937	59	0,9726	93	0,9518
26	0,9931	60	0,9720	94	0,9512
27	0,9925	61	0,9714	95	0,9506
28	0,9918	62	0,9708	96	0,9500
29	0,9912	63	0,9701	97	0,9494
30	0,9906	64	0,9695	98	0,9488
31	0,9900	65	0,9689	99	0,9482
32	0,9894	66	0,9683	100	0,9476
33	0,9887	67	0,9677	101	0,9470

**Tabla XVI-2**  
**CORRECCIONES TEMPERATURA-VOLUMEN**  
**PARA MATERIALES ASFALTICOS**  
**GRUPO 1—PESO ESPECIFICO A 60° F COMPRENDIDO**  
**ENTRE 0,850 Y 0,966**

**LEYENDA:** t = temperatura observada en °F.

M = multiplicador para corregir los volúmenes observados a volúmenes a 6C F.

t	M	t	M	t	M
0	1,0108	34	0,9864	68	0,9626
1	1,0101	35	0,9857	69	0,9619
2	1,0094	36	0,9850	70	0,9612
3	1,0086	37	0,9843	71	0,9605
4	1,0079	38	0,9836	72	0,9598
5	1,0072	39	0,9829	73	0,9592
8	1,0065	40	0,9822	74	0,9585
7	1,0058	41	0,9815	75	0,9578
8	1,0050	42	0,9808	76	0,9571
9	1,0043	43	0,9801	77	0,9564
10	1,0036	44	0,9794	78	0,9557
11	1,0029	45	0,9787	79	0,9550
12	1,0022	46	0,9780	80	0,9543
13	1,0014	47	0,9773	81	0,9536
14	1,0007	48	0,9766	82	0,9529
15	1,0000	49	0,9759	83	0,9523
16	0,9993	50	0,9752	84	0,9516
17	0,9986	51	0,9745	85	0,9509
18	0,9978	52	0,9738	86	0,9502
19	0,9971	53	0,9731	87	0,9495
20	0,9964	54	0,9724	88	0,9489
21	0,9957	55	0,9717	89	0,9482
22	0,9950	56	0,9710	90	0,9475
23	0,9943	57	0,9703	91	0,9468
24	0,9936	58	0,9696	92	0,9461
25	0,9929	59	0,9689	93	0,9455
26	0,9922	60	0,9682	94	0,9448
27	0,9915	61	0,9675	95	0,9441
28	0,9907	62	0,9668	96	0,9434
29	0,9900	63	0,9661	97	0,9427
30	0,9893	64	0,9654	98	0,9421
31	0,9886	65	0,9647	99	0,9414
32	0,9879	66	0,9640	100	0,9407
33	0,9871	67	0,9633	101	0,9400

**Tabla XVI-3**  
**CORRECCIONES TEMPERATURA-VOLUMEN**  
**PARA EMULSIONES ASFALTICAS**

**LEYENDA:** t = temperatura observada en °F.

Y = multiplicador para corregir los volúmenes observados a volúmenes a 60° F.

<b>t</b>	<b>M</b>	<b>t</b>	<b>M</b>	<b>t</b>	<b>M</b>
15	1,00000	34	0,99170	53	0,98315
16	0,99980	35	0,99125	54	0,98270
17	0,99935	36	0,99080	55	0,98225
18	0,99990	37	0,99035	56	0,98180
19	0,99945	38	0,98990	57	0,98135
20	0,99800	39	0,98945	58	0,98090
21	0,99755	40	0,98900	59	0,98045
22	0,99710	41	0,98855	60	0,98000
23	0,99665	42	0,98810	61	0,97955
24	0,99620	43	0,98765	62	0,97910
25	0,99575	44	0,98720	63	0,97865
26	0,99530	45	0,98675	64	0,97820
27	0,99485	46	0,98630	65	0,97775
28	0,99440	47	0,98585	66	0,97730
29	0,99395	48	0,98540	67	0,97685
30	0,99350	49	0,98495	68	0,97640
31	0,99305	50	0,98450	69	0,97595
32	0,99260	51	0,98505	70	0,97550
33	0,99215	52	0,98360		

**Tabla XVI-4**  
**PESOS Y VOLUMENES DE LOS MATERIALES**  
**ASFALTICOS (APROXIMADOS)**

Tipo y grado	Kg por litro	litros por kg
RC-0, MC-0, SC-0 . . . . .	0,94	1,06
RC-1, MC-1, SC-1 . . . . .	0,95	1,05
RC-2, MC-2, SC-2 . . . . .	0,96	1,04
RC-3, MC-3, SC-3 . . . . .	0,97	1,03
RC-4, MC-4, SC-4 . . . . .	0,98	1,02
RC-5, MC-5, SC-5 . . . . .	0,99	1,01
Betún asfáltico de penetración 40-50 . .	1,03	0,97
Betún asfáltico de penetración 60-70 . .	1,02	0,98
Betún asfáltico de penetración 85-100 . .	1,02	0,98
Betún asfáltico de penetración 120-150 .	1,02	0,98
Betún asfáltico de penetración 200-300 .	1,01	0,99
Emulsión Asfáltica . . . . .	1,00	1,00

**Notas:** 1. Como el peso específico de los materiales asfálticos varía incluso para el mismo tipo y grado, los pesos y volúmenes indicados son aproximados, y solamente deben emplearse para estimaciones aproximadas. Cuando se necesiten datos más exactos deben obtenerse de ensayos de laboratorio sobre el producto específico a emplear.

2. Los datos aproximados indicados anteriormente corresponden a materiales a 15° C.

Tabla XVI-5

GALONES DE ASFALTO NECESARIOS POR CADA 100 PIES LINEALES, VARIAS ANCHURAS Y DOSIFICACIONES. EN GALONES POR YARDA CUADRADA

Galones por yarda:	ANC JRA—PIES														
	1	2	6	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20	22	24
0.10	1.1	2.2	6.1	1.8	8.9	10 0	11.1	12.2	13.3	15.6	17.8	20.0	22.2	24.4	26.1
0.15	1.7	3.3	10.0	11.1	13.3	15.0	16.7	18.3	20.0	23.3	26.1	30.0	33.3	36.1	40.0
0.20	2.2	4.4	13.3	15.6	17.8	20.0	22.2	24.4	26.1	31.1	35.6	40.0	44.4	48.9	53.3
0.25	2.8	5.6	16.1	19.4	22.2	25.0	27.8	30.6	33.3	38.9	44.4	50.0	55.6	61.1	66.7
0.30	3.3	6.7	20.0	23.3	26.1	30.0	33.3	36.7	40.0	46.7	53.3	60.0	66.1	73.3	80.0
0.35	3.9	1.8	23.3	27.2	31.1	35.0	38.9	42.8	46.7	54.4	62.2	71.1	77.8	85.5	93.3
0.40	4.4	8.9	26.1	31.1	35.6	40.0	44.4	48.9	53.3	62.2	71.1	80.0	88.9	91.8	101.
0.45	5.0	10.0	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0	55.0	60.0	70.0	80.0	90.0	100.	110.	120.
0.50	5.6	11.1	33.3	38.9	44.4	50.0	55.5	61.1	66.7	77.8	88.9	100.	111.	122.	133.
0.55	6.1	12.2	36.1	42.8	48.9	55.0	61.1	67.2	73.3	85.5	97.8	110.	122.	134.	147.
0.60	6.7	13.3	40.0	46.1	53.3	60.0	66.7	73.3	80.0	93.3	107.	120.	133.	147.	160.
0.65	7.2	14.4	43.3	50.6	57.8	65.0	72.2	79.4	86.7	101.	115.	130.	145.	159.	173.
0.70	7.8	15.6	46.1	54.4	62.2	70.0	77.8	85.5	93.3	109.	124.	140.	156.	171.	187.
0.15	8.3	16.7	50.0	58.3	66.7	75.0	83.3	91.1	100.	117.	133.	150.	167.	183.	200.
0.80	8.9	17.8	53.3	62.2	71.1	80.0	88.9	97.8	107.	124.	142.	160.	178.	196.	213.
0.85	9.4	18.9	56.7	66.1	75.5	85.0	94.4	103.	113.	132.	151.	170.	189.	208.	227.
0.90	10.0	20.0	60.0	70.0	80.0	90.0	100.	110.	120.	140.	160.	180.	200.	220.	240.
0.95	10.6	21.1	63.3	73.9	84.4	95.0	106.	116.	127.	148.	169.	190.	211.	232.	253.
1.00	11.1	22.2	66.7	77.8	88.9	100.	111.	122.	133.	156.	178.	200.	222.	244.	267.
1.10	12.2	24.4	73.3	85.5	97.8	110.	122.	134.	147.	171.	196.	220.	244.	269.	293.
1.20	13.3	26.1	80.0	93.3	107.	120.	133.	147.	160.	187.	213.	240.	267.	293.	320.
1.25	13.9	27.8	83.3	97.2	111.	125.	139.	153.	167.	194.	222.	250.	278.	306.	333.
1.30	14.4	28.9	86.7	101.	116.	130.	144.	159.	173.	202.	230.	260.	288.	318.	347.
1.40	15.6	31.1	93.3	109.	124.	140.	156.	171.	187.	218.	249.	280.	311.	342.	373.
1.50	16.7	33.3	100.	117.	133.	150.	167.	183.	200.	233.	267.	300.	333.	367.	400.
1.75	19.4	38.9	117.	136.	156.	175.	194.	214.	233.	272.	311.	350.	389.	427.	467.
2.00	22.2	44.4	133.	156.	178.	200.	222.	244.	267.	311.	350.	400.	444.	489.	533.
2.25	25.0	50.0	150.	175.	200.	225.	250.	275.	300.	350.	400.	450.	500.	550.	600.
2.50	27.8	55.6	167.	194.	222.	250.	278.	306.	333.	389.	444.	500.	550.	611.	673.
2.15	30.6	61.1	183.	214.	244.	275.	306.	336.	367.	428.	489.	550.	611.	673.	733.
3.00	33.3	66.7	200.	233.	267.	300.	333.	367.	400.	467.	533.	600.	667.	733.	800.

NOTA: Fórmula empleada para el cálculo:

$$Q = \frac{100 W}{9} R = 11.11 WR$$

Donde: Q = Cantidad de asfalto necesaria en galones por cada 100 pies.

R = Dosificación en galones por yarda cuadrada.

W = Anchura de aplicación en pies.

**Tabla XVI-6**  
**GALONES DE ASFALTO NECESARIOS POR MILLA, PARA DIVERSAS ANCHURAS**  
**Y DOSIFICACIONES, EN GALONES POR YARDA CUADRADA**

Galones por yarda <sup>2</sup>	ANCHURA—PIES														
	1	2	6	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20	22	24
0.10	58.1	117	352	411	469	52a	587	645	704	821	939	1056	1173	1291	1408
0.15	MO	176	528	616	704	792	880	968	1056	1232	1408	1584	1760	1936	2112
0.20	117.	235	704	821	939	1056	1173	1291	1408	1643	1877	2112	2347	2581	2816
0.25	147.	293	880	1021	1173	1320	1467	1613	1760	2053	2347	2640	2933	3227	3520
0.30	176.	352	1056	1232	1408	1584	1760	1936	2112	2464	2816	3168	3520	3872	4224
0.35	m5.	411	1232	1437	1643	1848	2053	2259	2464	2816	3168	3520	3872	4224	4576
0.40	235.	469	1408	1643	1877	2112	2347	2581	2816	3285	3520	3989	4224	4693	5162
0.45	264.	528	1584	1848	2112	2376	2640	2904	3168	3637	3872	4341	4576	5045	5514
0.50	293.	587	1760	2053	2347	2640	2933	3227	3520	4107	4693	5280	5867	6453	7040
0.55	323.	645	1936	2259	2581	2904	3227	3549	3872	4517	5163	5808	6453	7099	7744
0.60	352.	704	2112	2464	2816	3168	3520	3872	4224	4928	5632	6336	7040	7744	8448
0.65	381.	763	2288	2669	3051	3432	3813	4195	4576	5339	6101	6864	7627	8389	9152
0.70	411.	821	2464	2815	3285	3637	4008	4379	4750	5514	6278	7041	7804	8567	9330
0.75	440.	880	2640	3080	3520	3960	4400	4840	5280	6160	7040	7920	8800	9680	10560
0.80	469.	939	2816	3285	3755	4224	4693	5162	5632	6512	7392	8272	9152	10032	10912
0.85	499.	997	2992	3491	3989	4489	4987	5485	5984	6864	7744	8624	9504	10384	11264
0.90	528.	1056	3168	3666	4164	4662	5160	5658	6156	7036	7916	8796	9676	10556	11436
0.95	557.	1115	3344	3901	4459	5016	5573	6131	6688	7568	8448	9328	10208	11088	11968
1.00	587.	1173	3520	4107	4693	5279	5867	6453	7040	8035	9030	10025	11020	12015	13010
1.10	645.	1291	3872	4517	5163	5808	6453	7099	7744	8835	9926	11017	12108	13199	14290
1.20	704.	1408	4224	4928	5632	6336	7040	7744	8448	9539	10630	11721	12812	13903	14994
1.25	733.	1467	4400	5133	5867	6600	7333	8067	8800	10067	11333	12600	13867	15133	16400
1.30	763.	1525	4576	5339	6101	6864	7627	8389	9152	10419	11686	12953	14220	15487	16754
1.40	821.	1643	4989	5749	6510	7271	8032	8793	9554	10821	12088	13355	14622	15889	17156
1.50	880.	1760	5280	6160	7040	7920	8800	9680	10560	11827	13094	14361	15628	16895	18162
1.55	910.	1819	5456	6336	7216	8096	8976	9856	10736	12003	13270	14537	15804	17071	18338
1.60	940.	1878	5632	6512	7392	8272	9152	10032	10912	12179	13446	14713	15980	17247	18514
1.65	970.	1937	5808	6688	7568	8448	9328	10208	11088	12355	13622	14889	16156	17423	18690
1.70	1000.	2000	6000	6900	7800	8700	9600	10500	11400	12667	13934	15201	16468	17735	19002
1.75	1030.	2060	6160	7040	7920	8800	9680	10560	11440	12707	13974	15241	16508	17775	19042
1.80	1060.	2120	6320	7200	8080	8960	9840	10720	11600	12867	14134	15401	16668	17935	19209
1.85	1090.	2180	6480	7360	8240	9120	10000	10880	11760	13023	14290	15557	16824	18091	19376
1.90	1120.	2240	6640	7520	8400	9280	10160	11040	11920	13182	14449	15716	16983	18250	19543
1.95	1150.	2300	6800	7680	8560	9440	10320	11200	12080	13273	14539	15806	17073	18340	19610
2.00	1173.	2347	7040	8213	9387	10560	11733	12907	14080	15253	16426	17599	18772	19945	21118
2.25	1320.	2640	7920	9216	10560	11880	13200	14520	15840	17160	18480	19800	21120	22440	23760
2.50	1467.	2933	8800	10267	11733	13200	14667	16133	17600	19067	20533	22000	23467	24933	26400
2.75	1613.	3227	9680	11293	12907	14520	16133	17747	19360	20973	22587	24200	25813	27427	29040
3.00	1760.	3520	10560	12320	14080	15840	17600	19360	21120	22880	24640	26400	28160	29920	31680

NOTA: Fórmula empleada p u i el cálculo:

$$Q = \frac{5280 W}{9} \quad R = 586.67 WR$$

Donde: Q = Cantidad de asfalto necesaria en galones por cada 100 pies.  
 R = Dosificación en galones por y u d i cuadrada.  
 W = Anchura de aplicación en pies

Tabla XVI-7

PIES LINEALES CUBIERTOS POR UN TANQUE DE 600 GALONES DE ASFALTO, PARA VARIAS ANCHURAS Y DOSIFICACIONES. EN GALONES POR YARDA CUADRADA

Galones per yarda <sup>2</sup>	ANCHURA—PIES														
	1	2	6	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20	22	24
0.10	54000	27000	9000	1114	6750	6000	5400	4909	45w	3857	UTLS	3000	2700	2454	2250
0.15	36000	18000	6000	5143	4580	4000	3600	3212	3000	2511	2254	2000	1800	1636	1500
0.20	27000	13500	4yD	3851	3375	3000	2700	2454	2250	1928	1687	1500	1350	1227	1125
0.25	21600	10800	3600	3086	2700	2400	2160	1963	1800	1543	1354	1200	1080	981	900
0.30	18000	PODO	3000	2511	2250	2000	1800	1636	1500	1285	1125	1000	900	818	750
0.35	15429	7714	2572	2204	1928	1714	1543	1402	1286	1102	964	857	772	701	643
0.40	13500	6154	2250	1929	1688	1500	1350	1221	1125	964	844	750	675	615	562
0.45	12000	6000	2000	1714	1500	1333	1200	1091	1000	857	750	667	600	540	500
0.50	10800	5400	1800	1543	1350	1200	1080	982	900	771	675	600	540	491	450
0.55	9818	4909	1636	1403	1221	1091	982	893	818	702	614	546	491	446	409
0.60	PODO	4500	1500	1286	1125	1000	900	818	750	643	562	500	450	409	377
0.65	8308	4154	1385	1187	1038	923	831	755	692	593	519	461	415	377	346
0.70	7714	3857	1286	1102	964	857	771	701	643	551	482	428	386	350	321
0.75	7200	3600	1200	1029	900	800	720	655	600	514	450	400	360	327	300
0.80	6750	UTLS	1125	964	844	750	615	613	562	482	422	375	338	306	281
0.85	6353	3176	1059	908	794	706	635	577	529	454	391	353	317	288	265
0.90	6000	3000	1000	857	750	667	600	545	500	428	375	333	300	272	250
0.95	5684	2842	947	812	710	632	568	511	413	406	355	316	284	258	236
1.00	5400	2700	900	771	615	600	540	491	450	385	337	300	270	242	225
1.10	4909	2455	818	701	614	545	491	446	409	351	307	273	245	223	204
1.20	4500	2250	750	643	562	500	450	409	375	321	281	250	225	204	187
1.25	4320	2160	720	617	540	480	432	393	360	308	270	240	216	191	180
1.30	4154	2077	692	593	519	461	415	377	346	281	259	230	207	188	173
1.40	3157	1929	643	551	402	428	376	350	321	215	241	214	193	171	160
1.50	3600	1800	600	514	450	400	360	327	300	257	225	200	180	163	150
1.15	3086	1543	514	441	386	Y3	309	280	257	220	193	171	154	140	128
2.00	2700	1350	450	386	338	300	270	245	225	193	169	150	135	122	112
2.25	2400	1200	400	343	300	267	240	218	200	171	150	133	120	109	100
2.50	2160	1080	360	309	270	240	216	197	180	154	135	120	108	98	90
2.75	1964	982	327	281	246	218	196	177	164	140	123	109	Y	89	82
3.00	1800	900	300	257	225	200	180	164	150	128	112	100	90	82	5

NOTA: Véase en la tabla XVI-14 la fórmula empleada para el cálculo.

Tabla XVI-8

PIES LINEALES CUBIERTOS POR UN TANQUE DE 500 GALONES DE ASFALTO. PARA VARIAS ANCHURAS Y DOSIFICACIONES. EN GALONES POR YARDA CUADRADA

Galones por yarda	ANC JRA—PIES														
	1	2	6	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20	22	24
0.10	RAMO	36000	12000	10286	9000	8000	7200	6545	6000	5143	4500	4000	3600	3272	3000
0.15	48000	24000	8000	M 1	6000	5333	4800	4364	4000	3429	3000	2400	2000	1800	1600
0.20	36000	18000	6000	5143	450	4000	3600	3213	3000	2571	2250	2000	1800	1600	1400
0.25	28800	14400	4800	4114	3600	3200	2880	2618	2400	2057	1800	1600	1440	1309	1200
0.30	24000	12000	4000	3429	3000	2667	2400	2182	2000	1714	1500	1333	1200	1091	1000
0.35	20571	10286	3429	2939	2511	2286	2057	1870	1714	1469	1286	1143	1029	935	857
0.40	18000	9000	3000	2571	2250	2000	1800	1636	1500	1286	1125	1000	900	818	M
0.45	16000	8000	2667	2286	2000	1778	1600	1455	1333	1143	1000	889	800	727	Y?
0.50	14400	7200	2400	2057	1800	1600	1440	1309	1200	1029	900	800	720	654	600
0.55	13091	6545	2182	1870	1636	1455	1309	1190	1091	935	818	727	654	595	545
0.60	12000	6000	2000	1714	1500	1333	1200	1091	1000	857	791	714	667	600	545
0.65	11011	5535	1846	1582	1385	1231	1108	1012	923	791	692	615	554	504	461
0.70	10286	5143	1714	1469	1286	1143	1029	935	857	714	643	571	514	467	428
0.75	9600	4800	1600	1371	1200	1067	960	873	800	666	600	533	480	436	400
0.80	9000	4500	1500	1286	1125	1000	900	818	750	643	563	500	450	409	375
0.85	8471	4235	1412	1210	1059	941	847	770	706	605	529	470	423	385	353
0.90	8000	4000	1333	1143	1000	899	800	727	667	571	500	444	400	363	333
0.95	7579	3789	1263	1083	947	Y2	758	689	632	541	473	421	379	344	316
1.00	7200	3600	1200	1029	900	800	720	655	600	514	450	400	360	327	300
1.10	6545	3272	1091	935	818	727	655	595	546	467	409	364	327	296	273
1.20	6000	3000	1000	857	750	Y?	600	545	500	428	315	270	240	218	200
1.25	5760	2880	960	823	720	640	576	524	480	411	360	320	288	262	240
1.30	5535	2789	923	791	692	615	554	504	461	395	346	307	277	252	230
1.40	5143	2571	857	714	643	571	514	468	428	367	321	285	257	234	214
1.50	UD	2400	800	686	600	533	480	436	400	343	300	267	240	218	200
1.75	4114	2057	686	588	514	457	411	374	343	294	257	229	206	187	171
2.00	3600	1800	600	514	450	400	360	327	300	257	225	200	180	165	153
2.25	3200	1600	533	457	400	360	320	291	267	229	200	178	160	144	130
2.50	2880	1440	480	411	360	320	288	262	240	206	180	160	144	131	120
2.75	2618	1309	436	374	327	291	262	238	218	187	163	145	131	119	110
3.00	2400	1200	400	300	300	267	240	218	200	171	150	133	120	109	100

NOTA: Véase en la tabla XVI-14 la fórmula empleada para el cálculo.

Tabla XVI-9

PIES LINEALES CUBIERTOS POR UN TANQUE DE 1.000 GALONES DE ASFALTO, PARA VARIAS ANCHURAS Y DOSIFICACIONES. EN GALONES POR YARDA CUADRADA

Galones: per yarda <sup>2</sup>	ANCHURA — PIES														
	1	2	6	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20	22	24
0.10	9000	4500	1500	12857	11250	como	PODO	8182	7500	6429	5625	5000	4500	4091	3750
0.15	6000	3000	1000	8571	7500	6667	6000	Y 5.5	5000	42%	3750	3333	3000	2727	2500
0.20	45000	22500	7500	6429	5625	5000	4500	4091	3750	3214	2813	2500	2250	2045	1875
0.25	36000	18000	6000	5143	4500	4000	3600	3213	3000	2511	2250	2000	1800	1636	1500
0.30	30000	15000	5000	4286	3150	3333	3000	2727	2500	2143	1875	1667	1500	1363	1250
0.35	25714	12857	42%	3613	3214	2857	2571	2338	2143	1837	1607	1429	1286	1169	1071
0.40	22500	11250	3150	3214	2813	2500	2250	2045	1875	1607	1406	1250	1125	1022	931
0.45	20000	10000	3333	2857	2500	2222	2000	1818	1667	1429	1250	1111	1000	909	833
0.50	18000	9000	3000	2571	2250	2000	1800	1636	1500	1286	1125	1000	900	818	750
0.55	16364	8182	2721	2338	2046	1818	1636	1488	1364	1169	1023	909	818	744	682
0.60	15000	7500	2500	2143	1875	1667	1500	1364	1250	1071	938	833	750	682	625
0.65	13846	6923	2308	1918	1731	1538	1385	1259	1154	989	865	769	692	629	511
0.70	12857	6429	2143	1837	1607	1429	1286	1169	1071	918	804	714	643	584	535
0.75	12000	6000	2000	1714	1500	1333	1200	1091	1000	857	750	667	600	545	500
0.80	11250	5625	1875	1607	1406	1250	1125	1023	938	804	703	625	563	511	469
0.85	10588	5294	1765	1513	1324	1176	1059	963	882	756	662	588	529	481	441
0.90	10000	5000	1667	1429	1250	1111	1000	909	833	714	625	5%	500	454	416
0.95	9414	4731	1519	1353	1184	1053	947	SE	789	616	592	526	473	430	394
1.00	9000	4500	1500	1286	1125	1000	900	818	750	643	563	500	450	409	375
1.10	8182	4091	1364	1169	1023	909	818	744	682	584	511	454	409	372	341
1.20	7500	3750	1250	1071	938	833	750	682	625	535	469	416	375	341	312
1.25	7200	3600	1200	1029	900	800	720	655	600	514	450	400	360	327	300
1.30	6923	3462	1154	989	866	769	692	629	511	494	433	384	346	314	288
1.40	6629	3215	1012	918	804	714	643	584	536	459	402	357	321	292	268
1.50	6000	3000	1000	851	750	667	600	545	500	429	315	333	300	272	250
1.75	5143	2571	851	735	643	511	514	468	429	367	321	286	257	234	214
2.00	4500	2250	750	643	563	500	450	409	315	321	281	250	200	204	187
2.25	4000	2000	667	571	500	444	400	364	333	286	272	222	200	182	166
2.50	3600	1800	600	514	450	400	360	327	300	257	225	200	180	163	150
2.75	3213	1636	545	468	409	364	321	298	212	234	204	182	163	149	136
3.00	3000	1500	500	429	315	333	300	273	250	214	187	161	150	136	125

NOTA: Véase en la tabla XVI-14 la fórmula empleada para el cálculo

Tabla XVI-10

PIES LINEALES CUBIERTOS POR UN TANQUE DE 1.200 GALONES DE ASFALTO, PARA VARIAS ANCHURAS Y DOSIFICACIONES, EN GALONES POR YARDA CUADRADA

Galones por yarda <sup>2</sup>	ANCHURA- PIES														
	1	2	6	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20	22	24
0.10	08000	54000	18000	15429	13500	12000	10800	9818	9000	7714	6150	6000	5400	4909	4500
0.15	72000	36000	12000	10286	9000	8000	7200	6545	6000	5143	4500	4000	3600	3272	3000
0.20	54000	27000	9000	7714	6750	6000	5400	4909	4500	3857	3375	3000	2700	2454	2250
0.25	43200	21600	7200	6171	5400	4800	4320	3927	3600	3086	2700	2400	2160	1963	1800
0.30	36000	18000	6000	5143	4500	4000	3600	3273	3000	2571	2250	2000	1800	1636	1500
0.35	30858	15429	5143	4408	3857	3429	3086	2805	2571	2204	1928	1714	1543	1402	1286
0.40	27000	13500	4500	3857	3375	3000	2700	2455	2250	1929	1688	1500	1350	1227	1125
0.45	24000	12000	4000	3429	3000	2667	2400	2182	2000	1714	1500	1333	1200	1091	1000
0.50	21600	10800	3600	3086	2700	2400	2160	1964	1800	1543	1350	1200	1080	982	900
0.55	19636	9818	3273	2805	2454	2182	1965	1786	1636	1403	1227	1091	982	893	818
0.60	18000	9000	3000	2571	2250	2000	1800	1636	1500	1286	1125	1000	900	818	750
0.65	16616	8308	2769	2374	2077	1846	1662	1510	1385	1187	1038	923	831	755	692
0.70	15428	7714	2571	2204	1929	1714	1543	1403	1286	1102	964	857	771	701	643
0.75	14400	7200	2400	2057	1800	1600	1440	1309	1200	1029	900	800	720	655	600
0.80	13500	6750	2250	1929	1688	1500	1350	1227	1125	964	844	750	675	613	562
0.85	12706	6353	2118	1815	1588	1412	1271	1154	1059	908	794	706	635	577	529
0.90	12000	6000	2000	1714	1500	1333	1200	1091	1000	857	750	667	600	545	500
0.95	11368	5684	1895	1624	1421	1263	1137	1034	947	812	710	632	568	517	473
1.00	10800	5400	1800	1543	1350	1200	1080	982	900	771	615	600	540	491	450
1.10	9818	4909	1636	1403	1227	1091	982	893	818	701	614	545	491	446	409
1.20	9000	4500	1500	1286	1125	1000	900	818	750	643	562	500	450	409	375
1.25	8640	4320	1440	1234	1080	960	864	785	720	617	530	480	432	393	360
1.30	8308	4154	1385	1187	1038	923	831	755	692	593	519	461	415	377	346
1.40	7714	3857	1286	1102	964	857	771	701	643	551	482	428	386	350	321
1.50	7200	3600	1200	1029	900	800	720	655	600	514	450	400	360	327	300
1.75	6172	3086	1029	882	771	686	617	561	514	441	386	343	309	280	257
2.00	5400	2700	900	771	675	600	540	491	450	386	338	300	270	245	225
2.25	4800	2400	800	686	600	533	480	436	400	343	300	267	240	218	200
2.50	4320	2160	720	617	540	480	432	393	360	309	270	240	216	197	180
2.75	3927	1964	655	561	491	436	393	357	327	281	246	218	196	179	164
3.00	3600	1800	600	514	450	400	360	327	300	257	225	200	180	164	150

NOTA: Véase en la tabla XVI-14 la fórmula empleada para el cálculo

Tabla XVI-11

PIES LINEALES CUBIERTOS POR UN TANQUE DE 1,500 GALONES DE ASFALTO, PARA VARIAS ANCHURAS Y DOSIFICACIONES, EN GALONES POR YARDA CUADRADA

Galones per yarda <sup>2</sup>	ANC JRA—PIES														
	1	2	6	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20	22	24
0.10	135000	67500	22500	19286	16875	15000	13500	12273	11250	9643	8438	7500	6750	6136	5 6 n
0.15	90000	45000	15000	12857	11250	10000	9000	8182	7500	6428	5000	5000	4500	4091	3750
0.20	67500	33750	11250	9643	838	7500	6750	6136	5625	4821	4219	3750	3375	3068	2812
0.25	54000	27000	9000	7714	6750	6000	5400	4909	4500	3851	3375	3000	2700	2454	2250
0.30	45000	22500	7500	6229	5625	5000	4500	4091	3750	3214	2812	2500	2250	2045	1175
0.35	38571	19286	6362	5510	4822	4286	3857	3507	3214	2755	2411	2143	1929	1754	1607
0.40	33750	16875	5625	4821	4219	3750	3375	3068	2812	2410	2110	1875	1688	1534	1406
0.45	30000	15000	5000	4286	3750	3333	3000	2727	2500	2143	1875	1667	1500	1364	1250
0.50	27000	13500	4500	3857	3375	3000	2700	2455	2250	1928	1688	1500	1350	1227	1125
0.55	24545	12273	4091	3507	3068	2727	2455	2231	2045	1754	1534	1364	1227	1116	1023
0.60	22500	11250	3750	3214	2812	2500	2250	2045	1875	1607	140	1250	1125	1022	938
0.65	20769	10385	3462	2967	258	2308	2077	1888	1731	1484	1298	1154	1038	944	865
0.70	19286	9643	3214	2755	2411	2143	1929	1753	1607	1378	1206	1072	964	877	804
0.75	18000	9000	3000	2571	2250	2000	1800	1636	1500	1286	1125	1000	900	818	750
0.80	16875	8437	2812	2411	2109	1875	1688	1534	1406	1205	1055	938	844	767	703
0.85	15882	7941	2647	2269	1985	1765	1588	1444	1324	1134	992	882	794	722	662
0.90	15000	7500	2500	2143	1875	1667	1500	1364	1250	1071	938	834	750	682	625
0.95	14210	7105	2368	2030	1776	1579	1421	1292	1184	1015	888	790	710	646	592
1.00	13500	6750	2250	1929	1688	1500	1350	1227	1125	964	844	750	675	614	562
1.10	12273	6136	2045	1753	1535	1364	1227	1116	1022	877	768	682	614	558	511
1.20	11250	5625	1875	1607	1406	1250	1125	1023	938	803	703	625	562	511	469
1.25	10800	5400	1800	1543	1350	1200	1080	902	800	771	675	600	540	491	450
1.30	10385	5192	1731	1484	1298	1154	1038	944	866	742	649	577	519	472	433
1.40	9643	4821	1607	1378	1205	1071	964	877	804	689	603	536	482	438	402
1.50	9000	4500	1500	1286	1125	1000	900	818	750	643	562	500	450	409	375
1.15	7114	3857	1286	1102	964	857	771	701	643	551	482	429	386	351	321
2.00	6750	3375	1125	964	844	750	675	614	562	402	422	375	338	307	281
2.25	6000	3000	1000	857	750	667	600	545	500	429	375	334	300	273	250
2.50	5400	2700	900	771	675	600	540	491	450	385	338	300	270	246	225
2.75	4909	2455	818	711	614	545	491	446	409	351	307	273	245	223	m 5
3.00	4500	2250	750	643	562	500	450	409	375	321	281	250	225	204	188

NOTA: Véase en la tabla XVI-14 la fórmula empleada para el cálculo

Tabla XVI-12

PIES LINEALES CUBIERTOS POR UN TANQUE DE 2,000 GALONES DE ASFALTO, PARA VARIAS ANCHURAS Y DOSIFICACIONES, EN GALONES POR YARDA CUADRADA

Galones por yarda <sup>3</sup>	ANCHURA—PIES														
	1	2	6	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20	22	24
0.10	180000	90000	30000	25714	22500	20000	18000	16364	15000	12857	11250	10000	9000	8182	7500
0.15	120000	60000	20000	17142	15000	13333	12000	10910	10000	8571	7500	6667	6000	5455	5000
0.20	90000	45000	15000	12857	11250	10000	9000	8182	7500	6429	5625	5000	4500	4091	3750
0.25	72000	36000	12000	10286	9000	8000	7200	6546	6000	5143	4500	4000	3600	3273	3000
0.30	60000	30000	10000	8571	7500	6667	6000	5455	5000	4286	3150	3333	3000	2727	2500
0.35	51428	25714	8571	7346	6428	5714	5143	4676	4286	3673	3214	2857	2571	2338	2143
0.40	45000	22500	7500	6428	5625	5000	4500	4000	3750	3214	2813	2500	2250	2045	1875
0.45	40000	20000	6667	5714	5000	4444	4000	3637	3333	2857	2500	2222	2000	1818	1667
0.50	36000	18000	6000	5143	4500	4000	3600	3273	3000	2571	2250	2000	1800	1636	1500
0.55	32728	16364	5455	4676	4091	3636	3273	2916	2721	2338	2046	1818	1636	1488	1364
0.60	30000	15000	5000	4286	3750	3333	3000	2728	2500	2143	1875	1667	1500	1364	1250
0.65	27682	13846	4615	3956	3462	3077	2769	2518	2308	1978	1731	1538	1385	1259	1154
0.70	25714	12857	4286	3673	3214	2857	2571	2338	2143	1837	1607	1429	1286	1169	1071
0.75	24000	12000	4000	3429	3000	2667	2400	2182	2000	1714	1500	1333	1200	1091	1000
0.80	22500	11250	3750	3214	2812	2500	2250	2046	1815	1607	1406	1250	1125	1023	938
0.85	21176	10588	3529	3026	2647	2353	2118	1926	1765	1513	1324	1176	1059	963	882
0.90	20000	10000	3333	2857	2500	2222	2000	1818	1667	1429	1250	1111	1000	909	833
0.95	18946	9474	3158	2706	2368	2105	1895	1722	1579	1353	1184	1053	947	861	789
1.00	18000	9000	3000	2572	2250	2000	1800	1636	1500	1286	1125	1000	900	818	750
1.10	16364	8182	2727	2338	2046	1818	1636	1488	1364	1169	1011	909	818	744	682
1.20	15000	7500	2500	2143	1875	1667	1500	1364	1250	1071	938	833	750	682	625
1.25	14400	7200	2400	2057	1800	1600	1440	1309	1200	1011	900	800	720	655	600
1.30	13848	6923	2308	1978	1732	1538	1385	1259	1154	989	866	769	692	629	577
1.40	12858	6429	2143	1836	1607	1428	1286	1169	1072	918	804	714	636	574	520
1.50	12000	6000	2000	1714	1500	1333	1200	1091	1000	857	750	667	600	545	500
1.75	10286	5143	1714	1469	1286	1143	1029	935	857	735	643	571	514	467	429
2.00	9000	4500	1500	1286	1125	1000	900	818	750	643	563	500	450	409	375
2.25	8000	4000	1333	1143	1000	889	800	727	667	571	500	444	400	364	333
2.50	7200	3600	1200	1028	900	800	720	654	600	514	450	400	360	327	300
2.75	6546	3273	1091	935	818	727	655	596	545	468	409	364	327	298	272
3.00	6000	3000	1000	857	750	667	600	545	500	429	375	333	300	273	250

NOTA: Véase en la tabla XVI-14 la fórmula empleada para el cálculo.

Tabla XVI-13

PIES LINEALES CUBIERTOS POR UN TANQUE DE 2.500 GALONES DE ASFALTO, PARA VARIAS ANCHURAS Y DOSIFICACIONES. EN GALONES POR YARDA CUADRADA

Galones por yarda <sup>2</sup>	ANCHURA—PIES														
	1	2	6	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20	22	24
0.10	225000	112500	37500	32143	28125	25000			18750	16072	14062	12500	11250	10227	9375
0.15	150000	75000	25000	21429	18750	16667			12500	10714	9315	8333	7500	6818	6250
0.20	112500	56250	18750	16071	14062	12500	11250	10221	9375	8036	7031	6250	5625	5113	4687
0.25	90000	45000	15000	12857	11250	10000	9000	8182	7500	6428	5625	5000	4500	4127	3750
0.30	75000	37500	12500	10114	9375	8333	7500	6818	6250	5357	4688	4167	3750	3409	3125
0.35	64286	32143	10114	9184	8036	7143	6250	5615	5114	4357	3844	3571	3214	2922	2618
0.40	56250	28125	9375	8036	7031	6250	5615	5114	4688	4018	3515	3125	2812	2551	2344
0.45	50000	25000	8333	7143	6250	5556	5000	4546	4166	3571	3125	2778	2500	2273	2083
0.50	45000	22500	7500	6429	5250	5000	4500	4091	3750	3214	2812	2500	2250	2045	1875
0.55	40909	20455	6818	5844	5114	4545	4091	3719	3409	2922	2557	2273	2045	1859	1704
0.60	37500	18750	6250	5357	4688	4167	3150	3409	3125	2678	2344	2083	1875	1704	1522
0.65	34615	17308	5357	4945	4321	3846	3462	3141	2884	2472	2163	1923	1731	1573	1447
0.70	32143	16071	4357	4592	4018	3511	3214	2922	2678	2296	2009	1785	1607	1461	1339
0.75	30000	15000	5000	4286	3750	3333	3000	2727	2500	2143	1875	1667	1500	1363	1250
0.80	28125	14062	4687	4018	3516	3125	2812	2557	2344	2009	1754	1562	1406	1278	1172
0.85	26471	13235	4412	3782	3309	2941	2647	2406	2206	1891	1654	1470	1323	1203	1103
0.90	25000	12500	4167	3511	3125	2718	2500	2213	2083	1786	1562	1389	1250	1136	1041
0.95	23684	11842	3947	3283	2960	2632	2368	2153	1974	1692	1480	1316	1184	1016	947
1.00	22500	11250	3750	3214	2812	2500	2250	2046	1875	1607	1406	1250	1125	1023	931
1.10	20455	10228	3409	2922	2551	2213	2046	1860	1704	1461	1278	1136	1023	930	852
1.20	18750	9375	3125	2679	2211	2083	1875	1705	1562	1309	1112	1041	931	812	781
1.25	18000	9000	3000	2571	2250	2000	1800	1636	1500	1286	1125	1000	900	818	750
1.30	17308	8654	2885	2413	2164	1923	1731	1573	1442	1236	1082	961	865	786	721
1.35	16071	8036	2679	2296	2009	1716	1607	1461	1339	1148	1004	893	804	730	669
1.50	15000	7500	2500	2143	1875	1667	1500	1364	1250	1011	9.31	833	750	675	625
1.75	12857	6429	2143	1837	1601	1429	1286	1169	1071	918	803	714	635	584	536
2.00	11250	5625	1875	1607	1406	1250	1125	1023	938	803	703	625	522	511	469
2.25	10000	5000	1667	1429	1250	1111	1000	909	833	714	625	556	500	454	417
2.50	9000	4500	1500	1286	1125	1000	900	818	750	643	562	500	450	407	375
2.25	8182	4091	1364	1169	1023	909	818	744	682	584	511	454	409	372	341
3.00	7500	3750	1250	1011	938	833	750	682	625	535	469	417	375	341	312

NOTA: Véase en la tabla XVI-14 la fórmula empleada para el cálculo.

TABLA XVI-14

**PIES LINEALES CUBIERTOS POR UN TANQUE DE CUALQUIER CAPACIDAD PARA DIVERSAS ANCHURAS Y DOSIFICACIONES EN GALONES PARA YARDA CUADRADA**

Para calcular el número de pies lineales cubiertos por un tanque de cualquier capacidad, para diversas anchuras y dosificaciones, puede emplearse la fórmula siguiente:

$$L = \frac{9C}{RW}$$

donde:

- L** = Número de pies lineales a cubrir.
- C** = Capacidad del tanque en galones (o cantidad de asfalto en el tanque).
- R** = Dosificación en galones por yarda cuadrada.
- W** = Anchura de aplicación en pies.

**NOTA**

En muchos casos será más sencillo hacer estos cálculos a partir de datos contenidos en las tablas XVI-8 a XVI-14 empleando factores apropiados. Por ejemplo, es evidente que el número de pies lineales cubiertos por un tanque de 4000 galones para una anchura determinado será el doble de los cubiertos por un tanque de 2000 galones para la misma anchura. Si la capacidad del tanque no está contenida en algún múltiplo conveniente, como en el caso de un tanque de 3300 galones, pueden multiplicarse los datos contenidos en la tabla XVI-11 para un tanque de 1000 galones por un factor apropiado. Para el tanque de 3300 galones el factor multiplicador sería  $3300:1000 = 3,3$ . Un ejemplo de tal cálculo para el tanque de 3300 galones es el siguiente:

- 1 La tabla XVI-11 indica que un tanque de 1000 galones cubrirá 3750 pies lineales si se aplica en franja de 12 pies de anchura con una dosificación de 0,20 galones por yarda cuadrada.
- 2 Un tanque de 3300 galones cubrirá 3,3 veces esta distancia o 3J por  $3750 = 12375$  pies lineales.

En unidades métricas la fórmula equivalente a la anterior es:

$$L = \frac{C}{RW}$$

siendo los cálculos tan sencillos que no es necesario recurrir al empleo de tablas.

- Siendo: **L** = Número de metros a cubrir.
- C** = Capacidad del tanque en litros.
- R** = Dosificación en litros/m<sup>2</sup>.
- W** = Anchura de aplicación en metros.

Tabla XVI-16

CANTIDADES DE PRODUCTO CONTENIDAS EN TANQUES CILINDRICOS HORIZONTALES LLENOS HASTA DIVERSAS ALTURAS

% Altura del producto	% Capaci- dad	% Altura de producto	% Capaci- dad	% Altura del producto	% Capaci- dad	% Altura del producto	% Capaci- dad
1	0.20	26	20.73	51	51.27	76	81.50
2	0.50	27	21.86	52	52.55	77	82.60
3	0.90	28	23.00	53	53.81	78	83.68
4	1.34	29	24.07	54	55.08	79	84.74
5	1.87	30	25.31	55	56.34	80	85.77
6	2.45	31	26.48	56	57.60	81	86.77
7	3.07	32	27.66	57	58.86	82	87.76
8	3.74	33	28.84	58	60.11	83	88.73
9	4.45	34	30.03	59	61.36	84	89.60
10	5.20	35	31.19	60	62.61	85	90.60
11	5.98	36	32.44	61	63.86	86	91.50
12	6.80	37	33.66	62	65.10	87	92.36
13	7.64	38	34.90	63	66.34	88	93.20
14	8.50	39	36.14	64	67.56	89	94.02
15	9.40	40	37.39	65	68.81	90	94.80
16	10.32	41	30.64	66	69.97	91	95.55
17	11.27	42	39.89	67	71.16	92	96.26
18	12.24	43	41.14	68	72.34	93	96.93
19	13.23	44	42.40	69	73.52	94	97.55
20	14.23	45	43.66	70	74.69	95	98.13
21	15.26	46	44.92	71	75.93	96	98.66
22	16.32	47	46.19	72	77.00	97	99.10
23	17.40	48	47.45	73	78.14	98	99.50
24	18.50	49	48.73	74	79.27	99	99.80
25	19.61	50	50.00	75	80.39		

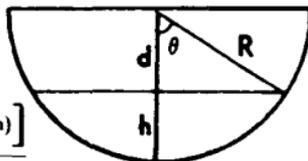
Capacidad total del tanque en m<sup>3</sup> =  $\frac{\theta \times D \times L}{4}$

Nota: A continuación indicamos la fórmula para cálculo directo de la cantidad contenida en el tanque cuando el líquido no llega al eje. Cuando el nivel del líquido está por encima del eje puede calcularse la capacidad total del tanque según la fórmula interior considerando que la zona sombreada representa la parte vacía en la mitad superior del tanque y calculando su volumen como se indica a continuación, deduciendo después el volumen determinado, de la parte vacía, del volumen total del tanque, llegando al volumen del líquido.

En primer lugar se calcula  $\theta$ , siendo  $\cos \theta = \frac{d}{R} = \frac{R-h}{R}$

$A = \pi R^2 \frac{\theta}{180} - R \operatorname{sen} (R-h)$

$V = L \left[ \pi R^2 \frac{\theta}{180} - R \operatorname{sen} \theta (R-h) \right]$



siendo A = sección transversal de la porción del tanque llena en m<sup>2</sup>.

V = volumen de la parte llena del tanque en m<sup>3</sup>.

L = longitud del interior del tanque en m.

D = diámetro interior del tanque en m.

R = radio interior del tanque en m.

h = profundidad del líquido en m.

d = R - h, metros.

Nota: Del volumen calculado o obtenido de la tabla debe deducirse el ocupado por tuberías, accesorios o cualquier otro material situado en el interior del tanque.

**Tabla XVI-16**  
**CONVERSION DE TEMPERATURAS °F A °C**  
**y °C a °F**

La fórmula para convertir °F a °C es:  $^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32)$

La fórmula para convertir °C a °F es:  $^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} (^{\circ}\text{C}) + 32$

Para usar la tabla siguiente se busca la temperatura a convertir en la columna central en negritas. Si la temperatura a convertir está en °C la temperatura en °F se encontrará en la columna de la derecha. Si la temperatura a convertir está en °F la temperatura en °C se encontrará en la columna de la izquierda. Por ejemplo, para convertir 25° C a °F se busca 25 en la columna central (negritas). En la columna de la derecha, bajo el encabezamiento «°F» se encuentra que 25° C = 77° F.

°C	Tem a con vert	°F	°C	Temp a con vertir	3	°C	Temp. a con. vertir	°F
45	-5	-5	-23	-11	+14	-1	+31	+86.0
45	41	56.2	22.1	11	15	0	31	87.8
44	41	54.4	22.2	11	17	0	32	89.6
43	41	52.6	21.1	11	19	0	33	91.4
43	41	50.8	21.1	4	21	1	34	93.2
42	41	49.0	20.0	4	23	1	35	95.0
42	41	47.2	20.0	4	24	2	36	96.8
41	41	45.4	19.4	4	26	2	37	98.6
41	41	43.6	18.3	2	28	3	38	100.4
40	41	41.8	18.3	-1	30	3	39	102.2
-40	-41	-40.0	-17.8	8	+32	+4	+40	+104.0
39	31	38.2	17.2	+1	33	5	41	105.8
38	31	36.4	16.7	1	35	6	42	107.6
38	31	34.6	16.1	3	37	6	43	109.4
37	31	32.8	15.6	3	39	7	44	111.2
37	31	31.0	15.0	5	41	7	45	113.0
36	31	29.2	14.4	5	42	8	46	114.8
36	31	27.4	13.9	7	44	8	47	116.6
35	31	25.6	13.3	8	46	9	48	118.4
35	31	23.8	12.8	8	48	10	49	120.2
-34	-30	-22.0	-12.2	+10	+50	+10	+50	+122.0
33	28	20.2	11.7	11	51	10	51	123.8
33	28	18.4	11.1	12	53	11	52	125.6
32	28	16.6	10.6	11	55	11	53	127.4
32	28	14.8	10.0	14	57	12	54	129.2
31	25	13.0	9.4	15	59	12	55	131.0
31	24	11.2	8.9	16	60	13	56	132.8
30	23	9.4	8.3	17	62	13	57	134.6
30	22	7.6	7.8	18	64	14	58	136.4
29	21	5.8	7.2	18	66	15	59	138.2
-28	-20	-40	-67	+20	+68	+15	+60	+140.0
28	18	2.2	6.1	21	69	16	61	141.8
27	18	0.4	5.6	22	71	16	62	143.6
27	17	+1.4	5.0	23	73	17	63	145.4
26	16	3.2	4.4	24	75	17	64	147.2
26	15	5.0	3.9	25	77	18	65	149.0
25	14	6.8	3.3	26	79	18	66	150.8
25	13	8.6	2.8	27	81	19	67	152.6
24	12	10.4	2.2	28	83	20	68	154.4
23	11	12.2	1.7	29	85	20	69	156.2

Tabla XVI-16 (Continuación)  
**CONVERSION DE TEMPERATURAS °F • °C**  
**y °C a °F**

°C	emp. a convertir	°F	°C	emp. a convertir	°F	C	emp. a convertir	°F
+21.1	71	+158.0	148.9	121	248.0	76.7	119	+338.0
21.7	71	159.8	49.4	121	249.8	71.2	171	339.8
22.2	72	161.6	50.0	122	251.6	17.8	172	341.6
22.8	71	163.4	50.6	121	253.4	78.3	171	343.4
23.3	14	165.2	51.1	124	255.2	78.9	174	345.2
23.9	75	161.0	51.7	126	257.0	79.4	176	347.0
24.4	76	168.8	52.2	126	258.8	80.0	176	348.8
25.0	71	170.6	52.8	127	260.6	80.6	117	350.6
25.6	71	172.4	53.3	127	262.4	81.1	170	352.4
26.1	71	174.2	53.9	129	264.2	81.7	170	354.2
+26.7	80	+176.0	+54.4	130	266.0	82.2	180	+356.0
27.2	81	177.8	55.0	111	267.8	82.8	111	357.8
27.8	82	179.6	55.6	132	269.6	83.3	182	359.6
28.3	83	181.4	56.1	133	271.4	83.9	111	361.4
28.9	U	183.2	56.7	134	273.2	84.4	184	363.2
28.9	U	185.0	57.2	135	275.0	85.0	116	365.0
29.4	86	186.8	51.8	136	276.8	85.6	186	366.8
30.0	86	188.6	58.3	137	218.6	86.1	178	368.6
30.6	87	190.4	58.9	138	280.4	86.7	183	370.4
31.1	U	192.2	59.4	139	282.2	87.2	183	372.2
31.7	89							
+32.2	90	+194.0	\$600	140	284.0	87.8	184	+374.0
32.8	91	195.8	60.6	141	285.8	88.3	111	375.8
33.3	12	197.6	61.1	142	287.6	88.9	182	377.6
33.9	11	199.4	61.1	141	289.4	89.4	111	379.4
34.4	U	201.2	62.2	144	291.2	90.0	184	381.2
35.0	15	203.0	62.8	146	293.0	90.6	196	383.0
35.6	96	204.8	63.3	141	294.8	91.1	184	384.8
36.1	97	206.6	63.9	141	296.6	91.7	187	386.6
36.7	98	208.4	64.4	144	298.4	92.2	184	388.4
37.2	99	210.2	65.0	144	300.2	92.8	189	390.2
+37.8	100	+212.0	65.6	154	302.0	93.3	189	+392.0
38.3	101	213.8	66.1	161	303.8	93.9	202	393.8
38.9	102	215.6	66.7	162	305.6	94.4	202	395.6
39.4	103	217.4	67.2	163	307.4	95.0	203	391.4
40.0	104	219.2	67.8	164	309.2	95.6	204	399.2
40.6	105	221.0	68.3	164	311.0	96.1	206	401.0
41.1	106	222.8	68.9	164	312.8	96.7	206	402.8
41.7	107	224.6	69.4	167	314.6	97.2	206	404.6
42.2	108	226.4	70.0	164	316.4	97.8	208	406.4
42.8	109	228.2	70.6	164	318.2	38.3	209	40.2
+43.3	110	+230.0	+71.1	164	320.0	98.3	210	+410.0
43.9	111	231.8	71.7	111	321.8	99.4	211	411.8
44.4	112	233.6	72.2	164	323.6	100.0	212	413.6
45.0	113	235.4	72.8	164	325.4	100.6	213	415.4
45.6	114	237.2	73.3	164	327.2	101.1	214	417.2
46.1	116	239.0	73.9	161	329.0	101.1	216	419.0
46.7	111	240.8	74.4	164	330.8	102.1	211	420.8
47.2	111	242.6	75.0	164	332.6	102.8	217	422.6
47.8	118	244.4	75.6	164	334.4	103.3	218	424.4
48.3	119	246.2	76.1	164	336.2	103.9	218	426.2

**Tabla XVI-16 (Continuación)**  
**CONVERSION DE TEMPERATURAS °F a °C**  
**y °C a °F**

	Temp. a con- vertir	°F	°C	Temp. a con- vertir	°F	°C	Temp. a con- vertir	°F
+104.4	<b>+220</b>	+423.0	+132.2	<b>+270</b>	+518.0	+160.0	<b>+320</b>	+608.0
105.0	<b>221</b>	429.8	132.8	<b>271</b>	519.8	160.5	<b>321</b>	609.8
105.6	<b>222</b>	431.6	133.3	<b>272</b>	521.6	161.0	<b>322</b>	611.6
106.1	<b>223</b>	433.4	133.9	<b>273</b>	523.0	161.5	<b>323</b>	613.4
106.7	<b>224</b>	435.2	134.4	<b>274</b>	525.2	162.0	<b>324</b>	615.2
107.2	<b>225</b>	437.0	135.0	<b>275</b>	527.0	162.5	<b>325</b>	617.0
107.8	<b>226</b>	438.8	135.6	<b>276</b>	528.8	163.0	<b>326</b>	618.8
108.3	<b>227</b>	440.5	136.1	<b>277</b>	530.6	163.5	<b>327</b>	620.6
108.9	<b>228</b>	442.4	136.7	<b>278</b>	532.0	164.0	<b>328</b>	622.4
109.4	<b>229</b>	444.2	137.2	<b>279</b>	534.2	164.5	<b>329</b>	624.2
+110.0	<b>+230</b>	+446.0	+137.8	<b>+280</b>	+536.0	+165.0	<b>+330</b>	+626.0
110.6	<b>231</b>	447.8	138.3	<b>281</b>	537.8	165.5	<b>331</b>	627.8
111.1	<b>232</b>	449.6	138.9	<b>282</b>	539.6	166.0	<b>332</b>	629.6
111.7	<b>233</b>	451.4	139.4	<b>283</b>	541.4	166.5	<b>333</b>	631.4
112.2	<b>234</b>	453.2	140.0	<b>284</b>	543.2	167.0	<b>334</b>	633.2
112.8	<b>235</b>	455.0	140.5	<b>285</b>	545.0	167.5	<b>335</b>	635.0
113.3	<b>236</b>	456.8	141.1	<b>286</b>	546.8	168.0	<b>336</b>	636.8
113.9	<b>237</b>	458.6	141.7	<b>287</b>	548.6	168.5	<b>337</b>	638.6
114.4	<b>238</b>	460.4	142.2	<b>288</b>	550.4	169.0	<b>338</b>	640.4
115.0	<b>239</b>	462.2	142.8	<b>289</b>	552.2	170.0	<b>339</b>	642.2
+115.6	<b>+240</b>	+464.0	+143.3	<b>+290</b>	+554.0	+171.1	<b>+340</b>	+644.0
116.1	<b>241</b>	465.8	143.9	<b>291</b>	555.8	171.7	<b>341</b>	645.8
116.7	<b>242</b>	467.6	144.4	<b>292</b>	557.6	172.2	<b>342</b>	647.6
117.2	<b>243</b>	469.4	145.0	<b>293</b>	559.4	172.8	<b>343</b>	649.4
117.8	<b>244</b>	471.2	145.6	<b>294</b>	561.2	173.3	<b>344</b>	651.2
118.3	<b>245</b>	473.0	146.1	<b>295</b>	563.0	173.9	<b>345</b>	653.0
118.9	<b>246</b>	474.8	146.7	<b>296</b>	564.8	174.4	<b>346</b>	654.8
119.4	<b>247</b>	476.6	147.2	<b>297</b>	566.6	175.0	<b>347</b>	656.6
120.0	<b>248</b>	478.4	147.8	<b>298</b>	568.4	175.6	<b>348</b>	658.4
120.6	<b>249</b>	480.2	148.3	<b>299</b>	570.2	176.1	<b>349</b>	660.2
+121.1	<b>+250</b>	+482.0	+148.9	<b>+300</b>	+572.0	+176.7	<b>+350</b>	+662.0
121.7	<b>251</b>	483.8	149.4	<b>301</b>	573.8	177.2	<b>351</b>	663.8
122.2	<b>252</b>	485.6	150.0	<b>302</b>	575.6	177.8	<b>352</b>	665.6
122.8	<b>253</b>	487.4	150.6	<b>303</b>	577.4	178.3	<b>353</b>	667.4
123.3	<b>254</b>	489.2	151.1	<b>304</b>	579.2	178.9	<b>354</b>	669.2
123.9	<b>255</b>	491.0	151.7	<b>305</b>	581.0	179.4	<b>355</b>	671.0
124.4	<b>256</b>	492.8	152.2	<b>306</b>	582.8	180.0	<b>356</b>	672.8
125.0	<b>257</b>	494.6	152.8	<b>307</b>	584.6	180.6	<b>357</b>	674.6
125.6	<b>258</b>	496.4	153.3	<b>308</b>	586.4	181.1	<b>358</b>	676.4
126.1	<b>259</b>	498.2	153.9	<b>309</b>	588.2	181.7	<b>359</b>	678.2
+126.7	<b>+260</b>	+500.0	+154.4	<b>+118</b>	+590.0	+182.2	<b>+360</b>	+680.0
127.2	<b>261</b>	501.8	155.0	<b>119</b>	591.8	182.8	<b>361</b>	681.8
127.8	<b>262</b>	503.6	155.6	<b>120</b>	593.6	183.3	<b>362</b>	683.6
128.3	<b>263</b>	505.4	156.1	<b>121</b>	595.4	183.9	<b>363</b>	685.4
128.9	<b>264</b>	507.2	156.7	<b>122</b>	597.2	184.4	<b>364</b>	687.2
129.4	<b>265</b>	509.0	157.2	<b>123</b>	599.0	185.0	<b>365</b>	689.0
130.0	<b>266</b>	510.8	157.8	<b>124</b>	600.8	185.6	<b>366</b>	690.8
130.6	<b>267</b>	512.6	158.3	<b>125</b>	602.6	186.1	<b>367</b>	692.6
131.1	<b>268</b>	514.4	158.9	<b>126</b>	604.4	186.7	<b>368</b>	694.4
131.7	<b>269</b>	516.2	159.4	<b>127</b>	606.2	187.2	<b>369</b>	696.2

Tabla XVI-16 (Continuación)  
**CONVERSION DE TEMPERATURAS °F a °C**  
**y °C a °F**

°C	mp a on- vertir	°F	°C	Temp a con- vertir	°F	°C	Temp. a on- vertir	°F
+187.8	<b>370</b>	t 698.0	215.6	t <b>420</b>	<b>788.0</b>	t 243.3	118	+878.0
188.3	<b>371</b>	699.8	216.1	421	789.8	243.9	411	879.8
188.9	112	701.6	216.7	422	<b>791.6</b>	244.3	<b>472</b>	<b>881.6</b>
189.4	<b>373</b>	703.4	217.2	421	793.4	245.0	<b>473</b>	883.4
190.0	<b>374</b>	705.2	217.8	424	795.2	245.6	414	885.2
190.6	<b>375</b>	707.0	218.3	<b>425</b>	797.0	246.1	415	<b>887.0</b>
191.1	118	708.8	218.9	428	798.8	246.7	<b>470</b>	888.8
191.7	111	710.6	219.4	<b>427</b>	800.6	247.2	411	890.6
192.2	<b>378</b>	712.4	220.0	428	802.4	241.8	<b>471</b>	892.4
192.8	118	714.2	220.6	<b>429</b>	804.2	248.3	<b>471</b>	894.2
193.3	180	+716.0	-221.1	t 410	806.0	+248.9	<b>480</b>	t 896.0
193.9	181	717.8	221.7	411	807.8	249.4	481	897.8
194.4	182	719.6	222.2	412	809.6	250.0	482	899.6
195.0	181	721.4	222.8	411	811.4	750.6	481	901.4
195.6	<b>384</b>	723.2	223.3	<b>434</b>	813.2	751.1	484	903.2
196.1	<b>385</b>	725.0	223.9	<b>435</b>	815.0	251.7	486	905.0
196.7	188	726.8	224.4	<b>436</b>	816.8	252.2	<b>488</b>	906.8
197.2	<b>387</b>	728.6	225.0	411	818.6	252.8	481	908.6
197.8	<b>388</b>	730.4	225.6	<b>438</b>	820.4	253.3	<b>481</b>	910.4
198.3	<b>389</b>	732.2	226.1	419	822.2	253.9	<b>481</b>	912.2
+198.9	<b>390</b>	+734.0	-226.7	t 440	824.0	+254.4	494	\$914.0
199.4	181	735.8	227.2	441	825.8	255.0	481	915.8
200.0	<b>392</b>	737.6	227.8	<b>442</b>	827.6	255.6	482	<b>917.6</b>
200.6	181	739.4	228.3	441	829.4	256.1	<b>493</b>	919.4
201.1	<b>394</b>	741.2	228.9	444	831.2	256.7	<b>494</b>	921.2
201.7	<b>395</b>	743.0	229.4	445	833.0	257.2	<b>495</b>	923.0
202.2	<b>397</b>	744.8	230.0	<b>448</b>	834.8	257.8	<b>491</b>	924.8
202.8	<b>397</b>	746.6	230.6	441	836.6	258.3	<b>497</b>	926.6
203.3	198	748.4	231.1	448	838.4	258.9	<b>491</b>	928.4
203.9	<b>399</b>	+750.2	231.7	<b>449</b>	840.2	259.4	<b>491</b>	930.2
+204.4	<b>400</b>	+752.0	-232.2	+ <b>450</b>	842.0	+260.0	<b>500</b>	+932.0
205.0	<b>401</b>	753.8	232.8	451	843.8	260.6	601	933.8
205.6	<b>402</b>	755.6	233.3	462	845.6	261.1	<b>602</b>	935.6
206.1	<b>403</b>	757.4	233.9	461	847.4	261.7	601	937.4
m 6.7	<b>404</b>	759.2	234.4	<b>454</b>	849.2	262.2	<b>604</b>	939.2
207.2	<b>405</b>	761.0	235.0	<b>455</b>	851.0	262.8	<b>606</b>	941.0
207.8	<b>406</b>	762.8	235.6	<b>456</b>	852.8	263.3	<b>606</b>	942.8
208.3	<b>407</b>	764.6	236.1	461	854.6	263.9	<b>607</b>	944.6
208.9	<b>408</b>	766.4	236.7	458	856.4	264.4	<b>608</b>	946.4
209.4	<b>409</b>	768.2	237.2	468	858.2	265.0	<b>609</b>	948.2
+210.0	<b>410</b>	+770.0	-237.8	t 484	<b>860.0</b>	+265.6	518	+950.0
210.6	611	771.8	238.3	481	<b>861.8</b>	266.1	511	951.8
211.1	412	773.6	238.9	<b>482</b>	<b>863.6</b>	266.7	512	953.6
211.7	413	7.54	239.4	<b>483</b>	<b>865.4</b>	267.2	513	955.4
212.2	414	717.2	240.0	<b>484</b>	<b>867.2</b>	267.8	114	957.2
212.8	415	779.0	240.6	<b>485</b>	869.0	268.3	515	959.0
213.3	416	780.8	241.1	484	870.8	268.9	118	<b>960.8</b>
213.9	111	782.6	241.7	481	872.6	269.4	111	962.6
214.4	<b>418</b>	784.4	242.2	<b>488</b>	<b>874.4</b>	270.0	518	964.4
215.0	<b>419</b>	786.2	242.8	<b>489</b>	876.2	270.6	519	<b>966.2</b>

**Tabla XVI-16 (Continuación)**  
**CONVERSION DE TEMPERATURAS °F a °C**  
**y °C a °F**

°C	Temp a convertii	°F	°C	Temp a convertii	°F	°C	Temp a convertii	°F
+ 271.1	+ 520	+ 968.0	+ 282.2	+ 540	+ 1004.0	293.3	+ 560	+ 1040.0
271.7	521	969.8	282.6	541	1005.8	293.9	UJL	1041.8
212.2	522	971.6	283.3	U 2	1007.6	294.4	582	1043.6
212.8	523	913.4	283.5	543	1009.4	295.0	583	1045.4
213.3	524	915.2	284.4	644	1011.2	295.6	584	1047.2
213.9	525	911.0	285.0	545	1013.0	296.1	585	1049.0
214.4	526	978.8	285.6	546	1014.8	296.7	586	1049.0
215.0	527	980.6	286.1	547	1016.6	297.2	587	1052.6
215.6	528	982.4	286.7	MI	1018.4	297.8	IVN	1054.4
216.1	529	984.2	287.2	UB	1020.2	298.3	IVN	1056.2
+ 276.7	+ 530	+ 986.0	+ 287.8	+ 550	+ 1022.0	298.9	+ 610	+ 1058.0
277.2	531	987.8	288.3	551	1023.8	299.4	611	1059.8
277.8	532	989.6	288.9	552	1025.6	300.0	612	1061.0
278.3	533	991.4	289.4	553	1021.4	300.6	611	1063.4
278.9	534	993.2	290.0	664	1029.2	301.1	614	1065.2
219.4	535	995.0	290.6	555	1031.0	301.7	615	1061.0
280.0	536	996.8	291.1	556	1032.8	302.2	616	1068.8
280.6	537	998.6	291.1	557	1034.6	302.8	617	1010.6
281.1	538	1000.4	292.2	558	1036.4	303.3	618	1012.4
281.7	539	1002.2	292.8	559	1038.2	303.9	619	1014.4

**Tabla XVI-17**

**TEMPERATURA DE LIQUIDOS CALENTADOS  
MEDIANTE VAPOR A DIVERSAS PRESIONES**

<b>Presión en kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Presión en libras por pulgada cuadrada</b>	<b>Temperatura del vapor saturado °C</b>	<b>Máxima temperatura a que puede calentarse un líquido en un recipiente con dispositivos de calentamiento con un rendimiento del 85 %</b>
3,52	50	147	123
3,87	55	150	125
4,22	60	153	127
4,57	65	156	129
4,92	70	158	132
5,27	75	160	133
5,63	80	162	135
5,98	85	164	137
6,33	90	166	138
6,68	95	168	140
7,03	100	170	142
7,38	105	172	143
7,73	110	173	144
8,09	115	175	146
8,44	120	177	148
8,79	125	178	149
9,14	130		
9,49	135	181	151
	140	183	153
10,20	145	184	154
10,55	150	186	155

Tabla XVI-18

**PESO POR METRO CUBICO DE ARIDOS SECOS DE  
DIFERENTE PESO ESPECIFICO Y CON DIVERSOS  
CONTENIDOS DE HUECOS**

Gravedad especifica	Tanto por ciento de vacio								
	15	20	25	30	35	40	45	50	55
2,0	1700	1600	1500	1400	1300	1200	1100	1000	900
2,1	1785	1680	1575	1470	1365	1260	1155	1050	945
2,2	1870	1760	1650	1540	1430	1320	1210	1100	990
2,3	1955	1840	1725	1610	1495	1380	1265	1150	1035
2,4	2040	1920	1800	1680	1560	1440	1320	1200	1080
2,5	2125	2000	1875	1750	1625	1500	1375	1250	1125
2,6	2210	2080	1950	1820	1690	1560	1430	1300	1170
2,7	2295	2160	2025	1890	1755			1350	1215
2,8	2380	2240	2100	1960	1820	1680	1540	1400	1260
2,9	2465	2320	2175	2030	1885	1740	1595	1450	1305
3,0	2550	2400	2250	2100	1950	1800	1650	1500	1350
3,1	2635	2480	2325	2170	2015	1860	1705	1550	1395
3,2	2720	2560	2400	2240	2080	1920	1760	1600	1440

- El peso específico de los áridos normalmente empleados en la construcción de carreteras está dentro de los márgenes siguientes:  
Granito, 2,6-2,9.  
Grava, 2,5-2,7.  
Piedra caliza, 2,1-2,8.  
Arena (cuarcita), 2,5-2,7.  
Arenisca, 2,0-2,7.  
Arenisca, 2,7-3,2.  
Escoria de alto horno, 2,0-2,5.
- Los datos contenidos en esta tabla son aplicables a áridos secos en estado suelto o compactados y el contenido de huecos debe determinarse según el estado de compactación. Preferiblemente se determinarán tanto el contenido de huecos como el peso específico, en laboratorio.
- Kilos por m<sup>3</sup>.

**RELACIONES PESO-VOLUMEN PARA DIVERSOS TIPOS DE PAVIMENTOS  
ASFÁLTICOS COMPACTADOS**

	Kilos por m <sup>3</sup>	Kilos por m <sup>3</sup> y cm de espesor	
<b>Nota:</b> Como consecuencia de las considerables variaciones de peso específico, granulometría y otras características de los áridos, el peso por unidad de volumen de los pavimentos, asfálticos compactados <i>v u i</i> considerablemente. Deben determinarse los pesos unitarios exactos en el laboratorio a partir de probetas tomadas del pavimento o preparadas en el laboratorio con los mismos materiales empleado en obra.	1600	16,0	
	1680	17,0	
	1765	17,5	
	1855	18,4	
	1920	19,3	
	2010	20,0	
	2100	20,7	
	2160	21,0	
	2250	22,5	
	2340	23,2	
	2410	24,0	
	2500	24,2	
	2590	25,5	
	Campo de variación	Campo de variación	Valor usado frecuentemente para estimaciones preliminares
Macadam—Tipo I del Instituto del Asfalto o macadam por penetración . . . . .	1765-1777	17,5-21,6	20,2
Granulometría abierta—Tipo II del Instituto del Asfalto . . . . .	1855-1867	18,4-22,5	21,4
Granulometría gruesa—Tipo III del Instituto del Asfalto . . . . .	2100-2110	20,7-24,0	22,4
Granulometría densa—Tipo IV del Instituto del Asfalto . . . . .	2160-2170	21,6-24,6	23,5
Granulometría fina—Tipo V del Instituto del Asfalto . . . . .	2100-2110	20,7-24,0	22,4
Sheet asphalt con piedra—Tipo VI del Instituto del Asfalto . . . . .	2100-2110	20,7-24,0	22,4
Sheet asphalt con arena—Tipo VII del Instituto del Asfalto . . . . .	1920-1930	19,3-22,5	21,4
Sheet asphalt fino—Tipo VIII del Instituto del Asfalto . . . . .	1920-1930	19,3-22,5	21,4
Macadam mezclado «in situ»—Especificación RM-1 del Instituto del Asfalto . . . . .	1165-1777	17,5-21,6	20,2
Mezcla «in situ» con granulometría densa—Especificación RM-2 del Instituto del Asfalto . . . . .	1765-1777	17,5-21,6	20,2
Sand asphalt mezclado «in situ»—Especificación RM-3 del Instituto del Asfalto . . . . .	1600-1612	16,0-20,0	18,1

Tabla XVI-20

LIBRAS DE MATERIAL NECESARIAS POR YARDA CUADRADA PARA CAPA DE ESPESOR DADO  
(EN PULGADAS) DE MATERIAL DE PESO ESPECIFICO DADO (EN LIBRAS POR YARDA CUBICA)

Libras por yarda cúbica	Espesor—Pulgadas											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10	0.3	0.6	0.8	1.1	1.4	1.7	1.9	2.2	2.5	2.8	3.1	3.3
20	0.6	1.1	1.7	2.2	2.8	3.3	3.9	4.4	5.0	5.6	6.1	6.7
30	0.8	1.7	2.5	3.3	4.2	5.0	5.8	6.7	7.5	8.3	9.2	10.0
40	1.1	2.2	3.3	4.4	5.6	6.7	7.8	8.9	10.0	11.1	12.2	13.3
50	1.4	2.8	4.2	5.6	6.9	8.3	9.7	11.1	12.5	13.9	15.3	16.7
60	1.7	3.3	5.0	6.7	8.3	10.0	11.7	13.3	15.0	16.7	18.3	20.0
70	1.9	3.9	5.8	7.8	9.7	11.7	13.6	15.6	17.5	19.4	21.4	23.3
80	2.2	4.4	6.7	8.9	11.1	13.3	15.6	17.8	20.0	22.2	24.4	26.7
90	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0
100	2.8	5.6	8.3	11.1	13.9	16.6	19.4	22.2	25.0	27.8	30.5	33.3
200	5.6	11.1	16.7	22.2	27.8	33.3	38.9	44.4	50.0	55.5	61.1	66.6
300	8.3	16.7	25.0	33.3	41.7	50.0	58.3	66.6	75.0	83.3	91.6	100.0
400	11.1	22.2	33.3	44.4	55.5	66.6	77.8	88.9	100.0	111.1	122.2	133.3
500	13.9	27.8	41.7	55.5	69.4	83.3	97.2	111.1	125.0	138.8	152.7	166.6
600	16.7	33.3	50.0	66.6	83.3	100.0	116.6	133.3	150.0	166.6	183.3	199.9
700	19.4	38.9	58.3	77.8	97.2	116.6	136.1	155.5	175.0	194.4	213.8	233.3
800	22.2	44.4	66.6	88.9	111.1	133.3	155.5	177.7	199.9	222.2	244.4	266.6
900	25.0	50.0	75.0	100.0	125.0	150.0	175.0	200.0	224.9	250.0	274.9	299.9
1000	27.8	55.5	83.3	111.1	138.8	166.6	194.4	222.2	249.9	277.7	305.5	333.2
2000	55.5	111.1	166.6	222.2	277.7	333.2	388.8	444.3	499.9	555.4	610.9	666.5
3000	83.3	166.6	250.0	333.2	416.6	500.0	583.2	666.5	749.8	833.1	916.4	999.7
4000	111.1	222.2	333.2	444.3	555.4	666.5	777.6	888.6	999.7	1110.8	1221.9	1333.0
5000	138.8	277.7	416.6	555.4	694.2	833.1	972.0	1110.8	1249.6	1388.5	1527.4	1666.2

NOTA: Fórmula empleada:  $q = \frac{(D)}{(36)} W = 0,02777 D W$

Siendo: q = Cantidad de material en lbs./yd<sup>2</sup>.  
D = Espesor en pulgadas.  
W = Peso específico en lbs./yd<sup>3</sup>.

Tabla XVI-21  
 TONELADAS DE MATERIAL NECESARIAS POR CADA 100 PIES PARA DIVERSAS ANCHURAS  
 Y DOSIFICACIONES EN LIBRAS/PIE CUADRADO

Lbs/yd <sup>1</sup>	Anchura—Pies															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30	40	50	60	
1	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	0.11	0.17	0.22	0.28	0.33	
2	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.22	0.33	0.44	0.56	0.67	
3	0.02	0.03	0.05	0.07	0.08	0.10	0.12	0.13	0.15	0.17	0.33	0.50	0.67	0.83	1.00	
4	0.02	0.04	0.07	0.09	0.11	0.13	0.16	0.18	0.20	0.22	0.44	0.67	0.89	1.11	1.33	
5	0.03	0.06	0.08	0.11	0.14	0.17	0.19	0.22	0.25	0.28	0.56	0.83	1.11	1.39	1.67	
7	0.04	0.08	0.12	0.16	0.19	0.20	0.23	0.27	0.30	0.33	0.67	1.00	1.33	1.67	2.00	
10	0.04	0.09	0.13	0.18	0.22	0.23	0.27	0.31	0.35	0.39	0.78	1.17	1.56	1.94	2.33	
20	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.27	0.31	0.36	0.40	0.44	0.89	1.33	1.78	2.22	2.67	
30	0.06	0.11	0.17	0.22	0.28	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	
40	0.11	0.22	0.33	0.44	0.56	0.67	0.78	0.89	1.00	1.11	2.22	3.33	4.44	5.56	6.67	
50	0.17	0.33	0.50	0.67	0.83	1.00	1.17	1.33	1.50	1.67	3.33	5.00	6.67	8.33	10.00	
60	0.22	0.44	0.67	0.89	1.11	1.33	1.56	1.78	2.00	2.22	4.44	6.67	8.89	11.11	13.33	
70	0.28	0.56	0.83	1.11	1.39	1.67	1.94	2.22	2.50	2.78	5.56	8.33	11.11	13.89	16.67	
80	0.33	0.67	1.00	1.33	1.67	2.00	2.33	2.67	3.00	3.33	6.67	10.00	13.33	16.67	20.00	
90	0.39	0.78	1.17	1.56	1.94	2.33	2.72	3.11	3.50	3.89	7.78	11.67	15.56	19.44	23.33	
100	0.44	0.89	1.33	1.78	2.22	2.67	3.11	3.56	4.00	4.44	8.89	13.33	17.78	22.22	26.67	
200	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00	
300	0.56	1.11	1.67	2.22	2.78	3.33	3.89	4.44	5.00	5.56	11.11	16.67	22.22	27.78	33.11	
400	1.11	2.22	3.33	4.44	5.56	6.67	7.78	8.89	10.00	11.11	22.22	33.33	44.44	55.56	66.67	
500	1.67	3.33	5.00	6.67	8.33	10.00	11.67	13.33	15.00	16.67	33.33	50.00	66.67	83.33	100.00	
600	2.22	4.44	6.67	8.89	11.11	13.33	15.56	17.78	20.00	22.22	44.44	66.67	88.89	111.11	133.33	
700	2.78	5.56	8.33	11.11	13.89	16.67	19.44	22.22	25.00	27.78	55.56	83.33	111.11	138.89	166.67	
800	3.33	6.67	10.00	13.33	16.67	20.00	23.33	26.67	30.00	33.33	66.67	100.00	133.33	166.67	200.00	
900	3.89	7.78	11.67	15.56	19.44	23.33	27.22	31.11	35.00	38.89	77.78	116.69	155.56	194.44	233.31	
1000	4.44	8.89	13.33	17.78	22.22	26.67	31.11	35.56	40.00	44.44	88.89	133.33	177.78	222.22	266.67	
1500	5.00	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	100.00	150.00	200.00	250.00	300.00	
1999	5.56	11.11	16.67	22.22	27.78	33.33	38.89	44.44	50.00	55.56	111.11	166.67	222.22	277.78	333.33	

NOTA: Fórmula empleada:

$$w = \left(\frac{W}{3}\right) \left(\frac{100}{3}\right) \left(\frac{R}{2000}\right) = 0,00556 RW$$

Donde: w = Cantidad de material en toneladas por cada 100 pies.

R = Dosificación en lbs/yd<sup>2</sup>.

W = Anchura en pies.

Tabla XVI-20

LIBRAS DE MATERIAL NECESARIAS POR YARDA CUADRADA PARA CAPA DE ESPESOR DADO  
(EN PULGADAS) DE MATERIAL DE PESO ESPECIFICO DADO (EN LIBRAS POR YARDA CUBICA)

Libras por yarda cúbica	E s p e s o r — P u l g a d a s											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10	0.3	0.6	0.8	1.1	1.4	1.7	1.9	2.2	2.5	2.8	3.1	3.3
20	0.6	1.1	1.7	2.2	2.8	3.3	3.9	4.4	5.0	5.6	6.1	6.7
30	0.8	1.7	2.5	3.3	4.2	5.0	5.8	6.7	7.5	8.3	9.2	10.0
40	1.1	2.2	3.3	4.4	5.6	6.7	7.8	8.9	10.0	11.1	12.2	13.3
50	1.4	2.8	4.2	5.6	6.9	8.3	9.7	11.1	12.5	13.9	15.3	16.7
60	1.7	3.3	5.0	6.7	8.3	10.0	11.7	13.3	15.0	16.7	18.3	20.0
70	1.9	3.9	5.8	7.8	9.7	11.7	13.6	15.6	17.5	19.4	21.4	23.3
80	2.2	4.4	6.7	8.9	11.1	13.3	15.6	17.8	20.0	22.2	24.4	26.7
90	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0
100	2.8	5.6	8.3	11.1	13.9	16.6	19.4	22.2	25.0	27.8	30.5	33.3
200	5.6	11.1	16.7	22.2	27.8	33.3	38.9	44.4	50.0	55.5	61.1	66.6
300	8.3	16.7	25.0	33.3	41.7	50.0	58.3	66.6	75.0	83.3	91.6	100.0
400	11.1	22.2	33.3	44.4	55.5	66.6	77.8	88.9	100.0	111.1	122.2	133.3
500	13.9	27.8	41.7	55.5	69.4	83.3	97.2	111.1	125.0	138.8	152.7	166.6
600	16.7	33.3	50.0	66.6	83.3	100.0	116.6	133.3	150.0	166.6	183.3	199.9
700	19.4	38.9	58.3	77.8	97.2	116.6	136.1	155.5	175.0	194.4	213.8	233.3
800	22.2	44.4	66.6	88.9	111.1	133.3	155.5	177.7	199.9	222.2	244.4	266.6
900	25.0	50.0	75.0	100.0	125.0	150.0	175.0	200.0	224.9	250.0	274.9	299.9
1000	27.8	55.5	83.3	111.1	138.8	166.6	194.4	222.2	249.9	277.7	305.5	333.2
2000	55.5	111.1	166.6	222.2	277.7	333.2	388.8	444.3	499.9	555.4	610.9	666.5
3000	83.3	166.6	250.0	333.2	416.6	500.0	583.2	666.5	749.8	833.1	916.4	999.7
4000	111.1	222.2	333.2	444.3	555.4	666.5	777.6	888.6	999.7	1110.8	1221.9	1333.0
5000	138.8	277.7	416.6	555.4	694.2	833.1	972.0	1110.8	1249.6	1388.5	1527.4	1666.2

NOTA: Fórmula empleada:  $q = \frac{(D)}{(36)} W = 0.02777 D W$

Siendo: q = Cantidad de material en lbs./yd<sup>2</sup>.  
D = Espesor en pulgadas.  
W = Peso específico en lbs./yd<sup>3</sup>.

Tabla XVI-21

**TONELADAS DE MATERIAL NECESARIAS POR CADA 100 PIES PARA DIVERSAS ANCHURAS Y DOSIFICACIONES EN LIBRAS/PIE CUADRADO**

Lbs/yd <sup>2</sup>	Anchura—Pies										20	30	40	50	U
	1	2	3	4	5	6	7	8	8	10					
1	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	0.11	0.17	0.22	0.28	0.33
2	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07	0.08	0.10	0.12	0.13	0.15	0.17	0.22	0.33	0.61
3	0.02	0.03	0.05	0.07	0.08	0.11	0.13	0.16	0.18	0.20	0.22	0.44	0.61	0.89	1.33
4	0.02	0.04	0.07	0.09	0.11	0.13	0.17	0.19	0.22	0.25	0.28	0.56	0.83	1.11	1.67
5	0.03	0.06	0.08	0.11	0.14	0.17	0.20	0.23	0.27	0.30	0.33	0.61	1.00	1.33	2.00
6	0.03	0.07	0.10	0.13	0.16	0.19	0.23	0.27	0.31	0.35	0.39	0.78	1.17	1.56	2.33
7	0.14	0.08	0.12	0.16	0.22	0.27	0.31	0.36	0.40	0.44	0.49	0.89	1.33	1.78	2.61
8	0.04	0.09	0.13	0.18	0.22	0.27	0.31	0.36	0.40	0.44	0.50	0.89	1.33	1.78	2.61
9	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00
10	0.06	0.11	0.17	0.22	0.28	0.33	0.39	0.44	0.50	0.56	1.11	1.61	2.22	2.18	3.33
20	0.11	0.22	0.33	0.44	0.56	0.67	0.78	0.89	1.00	1.11	2.22	3.33	4.44	5.56	6.61
30	0.17	0.33	0.50	0.67	0.83	1.00	1.17	1.33	1.50	1.67	3.33	5.00	6.67	8.33	10.00
40	0.22	0.44	0.61	0.89	1.11	1.33	1.56	1.78	2.00	2.22	4.44	6.61	8.89	11.11	13.33
50	0.21	0.56	0.83	1.11	1.39	1.67	1.94	2.22	2.50	2.18	5.56	8.33	11.11	13.89	16.67
60	0.33	0.67	1.00	1.33	1.61	2.00	2.33	2.67	3.00	3.33	6.67	10.00	13.31	16.61	20.00
70	0.39	0.78	1.17	1.56	1.94	2.33	2.72	3.11	3.50	3.89	7.78	11.67	15.56	19.44	23.33
80	0.44	0.89	1.33	1.78	2.22	2.61	3.11	3.56	4.00	4.44	8.89	13.33	17.78	22.22	26.61
90	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00
100	0.56	1.11	1.67	2.22	2.78	3.33	3.89	4.44	5.00	5.56	11.11	16.67	22.22	27.78	33.33
200	1.11	2.22	3.33	4.44	5.56	6.61	7.78	8.89	10.00	11.11	22.22	33.33	44.44	55.56	66.61
300	1.67	3.33	5.00	6.61	8.33	10.00	11.67	13.33	15.00	16.67	33.33	50.00	66.61	83.33	100.00
400	2.22	4.44	6.61	8.89	11.11	13.33	15.56	17.78	20.00	22.22	44.44	66.61	88.89	111.11	133.33
500	2.18	5.56	8.33	11.11	13.89	16.67	19.44	22.22	25.00	27.78	55.56	83.33	111.11	138.89	166.61
600	3.13	6.67	10.00	13.33	16.61	20.00	23.33	26.61	30.00	33.33	66.61	100.00	133.33	166.67	200.00
700	3.89	7.78	11.61	15.56	19.44	23.33	27.22	31.11	35.00	38.89	77.78	116.69	155.56	194.44	233.33
800	4.44	8.89	13.33	17.78	22.22	26.67	31.11	35.56	40.00	44.44	88.89	133.33	177.78	222.22	266.61
900	5.00	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	100.00	150.00	200.00	250.00	300.00
1000	5.56	11.11	16.67	22.22	27.78	33.33	38.89	44.44	50.00	55.56	111.11	166.61	222.22	277.78	333.33

NOTA: Fórmula empleada:

$$w = \left(\frac{W}{3}\right) \left(\frac{100}{3}\right) \left(\frac{R}{2000}\right) = 0.005556 RW$$

Donde: w = Cantidad de material en toneladas por cada 100 pies.  
 R = Dosificación en lbs/yd<sup>2</sup>.  
 W = Anchura en pies.

Tabla XVI-22

**TONELADAS DE MATERIAL NECESARIAS POR MILLA PARA DIVERSAS ANCHURAS  
Y DOSIFICACIONES EN LIBRAS/YARDA CUADRADA**

Lib/yd <sup>2</sup>	Anchura—Pies														Y
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30	40	50	
1	0.3	0.6	0.9	1.3	1.5	1.8	2.1	2.3	2.6	2.9	5.9	8.8	11.7	14.7	17.6
2	0.6	1.2	1.8	2.3	2.9	3.5	4.1	4.1	5.3	5.9	11.7	17.6	23.5	29.3	35.2
3	0.9	1.8	2.6	3.5	4.4	5.3	6.2	7.0	7.9	8.8	17.6	26.4	35.2	44.0	52.8
4	1.2	2.3	3.5	4.7	5.9	7.0	8.2	9.4	10.6	11.7	23.5	35.2	46.9	58.7	70.4
5	1.5	2.9	4.4	5.9	1.3	8.8	10.3	11.7	13.2	14.7	29.3	44.0	58.7	1.33	88.0
6	1.8	3.5	5.3	7.0	8.8	10.6	12.3	14.1	15.8	17.6	35.3	52.8	70.4	88.0	105.6
7	2.1	4.1	6.2	8.2	10.3	12.3	14.4	16.4	18.5	20.5	41.1	61.6	82.1	102.7	123.2
8	2.3	4.7	7.0	9.4	11.7	14.1	16.4	18.8	21.1	23.5	46.9	70.4	93.9	117.3	140.8
9	2.6	5.3	7.9	10.6	13.2	15.8	18.5	21.1	23.8	26.4	52.8	79.2	105.6	132.0	158.4
10	2.9	5.9	8.8	11.7	14.7	17.6	20.5	23.5	26.4	29.3	58.7	88.0	117.3	146.7	176.0
20	5.9	11.7	17.6	23.5	29.3	35.2	41.1	46.9	52.8	58.7	117.3	176.0	234.9	293.3	352.0
30	8.8	17.6	26.4	35.2	44.0	52.8	61.6	70.4	79.2	88.0	176.0	264.0	352.0	440.0	527.9
40	11.7	23.5	35.2	46.9	58.7	70.4	82.1	93.9	105.6	117.3	234.7	352.0	469.3	586.7	701.0

<b>50</b>	14.7	<b>29.3</b>	44.0	58.1	13.3	<b>88.0</b>	102.7	<b>117.3</b>	132.0	146.7	<b>293.3</b>	<b>440.0</b>	586.1		
<b>60</b>	17.6	<b>35.2</b>	52.8	10.4	<b>88.0</b>	105.6	<b>123.2</b>	140.8	158.4	176.0	352.0	528.0	704.0	880.0	1056.0
<b>70</b>	20.5	41.1	61.6	82.1	102.7	123.2	143.7	164.3	184.8	205.3	410.7	616.0	821.3	1026.7	1212.0
<b>80</b>	23.5	<b>46.9</b>	10.4	93.9	111.3	140.8	164.3	187.1	211.2	234.7	469.3	704.0	938.7		
<b>90</b>	26.4	52.8	19.1	105.6	132.0	158.4	184.8	211.2	237.6	264.0	528.0	792.0	1056.0		
<b>100</b>	29.3	58.7	88.0	117.3	146.7	176.0	205.3	234.7	264.0	293.3	586.7	880.0	1173.3		
<b>200</b>	58.1	117.3	176.0	234.7	293.3	352.0	410.1	469.3	528.0	586.7	1173.3	1760.0	2346.7		
<b>300</b>	88.0	176.0	264.0	352.0	<b>440.0</b>	528.0	616.0	<b>704.0</b>	<b>792.0</b>	880.0	1760.0	2640.0	3520.0		
<b>400</b>	111.3	234.7	352.0	469.3	586.7	704.0	821.3	938.7	1056.0	1173.3	<b>2346.7</b>	3520.0	4693.3		
<b>500</b>	146.7	293.3	440.0	586.7	133.3	880.0	<b>1026.7</b>	1173.3	1320.0	1466.7	2933.3	<b>4400.0</b>	<b>5866.7</b>		
<b>600</b>	176.0	352.0	<b>528.0</b>	704.0	880.0	1056.0	1232.0	1408.0	1584.0	1760.0	3520.0	5280.0	7040.0	8800.0	10560.0
<b>700</b>	<b>205.3</b>	410.1	616.0	821.3	1026.7	1232.0	1437.3	1642.7	1848.0	2053.3	4106.7	<b>6160.0</b>	<b>8213.3</b>	10266.7	12320.0
<b>800</b>	234.1	469.3	704.0	938.7	1173.3	1408.0	1642.1	1877.3	2112.0	2346.7	4693.3	<b>7040.0</b>	9386.7	11733.3	14080.0
<b>900</b>	<b>264.0</b>	528.0	792.0	1056.0	1320.0	<b>1584.0</b>	<b>1848.0</b>	2112.0	2376.0	2640.0	5280.0	7920.0	10560.0	13200.0	<b>15840.0</b>
<b>1000</b>	293.3	586.7	880.0	1173.3	1466.7	1760.0	2053.3	<b>2346.7</b>	<b>2640.0</b>	2933.3	5866.7	8800.0	11733.3	14666.7	17600.0

NOTA: Fórmula empleada:

$$w = \left(\frac{W}{3}\right) \left(\frac{5280}{3}\right) \left(\frac{R}{2000}\right) = 0,2933 RW$$

Donde: w = Cantidad de material en toneladas por milla.

R = Dosificación en lbs/yd<sup>3</sup>.

W = Anchura en pies.

Tabla XVI-23  
PIES LINEALES CUBIERTOS POR UNA TONELADA DE MATERIAL PARA DIVERSAS  
ANCHURAS Y DOSIFICACIONES EN LIBRAS POR YARDA CUADRADA

Lbs/yd <sup>1</sup>	Anchura—Pies									
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
4	563	500	450	409	375	346	321	300	281	265
6	375	333	300	273	250	231	214	200	188	176
8	281	250	225	205	188	173	161	150	141	132
10	225	200	180	164	150	138	129	120	113	106
15	150	133	120	109	100	92.3	85.7	80.0	75.0	70.6
20	113	100	90.0	81.8	75.0	69.2	64.3	60.0	56.3	52.9
25	90.0	80.0	72.0	65.5	60.0	55.4	51.4	48.0	45.0	42.4
30	75.0	66.7	60.0	54.5	50.0	46.2	42.9	40.0	37.5	35.3
35	64.3	57.1	51.4	46.8	41.9	39.6	36.7	34.3	32.1	30.3
	56.3	50.0	45.0	40.9	37.5	34.6	32.1	30.0	28.1	26.5
45	50.0	44.4	40.0	36.4	33.3	30.8	28.6	26.7	25.0	23.5
50	45.0	40.0	36.0	32.7	30.0	27.7	25.7	24.0	22.5	21.2
60	37.5	33.3	30.0	27.3	25.0	23.1	21.4	20.0	18.8	17.6
70	32.1	28.6	25.7	23.4	21.4	19.8	18.4	17.1	16.1	15.1
80	28.1	25.0	22.5	20.5	18.8	17.3	16.1	15.0	14.1	13.2
90	25.0	21.2	20.0	18.2	16.7	15.4	14.3	13.3	12.5	11.8
100	22.5	20.0	18.0	16.4	15.0	13.8	12.9	12.0	11.3	10.6
120	18.8	16.7	15.0	13.6	12.5	11.5	10.7	10.0	9.4	8.8
140	16.1	14.3	12.9	11.7	10.7	9.9	9.2	8.6	8.0	7.6
160	14.1	12.5	11.3	10.2	9.4	8.7	8.0	7.5	7.0	6.6

<b>180</b>	12.5	11.1	10.0	9.1	8.3	7.7	7.1	6.7	6.3	5.9
<b>200</b>	11.3	10.0	9.0	8.2	7.5	6.9	6.4	6.0	5.6	5.3
<b>220</b>	10.2	9.1	8.2	7.4	6.8	6.3	5.8	5.5	5.1	4.8
<b>240</b>	9.4	8.3	7.5	6.8	6.3	5.8	5.4	5.0	4.7	4.4
<b>aro</b>	8.7	7.7	6.9	6.3	5.8	5.3	4.9	4.6	4.3	4.1
<b>280</b>	8.0	7.1	6.4	5.8	5.4	4.9	4.6	4.3	4.0	3.8
<b>300</b>	7.5	6.7	6.0	5.5	5.0	4.6	4.3	4.0	3.8	3.5
<b>320</b>	7.0	6.3	5.6	5.1	4.7	4.3	4.0	3.8	3.5	3.3
<b>340</b>	6.6	5.9	5.3	4.8	4.4	4.1	3.8	3.5	3.3	3.1
<b>360</b>	6.3	5.6	5.0	4.5	4.2	3.8	3.6	3.3	3.1	2.9
<b>380</b>	5.9	5.3	4.7	4.3	3.9	3.6	3.4	3.2	3.0	<b>2.8</b>
<b>400</b>	5.6	5.0	4.5	4.1	3.8	3.5	3.2	3.0	2.8	2.6
<b>420</b>	5.4	4.8	4.3	3.9	3.6	3.3	3.1	2.9	2.7	2.5
<b>440</b>	5.1	4.5	4.1	3.7	3.4	3.1	2.9	2.7	2.6	2.4
<b>460</b>	4.9	4.3	3.9	3.6	3.3	3.0	2.8	2.6	2.4	2.3
<b>480</b>	4.7	4.2	3.8	3.4	3.1	2.9	2.7	2.5	2.3	2.2
<b>500</b>	4.5	4.0	3.6	3.3	3.0	2.8	2.6	2.4	2.2	2.1
<b>520</b>	4.3	3.8	3.5	3.1	2.9	2.7	2.5	2.3	2.2	2.0
<b>540</b>	4.2	3.7	3.3	3.0	2.8	2.6	2.4	2.2	2.1	2.0
<b>560</b>	4.0	3.6	3.2	2.9	2.7	2.5	2.3	2.1	2.0	1.9
<b>580</b>	3.9	3.4	3.1	2.8	2.6	2.4	2.2	2.1	1.9	1.8
<b>600</b>	3.8	3.3	3.0	2.7	2.5	2.3	2.1	2.0	1.9	1.8

NOTA: Fórmula empleada:

$$L = \frac{2000(9)}{R W} \frac{18000}{R W}$$

Siendo: L = Pies lineales cubiertos por una tonelada de material  
R = Dosificación en lbs/yd<sup>2</sup>.  
W = Anchura en pies.

## Tibia XVI-24

YARDAS CUBICAS DE MATERIAL NECESARIAS POR CADA 100 PIES Y POR MILLA  
PARA DIVERSAS ANCHURAS Y ESPEORES

	Anchura, Pies	Espesor—Pulgadas											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>POR 100 PIES</b>	1	0.31	0.62	0.93	1.23	1.54	1.85	2.16	2.47	2.78	3.09	3.40	3.70
	2	0.62	1.23	1.85	2.47	3.09	3.70	4.32	4.94	5.56	6.17	6.79	7.41
	3	0.93	1.85	2.78	3.70	4.63	5.56	6.48	7.41	8.33	9.26	10.18	11.1
	4	1.23	2.47	3.70	4.94	6.17	7.41	8.64	9.88	11.1	12.3	13.6	14.8
	5	1.54	3.09	4.63	6.17	7.72	9.26	10.8	12.3	13.9	15.4	17.0	18.5
	6	1.85	3.70	5.56	7.41	9.26	11.1	13.0	14.8	16.7	18.5	20.4	22.2
	7	2.16	4.32	6.48	8.64	10.8	13.0	15.1	17.3	19.4	21.6	23.8	25.9
	8	2.47	4.94	7.41	9.88	12.3	14.8	17.3	19.8	22.2	24.7	27.2	29.6
	9	2.78	5.56	8.33	11.1	13.9	16.7	19.4	22.2	25.0	27.8	30.6	33.3
	10	3.09	6.17	9.26	12.3	15.4	18.5	21.6	24.7	27.8	30.9	34.0	37.0
	20	—	—	—	24.7	30.9	37.0	43.2	49.4	55.6	61.7	67.9	74.1
	30	6.17	12.3	18.5	24.7	30.9	37.0	43.2	49.4	55.6	61.7	67.9	74.1
	40	12.36	24.7	37.0	49.4	61.7	74.1	86.4	98.8	111	123	136	148
	50	12.3	30.9	46.3	61.7	77.2	92.6	108	123	139	154	170	185
	60	18.5	37.0	55.6	74.1	92.6	111	130	148	167	185	204	222
	70	21.6	43.2	64.8	86.4	108	130	151	173	194	216	238	259
	80	24.7	49.4	74.1	98.8	123	148	173	198	222	247	272	296
	90	27.8	55.6	83.3	111	139	167	194	222	250	278	306	333
	100	30.9	61.7	92.6	123	154	185	216	247	278	309	340	370

<b>POR MILLA</b>	1	16.3	32.6	48.9	65.2	81.5	97.8	114	130	147	163	179	196
	2	32.6	65.2	97.8	130	163	196	228	261	293	326	359	391
	3	48.9	97.8	147	196	244	293	342	391	440	489	538	587
	4	65.2	130	196	261	326	391	456	521	587	652	717	782
	5	81.5	163	244	326	407	489	570	652	733	815	896	978
	6	97.8	196	293	391	489	587	687	782	880	978	1076	1173
	7	114	228	342	456	570	684	799	913	1027	1141	1255	1369
	8	130	261	391	521	652	782	913	1043	1173	1304	1434	1564
	9	147	293	440	587	733	880	1027	1173	1320	1467	1613	1760
	10	163	326	489	652	815	978	1141	1304	1467	1630	1793	1956
	20	326	652	978	1304	1630	1956	2281	2607	2933	3259	3585	3911
	30	489	978	1467	1956	2444	2933	3422	3911	4400	4889	5378	5867
	40	652	1304	1956	2607	3259	3911	4563	5215	5867	6519	7170	7822
	50	815	1630	2444	3259	4074	4889	5704	6519	7333	8148	8963	9778
	60	978	1956	2933	3911	4889	5867	6844	7822	8800	9778	10756	11733
70	1141	2281	3422	4563	5704	6844	7985	9126	10267	11407	12548	13689	
80	1304	2607	3911	5215	6519	7822	9126	10430	11733	13037	14341	15644	
90	1467	2933	4400	5867	7333	8800	10267	11733	13200	14667	16133	17600	
100	1630	3259	4889	6519	8148	9778	11407	13037	14667	16296	17926	19556	

NOTA: Fórmulas empleadas:

$$\text{Por 100 pies: } q = \left(\frac{D}{36}\right) \left(\frac{W}{3}\right) \left(\frac{100}{3}\right) = 0,3086DW$$

$$\text{Por milla: } q = \left(\frac{D}{36}\right) \left(\frac{W}{3}\right) \left(\frac{5280}{3}\right) = 16,2963DW$$

Siendo: q = Cantidad de material en yd<sup>3</sup>.  
 D = Espesor en pulgadas.  
 W = Anchura en pies.

## Tabla XVI-25

### PESO ESPECIFICO DE DIVERSOS CUERPOS

#### Nota importante

Los pesos específicos de la mayor parte de los materiales incluida en esta tabla varían dentro de un determinado margen. Por ello, en la tabla se indican los márgenes correspondientes que, sin embargo, no comprenden necesariamente todos los valores, siendo posible encontrar casos en que un cuerpo determinado tenga peso específico situado fuera del margen indicado en la tabla. Cuando nos referimos a sólidos, el peso específico indicado corresponde al material en forma sólida. Para determinar el peso específico del material machacado o en forma granular es necesario conocer también el contenido de huecos que, a su vez, depende de la granulometría y grado de compactación de los materiales. Conociendo el contenido de huecos y el peso específico, puede obtenerse la densidad aparente o el peso unitario del material machacado o en forma granular de la tabla XVI-18.

Es preferible determinar el peso específico por un ensayo apropiado. Los datos que se dan a continuación sólo deben emplearse, por consiguiente, para estimaciones.

#### Pesos específicos y densidades de varios materiales sólidos y líquidos

Material	Peso específico
Alcohol etílico puro. . . . .	0.79
Aluminio. . . . .	2.55-2.80
Oxido de aluminio . . . . .	3.95-4.00
Amianto . . . . .	2,1-2,8
Papel de amianto . . . . .	—
Cartón de amianto. . . . .	—
Betún asfáltico . . . . .	0.99-1.04
Asfalto líquido.. . . .	0.92-1.01
Asfalto natural . . . . .	1,00-1,42
Basalto . . . . .	2,7-3,2
Benceno. . . . .	0,73-0,75
Latón. . . . .	8,4-8,7
Ladrillo de construcción. . . . .	1.4-1.9
Ladrillo de pavimentación. . . . .	1.8-2.3
Bronce . . . . .	7,4-8,9
Carbonato de calcio puro. . . . .	2.7
Cloruro de calcio (anhidro). . . . .	2.15
Carbón amorfo (negro de humo). . . . .	1.8-2.1
Disulfuro de carbono. . . . .	1.26
Tetracloruro de carbono. . . . .	1.59
Cemento portland. . . . .	3.1-3.2
Cemento portland en estado suelto. . . . .	—
Mortero de cemento Portland . . . . .	—
Cenizas . . . . .	—
Arcilla. . . . .	2.5-2.7
Carbón. . . . .	1.2-1.5
Hormigón asfáltico . . . . .	2,16-2,48
Hormigón de cemento Portland. . . . .	2,2-2,4
Cobre . . . . .	8,8-8,95
Corcho . . . . .	0.22-0.26
Creosota. . . . .	1,03-1,08
Dolomita . . . . .	2.8-2.9
Tierra limosa seca. . . . .	—
Feldespato. . . . .	2.5-2.7

Tabla XVI-26 (Continuación)  
**PESO ESPECIFICO DE DIVERSOS CUERPOS**

<i>Material</i>	<i>Peso especifico</i>
Fieltro . . . . .	—
Gasolina . . . . .	0,70-0,75
Vidrio . . . . .	2,4-2,8
Granito . . . . .	2,6-2,9
Grafito . . . . .	2,3-2,7
Grava . . . . .	2,50-2,70
Yeso calcinado . . . . .	1,81
Hielo . . . . .	0,88-0,92
Hierro fundido en lingotes . . . . .	7,2
Hierro forjado . . . . .	7,6-7,9
Keroseno . . . . .	0,78-0,82
Plomo . . . . .	11,34
Cuero . . . . .	0,86-1,02
Piedra caliza . . . . .	2,1-2,8
Cal viva (óxido de calcio) . . . . .	2,62
Cal hidratada (hidróxido de calcio) . . . . .	2,20
Aceite lubricante . . . . .	0,86-0,94
Mercurio a 20° C. . . . .	13,546
Mica moscovita . . . . .	2,7-3,1
Nahj, éter de petróleo . . . . .	0,63-0,66
Parafina . . . . .	0,85-0,95
Turba . . . . .	—
Petróleo . . . . .	0,91-1,04
Alquitrán . . . . .	1,07-1,15
Cuarzo, pedernal . . . . .	2,5-2,8
Caucho . . . . .	0,92-0,96
Sal (cloruro de sodio) . . . . .	2,16
Arena . . . . .	2,5-2,7
Arenisca . . . . .	2,0-2,7
Pizarra . . . . .	2,6-2,9
Escoria granulada . . . . .	1,4-1,6
Escoria de alto horno . . . . .	2,0-2,5
Acem . . . . .	7,8-7,9
Alquitrán . . . . .	0,95-1,25
Madera (secada al aire)	
Pino, Douglas . . . . .	0,48-0,55
Roble, Castaño . . . . .	0,14
Pino, Southern . . . . .	0,61-0,67
Redwood, California . . . . .	0,42
Trap Rock . . . . .	2,7-3,2
Agua destilada a 4° C. . . . .	1,00
Agua de mar . . . . .	1,02-1,04

**Tabla XVI-26**  
**CONVERSION DE UNIDADES DE LONGITUD**  
**PIES A MILLAS Y MILLAS A PIES**

<b>PIES A MILLAS</b>	Pies	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Millas	0.0019	0.0038	0.0057	0.0076	0.0095	0.0114	0.0133	0.0152	0.0171
	Pies	10	20	30	40	50	60	70	80	90
	Millas	0.00189	0.00379	0.00568	0.00758	0.00947	0.01136	0.01325	0.01515	0.01705
	Pies	100	200	300	400	500	600	700	800	900
Millas	0.01894	0.03788	0.05682	0.07576	0.09470	0.11364	0.13258	0.15152	0.17046	
Pies	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	
Millas	0.18939	0.37879	0.56818	0.75758	0.94697	1.13636	1.32575	1.51515	1.70455	
Pies	10000	20000	30000	40000	50000	60000	70000	80000	90000	
Millas	1.8939	3.7879	5.6818	7.5758	9.4697	11.3636	13.2575	15.1515	17.0455	

<b>MILLAS A PIES</b>	Millas	0.1	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9
	Pies	528	5280	5808	6336	6864	7392	7920	8448	8976	9504	10032
	Millas	0.2	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9
	Pies	1056	10560	11088	11616	12144	12672	13200	13728	14256	14784	15312
	Millas	0.3	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9
	Pies	1584	15840	16368	16896	17424	17952	18480	19008	19536	20064	20592
	Millas	0.4	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9
	Pies	2112	21120	21648	22176	22704	23232	23760	24288	24816	25344	25872
	Millas	0.5	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9
	Pies	2640	26400	26928	27456	27984	28512	29040	29568	30096	30624	31152
	Millas	0.6	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9
	Pies	3168	31680	32208	32736	33264	33792	34320	34848	35376	35904	36432
	Millas	0.7	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9
	Pies	3696	36960	37488	38016	38544	39072	39600	40128	40656	41184	41712
	Millas	0.8	8.0	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7	8.8	8.9
	Pies	4224	42240	42768	43296	43824	44352	44880	45408	45936	46464	46992
	Millas	0.9	9.0	9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8	9.9
	Pies	4752	47520	48048	48576	49104	49632	50160	50688	51216	51744	52272

**Tabla XVI-27**  
**CONVERSION DE 1/64 PULGADA A DECIMALES**  
**DE PULGADA**

Frac- ción	1/64	Equiva- lente decimal	mm (Aprox.)	Frac. ción	1/64	Equiva- lente decimal	mm (Aprox.)
	1	.015625	0.397		33	.515625	13.097
1/32	2	.03125	0.794	1/32	34	.53125	13.494
	3	.046875	1.191		35	.546875	13.891
1/16	4	.0625	1.588	3/16	36	.5625	14.288
	5	.078125	1.984		37	.578125	14.684
1/32	6	.09375	2.381	19/32	38	.59375	15.081
	7	.109375	2.778		39	.609375	15.478
1/8	8	.125	3.175	3/8	40	.625	15.875
	9	.140625	3.572		41	.640625	16.272
1/32	10	.15625	3.969	21/32	42	.65625	16.669
	11	.171875	4.366		43	.671875	17.066
3/16	12	.1875	4.763		44	.6875	17.463
	13	.203125	5.159		45	.703125	17.859
1/32	14	.21875	5.556	23/32	46	.71875	18.256
	15	.234375	5.953		47	.734375	18.653
1/4	16	.250	6.350	3/4	48	.750	19.050
	17	.265625	6.747		49	.765625	19.447
1/32	18	.28125	7.144	25/32	50	.78125	19.844
	19	.296875	7.541		51	.796875	20.241
3/16	20	.3125	7.938	13/16	52	.8125	20.638
	21	.328125	8.334		53	.828125	21.034
11/32	22	.34375	8.731	27/32	54	.84375	21.431
	23	.359375	9.128		55	.859375	21.828
3/8	24	.375	9.525	3/8	56	.875	22.225
	25	.390625	9.922		57	.890625	22.622
13/32	26	.40625	10.319	29/32	58	.90625	23.019
	27	.421875	10.716		59	.921875	23.416
3/16	28	.4375	11.113	15/16	60	.9375	23.813
	29	.453125	11.509		61	.953125	24.209
15/32	30	.46875	11.906	31/32	62	.96875	24.606
	31	.484375	12.303		63	.984375	25.003
1/2	32	.500	12.700	1	64	.000	15.400

**Tabla XVI-28**  
**CONVERSION DE 11/32 DE PULGADA (HASTA 12")**  
**A DECIMALES DE PIE**

Pulgada	0'	1"	2"	3"	4'	5'
0	0	.0833	.1667	.2500	.3333	.4167
1/32	.0026	.0859	.1693	.2526	.3359	.4193
1/16	.0052	.0885	.1719	.2552	.3385	.4219
1/8	.0078	.0911	.1745	.2578	.3411	.4245
3/16	.0104	.0938	.1771	.2604	.3438	.4271
1/4	.0130	.0964	.1797	.2630	.3464	.4297
5/16	.0156	.0990	.1823	.2656	.3490	.4323
3/8	.0182	.1016	.1849	.2682	.3516	.4349
7/16	.0208	.1042	.1875	.2708	.3542	.4375
1/2	.0234	.1068	.1901	.2734	.3568	.4401
5/8	.0260	.1094	.1927	.2760	.3594	.4427
3/4	.0286	.1120	.1953	.2786	.3620	.4453
7/8	.0313	.1146	.1979	.2812	.3646	.4479
15/16	.0339	.1172	.2005	.2839	.3672	.4505
1	.0365	.1198	.2031	.2865	.3698	.4531
1 1/16	.0391	.1224	.2057	.2891	.3724	.4557
1 1/8	.0417	.1250	.2083	.2917	.3750	.4583
1 1/4	.0443	.1276	.2109	.2943	.3776	.4609
1 3/8	.0469	.1302	.2135	.2969	.3802	.4635
1 1/2	.0495	.1328	.2161	.2995	.3828	.4661
1 5/8	.0521	.1354	.2188	.3021	.3854	.4688
1 3/4	.0547	.1380	.2214	.3047	.3880	.4714
1 7/8	.0573	.1406	.2240	.3073	.3906	.4740
2	.0599	.1432	.2266	.3099	.3932	.4766
2 1/8	.0625	.1458	.2292	.3125	.3958	.4792
2 1/4	.0651	.1484	.2318	.3151	.3984	.4818
2 3/8	.0677	.1510	.2344	.3177	.4010	.4844
2 1/2	.0703	.1536	.2370	.3203	.4036	.4870
2 5/8	.0729	.1563	.2396	.3229	.4063	.4896
2 3/4	.0755	.1589	.2422	.3255	.4089	.4922
2 7/8	.0781	.1615	.2448	.3281	.4115	.4948
3	.0807	.1641	.2474	.3307	.4141	.4974

Tabla XVI-28 (Continuación)  
**CONVERSION DE n/32 DE PULGADA (HASTA 12")**  
**A DECIMALES DE PIE**

Pulgada	6"	7"	8"	9"	10"	11"
0	.5000	.5833	.6667	.7500	.8333	.9167
1/32	.5026	.5859	.6693	.7526	.8359	.9193
1/16	.5052	.5885	.6719	.7552	.8385	.9219
3/32	.5078	.5911	.6745	.7578	.8411	.9245
1/8	.5104	.5938	.6771	.7604	.8438	.9271
5/32	.5130	.5964	.6797	.7630	.8464	.9297
3/16	.5156	.5990	.6823	.7656	.8490	.9323
7/32	.5182	.6016	.6849	.7682	.8516	.9349
1/4	.5208	.6042	.6875	.7708	.8542	.9375
9/32	.5234	.6068	.6901	.7734	.8568	.9401
5/16	.5260	.6094	.6927	.7760	.8594	.9427
11/32	.5286	.6120	.6953	.7786	.8620	.9453
3/8	.5313	.6146	.6979	.7813	.8646	.9479
13/32	.5339	.6172	.7005	.7839	.8672	.9505
7/16	.5365	.6198	.7031	.7865	.8698	.9531
15/32	.5391	.6224	.7057	.7891	.8724	.9557
1/2	.5417	.6250	.7083	.7917	.8750	.9583
17/32	.5443	.6276	.7109	.7943	.8776	.9609
9/16	.5469	.6302	.7135	.7969	.8802	.9635
19/32	.5495	.6328	.7161	.7995	.8828	.9661
5/8	.5521	.6354	.7188	.8021	.8854	.9688
21/32	.5547	.6380	.7214	.8047	.8880	.9714
11/16	.5573	.6406	.7240	.8073	.8906	.9740
23/32	.5599	.6432	.7266	.8099	.8932	.9766
3/4	.5625	.6458	.7292	.8125	.8958	.9792
25/32	.5651	.6484	.7318	.8151	.8984	.9818
13/16	.5677	.6510	.7344	.8177	.9010	.9844
27/32	.5703	.6536	.7370	.8203	.9036	.9870
7/8	.5729	.6563	.7396	.8229	.9063	.9896
29/32	.5755	.6589	.7422	.8255	.9089	.9922
15/16	.5781	.6615	.7448	.8281	.9115	.9948
31/32	.5807	.6641	.7474	.8307	.9141	.9974

**Tabla XVI-29**  
**FACTORES DE CONVERSION—UNIDADES DE LONGITUD**

<b>Unidades</b>	<b>Pulgadas</b>	<b>Pies</b>	<b>Yardas</b>	<b>Rods</b>	<b>Millas</b>	<b>Metros</b>
1 Pulgada	1	0.08333	0.027778	0.005051	0.0000157828	0.0254
1 Pie	12	1	0.3333	0.060606	0.00018939	0.301801
1 Yarda	36	3	1	0.181818	0.000568182	0.914402
1 Rod (medida de agrimensur)	198	16.5	5.5	1	0.003125	5.029216
1 Milla (U S Statute)	63360	5180	1760	320	1	1609.347
1 Metro	39.37	3.280833	1.093611	0.198838	0.00062137	1
1 Link	7.92	0.66	0.22	0.04	0.000125	0.201168
1 Chain (cadena de agrimensur)	792	66	22	A	0.0125	20.117
1 Station	1200	100	33.33	6.060606	0.0189394	30.4801
1 Furlong	7920	660	220	40	0.125	201.168
1 Milla (náutica internacional)	72913	6076.103	2025.366	368.248	1.15078	1852
1 Milímetro	0.03937	0.003281	0.001094	0.000199	—	0.001
1 Centímetro	0.3937	0.032808	0.010936	0.001988	—	0.01
1 Kilómetro	—	3180.833	1093.611	198.836	0.611370	1000

**Tabla XVI-30**  
**FACTORES DE CONVERSION—UNIDADES DE SUPERFICIE**

<b>Unidades</b>	<b>Pulgadas cuadradas</b>	<b>Pl cuadrados</b>	<b>Yardas cuadradas</b>	<b>Rods cuadrados</b>	<b>Acre</b>	<b>Millas cuadradas</b>	<b>Metros cuadrados</b>
1 Pulgada cuadrada	1	0.006944	0.0007716	—	—	—	0.00064516
1 Pie cuadrado	144	1	01 1111	0.0036731	—	—	0.09290341
1 Yarda cuadrada	1296	9	1	0.033058	0.0002066	—	0.8361 307
1 Rod cuadrado	39204	272.25	30.25	1	0.00625	—	25.29295
1 Acre	—	43560	4840	160	1	0.001 5625	4046.873
1 Mila cuadrada	—	—	3697600	102400	640	1	1509990
1 Metro cuadrado	1550	10.76307	1.195985	0.0395367	0.0002471	—	1
1 Link cuadrado	62.7264	0.4316	0.0404	0.0016	0.00001	—	0.040468
1 Chain cuadrado	627264	4356	484	16	01	—	404.689
1 Square	14400	100	11.11 11	0.367309	0.0022936	—	9.29034
1 Section	—	—	3097600	102400	640	1	2589998
1 Centimetro cuadrado	01 549997	0.001 0764	0.0001 196	—	—	—	0.0001
1 Hectárea	—	107638.7	11959.05	395.367	2.471 044	0.003861	10000
1 Kilómetro cuadrado	—	—	1195905	39536.7	247.1044	0.3861006	1000000

Tabla XVI-31  
FACTORES DE CONVERSION—UNIDADES DE VOLUMEN

Unidades	Pulgadas cúbicas	Pies cúbicos	Yardas cúbicas	Pintas (líquidos)	Cuartos (líquidos)	Galones (U. S.)	Litro. (1.000 cm <sup>3</sup> )
1 Pulgada cúbica	1	0.000579	0.0000214	0.034632	0.017316	0.004329	0.016387
1 Pie cúbico	1728	1	0.037037	59.844	29.922	7.4805	28.31625
1 Yarda cúbica	46656	27	1	1615.8	807.9	201.975	764.54
1 Pinta (líquido)	28.875	0.016710	0.000619	1	0.5	0.125	0.473168
1 Cuarto (líquido)	57.75	0.033420	0.001238	2	1	0.25	0.946333
1 Galón (U. S.)	231	0.1336805	0.004951	8	4	1	3.78533
1 Litro (1000 cm <sup>3</sup> )	61.025	0.035316	0.001308	2.11336	1.056682	0.264178	1
1 Gill	7.21876	0.004177	0.000155	0.25	0.125	0.03125	0.118292
1 Pinta (árido)	33.6003	0.019445	0.000720	1.163647	0.581823	0.145456	0.550599
1 Cuarto (árido)	67.200625	0.038889	0.001440	2.32730	1.163646	0.290912	1.10120
1 Cuarto (imperial)	69.35503	0.040135	0.001486	2.4019	1.200953	0.300238	1.13650
1 Galón (imperial)	277.4201	0.16054	0.0059457	9.60762	4.80381	1.20095	4.54609
1 Peck	537.605	0.311114	0.011523	18.61835	9.309177	2.327294	8.809586
1 Bushel (U. S.)	2150.42	1.2444	0.046089	74.47341	37.23670	9.3092	35.238329
1 Pia Board	144	0.08333	0.003086	4.987012	2.493506	0.623376	2.3597
1 Cord	221184	121	4.74074	7660.051	3830.025	957.506	3614.48
1 Barril de petróleo	9701.975	5.614569	0.207947	336	168	42	158.9839
1 Barril (líquidos, U. S.)	7274.370	4.21086	0.15596	252	126	31.5	119.237895
1 Metro cúbico	61023.38	35.314445	1.307943	2113.4	1056.7	264.178	1000
1 Centímetro cúbico	0.061024	0.0000353	—	0.002113	0.001057	0.0002642	0.001

Tabla XVI-32  
FACTORES DE CONVERSION—UNIDADES DE PESO

Unidades	Onzas	Libras	Toneladas (Short)	Tonelada (Long)	Kilogramos	Tonelada (Métricas)
1 Onza	1	0.0625	—	—	0.028349	—
1 Libra	16	1	0.0005	0.0004464	0.4535924	0.00045359
1 Tonelada (short)	32000	2000	1	0.892857	907.18486	0.907185
1 Tonelada (long)	35840	2240	1.12	1	1016.047	1.016047
1 Kilogramo	35.27396	1.104612	0.001 1023	0.0009842	1	0.001
1 Tonelada (métrica)	35273.96	2204.62	1.10231	0.98421	1000	1
1 Hundredweight (short)	1600	100	0.05	0.044643	45.3592	0.045359
1 Hundredweight (long)	1792	112	0.056	0.05	50.8023	0.050802
1 Grano	0.0022857	—	—	—	—	—
1 Gramo	0.0352739	0.002204	—	—	0.001	—
1 Miligramo	—	—	—	—	0.000001	—

Tabla XVI-33

FACTORES DIVERSOS DE CONVERSION

Multiplicar	Por	Para obtener
Libras por pie	1,48816	Kilogramos por metro
Libras por pie cuadrado	4,88241	Kilogramos por metro cuadrado
Libras por pulgada cuadrada	0,07031	Kilogramos por cm cuadrado
Libras por pulgada cuadrada	0,0007031	Kilogramos por mm cuadrado
Libras por pie cúbico	16,0184	Kilogramos por metro cúbico
Radianes	57,29578	Grados
Caballos	550	Pies-Libras por segundo
Caballos	2544	B. T. U. por hora
Caballos	745.5	Wattios
B. T. U.	251.98	Calorías, gramo
B. T. U.	777.98	Pies-Libras
Pies por segundo	0,68182	Millas por hora
Millas por hora	88	Pies por minuto
Millas por hora	1,46667	Pies por segundo
Libras	444822	Dinas
Kilogramos	980665	Dinas
Atmósfera	1,0333	Kilogramos por cm cuadrado
Atmósfera	14,697	Libras por pulgada cuadrada
Atmósfera	29,921	Pulgadas de mercurio (0° C al nivel del mar)
Atmósfera	0,76	Metros de mercurio (0° C al nivel del mar)
Atmósfera	33,9	Pies de agua (4° C al nivel del mar)
Libras de agua por minuto	0,016021	Pies cúbicos por minuto
Pies cúbicos por minuto	0,12468	Galones por segundo
Fathoms	6	Pies
Grados por pie	0,00057261	Radianes por centímetro
Centímetros de mercurio	5,34	Pulgadas de agua (a 20° centígrados)

**Tabla XVI-34**  
**DENSIDAD Y VISCOSIDAD DEL AGUA**  
**A VARIAS TEMPERATURAS**

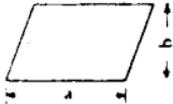
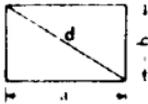
Temperatura		Densidad gr/ml	Densidad lbs/pe <sup>3</sup>	Viscosidad en centipoises
°C	°F			
-10	+14	0.99815	62.3128	2.60
-5	23	0.99930	62.3846	2.13
0	32	0.99987	62.4201	1.7921
+4	39.20	1.00000	62.4283	1.5674
5	41	0.99999	62.4276	1.5188
10	50	0.99973	62.414	1.3077
15	59	0.99913	62.38	1.1404
20	68	0.99823	62.34	1.0050
20.2	68.36	0.99819	62.3153	1.0000
25	77	0.99707	62.2453	0.8937
30	86	0.99567	62.1579	0.8007
35	95	0.99406	62.0574	0.7225
40	104	0.99224	61.9438	0.6560
45	113	0.99025	61.8196	0.5988
50	122	0.98807	61.6835	0.5494
55	131	0.98573	61.5374	0.5064
60	140	0.98324	61.3820	0.4688
65	149	0.98059	61.2165	0.4355
70	158	0.97781	61.0430	0.4061
75	167	0.97489	60.8607	0.3799
80	176	0.97183	60.6697	0.3565
85	185	0.96865	60.4711	0.3355
90	194	0.96534	60.2645	0.3165
95	203	0.96192	60.0510	0.2994
100	212	0.95838	59.8300	0.2838

**Tabla XVI-35**  
**AREAS DE LAS FIGURAS PLANAS**

**Cuadrado**

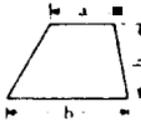


Diagonal =  $d = a\sqrt{2}$ .  
 Area =  $a^2 = 4b^2 = 0,5d^2$   
 Ejemplo:  $a = 6$ ;  $b = 3$ . Area =  $(6)^2 = 36$   
 $d = 6 \times 1.414 = 8,484$ .



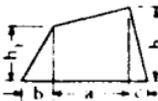
**Rectángulo y paralelogramo**

Area =  $ab$  o  $b\sqrt{d^2 - b^2}$   
 Ejemplo:  $a = 6$ ;  $b = 3$ .  
 Area =  $3 \times 6 = 18$ .



**Trapezio**

Area =  $\frac{1}{2}h(a + b)$   
 Ejemplo:  $a = 2$ ;  $b = 4$ ;  $h = 3$ .  
 Area =  $\frac{1}{2} \times 3(2 + 4) = 9$ .



**Cuadrilátero**

Area =  $\frac{1}{2}[a(h + h^1 + bh^1 + ch)]$   
 Ejemplo:  $a = 4$ ;  $b = 2$ ;  $c = 2$ ;  $h = 3$ ;  $h^1 = 2$ .  
 Area =  $\frac{1}{2}[4(3 + 2) + (2 \times 2) + (2 \times 3)] = 15$ .

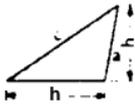


**Triángulo**

Las dos fórmulas son aplicables a ambas figuras.

Area =  $\frac{1}{2}bh$ .  
 Ejemplo:  $h = 3$ ;  $b = 5$ .  
 Area =  $\frac{1}{2}(3 \times 5) = 1\frac{1}{2}$ . Ans.

Area =  $\frac{\sqrt{S(S-a)(S-b)(S-c)}}{2}$  siendo  $S = \frac{a + b + c}{2}$



Ejemplo:  $a = 2$ ;  $b = 3$ ;  $c = 4$ .  
 $S = \frac{2 + 3 + 4}{2} = 4,5$

Area =  $\sqrt{4,5(4,5 - 2)(4,5 - 3)(4,5 - 4)} = 2,9$ .



Area	5 lados	=	1,720477	S <sup>2</sup>	=	3,63271	r <sup>2</sup>
	6 »	=	1,598150	Sí	=	3,46410	r <sup>2</sup>
	7 »	=	3,633815	Sí	=	3,37101	r <sup>2</sup>
	8 »	=	4,828427	Sí	=	3,31368	r <sup>2</sup>
	9 »	=	6,181875	Sí	=	3,27573	r <sup>2</sup>
	10 »	=	1,694250	Sí	=	3,24920	r <sup>2</sup>
	11 »	=	9,365615	Sí	=	3,22993	r <sup>2</sup>
	12 »	=	11,196300	Sí	=	3,21539	r <sup>2</sup>

Area =  $\frac{n}{4} S^2 \operatorname{ctg} \frac{180^\circ}{n} = \frac{n}{2} R^2 \operatorname{sen} \frac{360^\circ}{n}$   
 $= nr^2 \operatorname{tg} \frac{180^\circ}{n}$

Tabla XVI-35 (Continuación)

**Círculo**

$\pi = 3.1416$ ;  $A = \text{área}$ ;  $d = \text{diámetro}$ ;  $p = \text{circunferencia o perímetro}$ ;  $r = \text{radio}$ .

$$p = \pi d = 3.1416 d. \quad p = 2 \sqrt{\pi A} = 3.54 \sqrt{A}$$

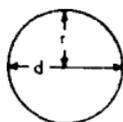
$$p = 2\pi r = 6.2832r. \quad p = \frac{2A}{r} = \frac{4A}{d}$$

$$d = \frac{p}{\pi} = \frac{p}{3.1416} \quad d = 2 \sqrt{\frac{A}{\pi}} = 1.128 \sqrt{A}$$

$$r = \frac{p}{2\pi} = \frac{p}{6.2832} \quad r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = 0.564 \sqrt{A}$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = 0.7854 d^2 \quad A = \frac{p^2}{4\pi} = \frac{p^2}{12.57}$$

$$A = \pi r^2 = 3.1416 r^2 \quad A = \frac{pr}{2} = \frac{pd}{4}$$



**Circular Ring**

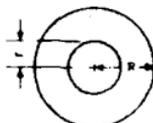
Area =  $\pi (R^2 - r^2) = 3.1416 (R^2 - r^2)$

Area =  $0.7854 (D^2 - d^2) = 0.7854 (D + d)(D - d)$

Area = Diferencias entre las áreas del círculo exterior y el interior.

Ejemplo:  $R = 4$ ;  $r = 2$ .

Area =  $3.1416 (4^2 - 2^2) = 37.6992$ .



**Cuadrante**

Area =  $\frac{\pi r^2}{4} = 0.7854 r^2 = 0.3927 c^2$ .

Ejemplo:  $r = 3$ ;  $c = \text{cuerda}$ .

Area =  $.7854 \times 3^2 = 7.0686$ .



**Segmento circular**

$b = \text{longitud del arco}$ .  $\theta = \text{ángulo en grados}$

$c = \text{cuerda} = \sqrt{4(2hr - h^2)}$

Area =  $\frac{1}{2} [br - c(r - h)]$

=  $\frac{\pi r^2 \theta}{360} - \frac{c(r - h)}{2}$

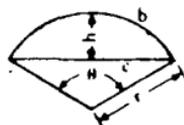
Cuando  $\theta$  es superior a  $180^\circ$  se añade  $\frac{c}{2} (r - h)$  a

la fracción  $\frac{\pi r^2 \theta}{360}$

Ejemplo:  $r = 3$ ;  $\theta = 120^\circ$ ;  $h = 1.5$

Area =  $3.1416 \times 3^2 \times \frac{120}{360} - \frac{5.196 (3 - 1.5)}{1}$

= 5.5278.



**Sector circular**

Area =  $\frac{br}{2} = \pi r^2 \frac{\theta}{360^\circ}$

$\theta = \text{ángulo en grados}$ ;  $b = \text{longitud del arco}$ .

Ejemplo:  $r = 3$ ;  $\theta = 120^\circ$

Area =  $3.1416 \times 3^2 \times \frac{120}{360} = 9.4248$ .



Tabla XVI-35 (Continuación)



**Enjuta**

Area =  $0,2146r^2 = 0,1073r^2$   
 Ejemplo:  $r = 3$   
 Area =  $0.2146 \times 3^2 = 1.9314$ .

**Parábola**

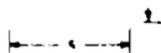
$l$  = longitud de la línea curva = perímetro  $\rightarrow g$   
 $l = \frac{g^2}{8A} [\sqrt{c(1+c)} + 2,0326 \times \log \sqrt{c + \sqrt{1+c}}]$

Donde  $c = \left(\frac{4h}{g}\right)^2$

Area =  $\frac{2}{3}gh$

Ejemplo:  $g = 3$ ;  $h = 4$

Area =  $\frac{2}{3} \times 3 \times 4 = 8$ .



**Elipse**

Area =  $\pi ab = 3,1416ab$ .



Perímetro =  $\pi(a+b) \frac{64-3\left(\frac{b-a}{b+a}\right)^2}{64-16\left(\frac{b-a}{b+a}\right)^2}$

Ejemplo:  $a = 3$ ;  $b = 4$ .

Area =  $3.1416 \times 3 \times 4 = 37,6992$ .

Perímetro =  $3,1416(4+3) \frac{64-3\left(\frac{4-3}{4+3}\right)^2}{64-16\left(\frac{4-3}{4+3}\right)^2}$

=  $3,1416 \times 7 \times \frac{7529389}{7491120} = 22,13$ .

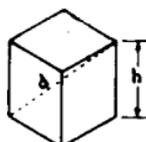
Tabla XVI-36

**VOLUMEN Y SUPERFICIE DE LOS SOLIDOS**

**Símbolos**

- V = Volumen
- S = Superficie lateral
- T = Superficie total
- B = Area de la base
- P = Perímetro de la sección recta
- P<sub>b</sub> = Perímetro de la base
- A = Area de la sección recta
- l = Longitud de la generatriz
- h = Altura
- d = Longitud de la diagonal

**Cubo**



$V = h^3$

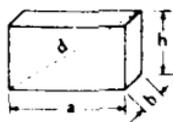
$T = 6h^2$

$S = 4h^2$

$d = h\sqrt{2}$

Tabla XVI-36 (Continuación)

**Prisma rectangular**



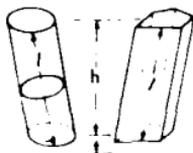
$$V = abh$$

$$T = 2(ab + ah + bh)$$

$$S = 2(ah + bh)$$

$$d = \sqrt{a^2 + b^2 + h^2}$$

**Prisma o cilindro, recto u oblicuo, bases paralelas**

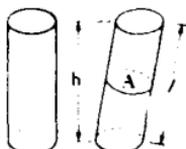


$$Y = \frac{Al}{h}$$

$$T = Pl + 2B$$

(Nota:  $A = B$ ,  $P = Pb$  y  $l = h$  en los cilindros y prismas rectos)

**Cilindro recto u oblicuo, circular o de cualquier otro tipo con bases paralelas**



$$V = Bh \text{ (Cilindro recto)}$$

$$V = Al \text{ (Cilindro oblicuo)}$$

$$S = Phh \text{ (Cilindro recto)}$$

$$S = Pl \text{ (Cilindro oblicuo)}$$

$$T = Phh + 2B \text{ (Cilindro recto)}$$

$$T = Pl + 2B \text{ (Cilindro oblicuo)}$$

**Tronco de prisma o cilindro**

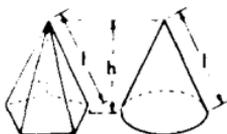


$$V = Bh_1 \text{ (donde } h_1 \text{ es la altura del centro de gravedad de la base superior sobre la base inferior)}$$

o, para el cilindro,

$$V = \frac{A}{2} (l_1 + l_2)$$

**Pirámide o cono recto y regular**

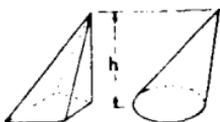


$$V = \frac{Bh}{3}$$

$$S = \frac{Pl}{2}$$

$$T = \frac{Pl}{2} + B$$

**Pirámide o cono, recto u oblicuo, regular o irregular**



$$Y = \frac{Bh}{h}$$

Tabla XVI-36 (Continuación)

Trenco de pirámide o cono recto, regular, bases paralelas

$$V = \frac{h}{3} (B + B_1 + \sqrt{BB_1})$$

$$S = \frac{l}{2} (P_b + P_T)$$

$$T = \frac{l}{2} (P_b + P_T) + B + B_1$$



Donde  $B_1$  = Área de la base superior  
 $P_T$  = Perímetro de la base superior

Trenco cualquier pirámide o cono con bases paralelas

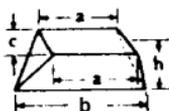
$$V = \frac{h}{3} (B + B_1 + \sqrt{BB_1})$$

Donde  $B_1$  = Área de la base superior



Cuña regular

$$V = \frac{ch}{6} (2a + b)$$



Esfera

$$V = \frac{4\pi r^3}{3}$$

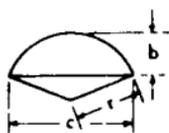
$$S = 4\pi r^2$$



Sector esférico

$$S = \frac{1}{2} \pi r (4b + c)$$

$$V = \frac{2}{3} \pi r^2 b$$

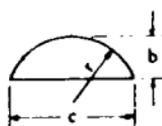


Segmento esférico

$$S = 2\pi r b = \frac{1}{4} \pi (4b^2 + c^2)$$

$$V = \frac{1}{3} \pi b^2 (3r - b)$$

$$= \frac{1}{24} \pi b (3c^2 + 4b^2)$$



**Tabla XVI-36 (Continuación)**

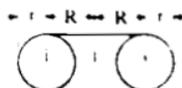
**Zona esférica**



$$S = 2\pi r b$$

$$V = \frac{1}{24} \pi b (3a^2 + 3c^2 + 4b^2)$$

**Toro**



$$S = 4\pi^2 R r$$

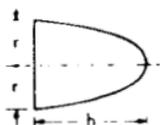
$$V = 2\pi^2 R r^2$$

**Elipsoide**



$$V = \frac{1}{3} \pi a b c$$

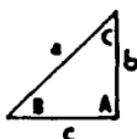
**Paraboloide**



$$V = \frac{1}{2} \pi r^2 h$$

Tabla XVI-37

RELACIONES TRIGONOMETRICAS Y RESOLUCION  
DE LOS TRIANGULOS RECTANGULOS



Como se indica en la ilustración, se designan los lados del triángulo rectángulo con las letras  $a, b, c$ . Los ángulos opuestos a cada uno de estos lados se designan respectivamente con las letras  $A, B$  y  $C$ . El ángulo  $A$ , opuesto a la hipotenusa  $a$ , es el ángulo recto, y por lo tanto siempre es una cantidad conocida.

Lados y ángulos conocidos	Expresiones a emplear para obtener los ángulos y lados restantes		
Lados $a$ y $b$ . . .	$c = \sqrt{a^2 - b^2}$	$\text{sen } B = \frac{b}{a}$	$C = 90^\circ - B$
Lados $a$ y $c$ . . .	$b = \sqrt{a^2 - c^2}$	$\text{sen } C = \frac{c}{a}$	$B = 90^\circ - C$
		$\text{tg } B = \frac{b}{c}$	$C = 90^\circ - B$
		$c = a \times \text{cos } B$	$C = 90^\circ - B$
		$c = a \times \text{sen } C$	$B = 90^\circ - C$
Lado $b$ ; Angulo $B$	$a = \frac{b}{\text{sen } B}$	$c = b \times \text{ctg } B$	$C = 90^\circ - B$
Lado $b$ ; Angulo $C$	$a = \frac{b}{\text{cos } C}$	$c = b \times \text{tg } C$	$B = 90^\circ - C$
Lado $c$ ; Angulo $B$	$a = \frac{c}{\text{cos } B}$	$b = c \times \text{tg } B$	$C = 90^\circ - B$
	$\frac{c}{\text{sen } C}$	$b = c \times \text{ctg } C$	$B = 90^\circ - C$

Tabla XVI-38  
**FUNCIONES TRIGONOMETRICAS**

Angulo	sen	cos	tg	Angulo	sen	cos	tg
0	0.000	1.000	0.000	46	0.719	0.699	1.04
1	0.017	0.999	0.017	47	0.731	0.682	1.07
2	0.035	0.999	0.035	48	0.743	0.669	1.11
3	0.052	0.999	0.052	49	0.755	0.656	1.15
4	0.070	0.990	0.070	50	0.766	0.643	1.19
5	0.087	0.996	0.087	51	0.777	0.629	1.23
6	0.105	0.999	0.105	52	0.788	0.616	1.28
7	0.122	0.993	0.123	53	0.799	0.602	1.33
8	0.109	0.990	0.141	54	0.009	0.588	1.38
9	0.156	0.988	0.158	55	0.819	0.574	1.43
10	0.174	0.985	0.176	56	0.829	0.559	1.48
11	0.191	0.981	0.194	57	0.839	0.545	1.54
12	0.208	0.978	0.213	58	0.848	0.530	1.60
13	0.225	0.974	0.231	59	0.857	0.515	1.66
14	0.242	0.970	0.249	60	0.066	0.500	1.73
15	0.259	0.966	0.268	61	0.875	0.485	1.80
16	0.276	0.961	0.287	62	0.883	0.469	1.88
17	0.292	0.956	0.306	63	0.891	0.454	1.96
18	0.309	0.951	0.325	64	0.099	0.438	2.05
19	0.326	0.946	0.344	65	0.906	0.423	2.14
20	0.342	0.940	0.364	66	0.914	0.407	2.25
21	0.358	0.934	0.384	67	0.921	0.391	2.36
22	0.375	0.927	0.404	68	0.927	0.375	2.48
23	0.391	0.921	0.424	69	0.934	0.358	2.61
24	0.407	0.914	0.445	70	0.940	0.342	2.75
25	0.423	0.906	0.466	71	0.946	0.326	2.90
26	0.438	0.899	0.488	72	0.951	0.309	3.08
27	0.454	0.891	0.510	73	0.956	0.292	3.27
28	0.469	0.883	0.532	74	0.961	0.276	3.49
29	0.485	0.875	0.554	75	0.966	0.259	3.70
30	0.500	0.866	0.577	76	0.970	0.242	3.91
31	0.515	0.857	0.601	77	0.974	0.225	4.13
32	0.530	0.848	0.625	78	0.978	0.208	4.37
33	0.545	0.839	0.649	79	0.982	0.191	4.61
34	0.559	0.829	0.673	80	0.985	0.174	4.87
35	0.574	0.819	0.700	81	0.988	0.156	5.14
36	0.588	0.809	0.727	82	0.990	0.139	5.42
37	0.602	0.799	0.754	83	0.992	0.122	5.71
38	0.616	0.788	0.781	84	0.995	0.105	6.01
39	0.629	0.777	0.810	85	0.996	0.087	6.31
40	0.643	0.766	0.839	86	0.998	0.070	6.62
41	0.656	0.755	0.869	87	0.999	0.052	6.94
42	0.669	0.743	0.900	88	0.999	0.035	7.27
43	0.682	0.731	0.933	89	0.999	0.017	7.61
44	0.695	0.719	0.966	90	1.000	0.000	Infinito
45	0.000	0.000	1.000				

**Tabla XVI-39**  
**NORMAS PARA LOS TAMICES U. S. STANDARD Y EQUIVALENTES APROXIMADOS**  
**DE LAS ABERTURAS CUADRADAS Y REDONDAS**

TAMICES U. S. STANDARD						
EXIGENCIAS NORMALIZADAS PARA CIERTOS TAMAÑOS						
Tamaño del tamiz Designación	Abertura del tamiz		Variación admisible en la abertura media %	Variación admisible en la abertura máxima %	Diámetro del alambre	
	mm	Pulgadas (equivalentes aproximados)			mm	Pulgadas (equivalentes aproximados)
3 in.....	76.2	3.00	±2	+3	4.8 o 8.1	0.190 o 0.320
2½ in.....	63.5	2.50	±2	+3	4.4 o 7.1	0.175 o 0.280
2 in.....	50.8	2.00	±2	+3	4.1 o 6.2	0.160 o 0.245
1½ in.....	38.1	1.50	±2	+3	3.7 a 5.3	0.145 o 0.210
1¼ in.....	31.7	1.25	±2	+3	3.5 o 4.8	0.140 o 0.190
1 in.....	25.4	1.00	±3	+5	3.43 a 4.50	0.135 o 0.177
¾ in.....	19.1	0.750	±3	+5	3.10 o 3.91	0.122 o 0.154
½ in.....	12.7	0.500	±3	+5	2.39 o 3.10	0.094 o 0.122
⅜ in.....	9.52	0.375	±3	+5	2.11 o 2.59	0.083 o 0.102
¼ in (Núm 3).....	6.35	0.250	±3	+5	1.60 o 2.11	0.063 o 0.083
Núm 4.....	4.76	0.187	±3	+10	1.14 o 1.68	0.045 o 0.066
Núm 8.....	2.38	0.0937	±3	+10	0.74 o 1.10	0.0291 o 0.0433
Núm 10.....	2.00	0.0787	±3	+10	0.68 o 1.00	0.0268 o 0.0394
Núm 16.....	1.19	0.0469	±3	+10	0.50 o 0.70	0.0197 o 0.0276
Núm 20.....	0.84	0.0331	±3	+15	0.38 a 0.55	0.0150 o 0.0217
Núm 30.....	0.59	0.0232	±5	+15	0.29 o 0.42	0.0114 o 0.0165

Núm. 40 .....	0.42	0.0165	± 5	+25	0.23 o 0.33	0.0091 o 0.0130
Núm. 50 .....	0.297	0.0117	± 5	+25	0.170 o 0.253	0.0067 o 0.0100
Núm. 80 .....	0.177	0.0070	± 6	+40	0.114 o 0.154	0.0045 o 0.0061
Núm. 100 .....	0.149	0.0059	± 6	+40	0.096 o 0.125	0.0038 o 0.0049
Núm. 200 .....	0.074	0.0029	± 7	+60	0.045 o 0.061	0.0018 o 0.0024

**EQUIVALENCIAS APROXIMADAS DE LAS ABERTURAS REDONDAS Y CUADRADAS**

Pulgadas		Pulgadas	
Cuadradas	Redondas	Cuadradas	Redondas
2 1/2	3 1/2	3/8	3/8
2 1/4	3	3/8	3/8
2	2 1/2		3/8
1 3/4	2 3/8		1/2
1 1/2			3/8
1 1/4		3/8 (Núm. 4)	

Tabla XVI-40

PROCEDIMIENTO APROXIMADO PARA TRANSFORMAR UNA ESPECIFICACION QUE INDIQUE LOS PORCENTAJES QUE PASAN Y SON RETENIDOS POR LOS DISTINTOS TAMICES, A UNA ESPECIFICACION EQUIVALENTE QUE INDIQUE LOS PORCENTAJES TOTALES QUE PASAN

Especificación de partida				P w I		Paso 2		Paso 3		Paso 4		
Paso por el tamiz	Retenido en el tamiz	Porcentaje total		Tamaño del tamiz	Porcentaje acumulativo que pasa, tamaños finos a gruesos		Porcentaje acumulativo retenido, tamaños gruesos a finos		Porcentaje acumulativo que pasa, tamaños gruesos a finos		Especificación equivalente expresada en porcentajes totales que pasan	
					Mk.	Moi.	Min.	Max.	Mk.	Moi.		
Col. Núm. 1	Col. Núm. 2	Col. Núm. 3	Col. Núm. 4	Col. Núm. 5	Col. Núm. 6	Col. Núm. 7	Col. Núm. 8	Col. Núm. 9	Col. Núm. 10	Col. Núm. 11	Col. Núm. 12	Col. Núm. 13
				1 1/2 in.	63	100+						
1 1/2 in.	1 in.	0 — 18		1 in.	63	100+	0	18	100	82	82	— 100
1 in.	3/4 in.	4 — 11		3/4 in.	59	100+	4	29	96	71	71	— 96
3/4 in.	1/2 in.	5 — 12		1/2 in.	54	93	9	41	91	59	59	— 91
1/2 in.	3/8 in.	3 — 9		3/8 in.	51	84	12	50	88	50	51	— 84
3/8 in.	# 4	9 — 13		# 4	42	71	21	63	79	37	42	— 71
# 4	# 8	10 — 14		# 8	32	57	31	77	69	23	32	— 57
# 8	# 16	8 — 12		# 16	24	45	39	89	61	11	24	— 45

# 16	# 30	7 — 11	#30	17	34	46	100+	54	0	17 — 34
# 30	# 50	6 — 10	# 50	11	24	52	100+	40	0	11 — 24
# 50	# 100	5 — 9	# 100	6	15	57	100+	43	0	6 — 15
# 100	# 200	4 — 8	# 200	2	7	61	100+	39	0	2 — 7
# 200		2 — 7								

NOTAS: La columna 5 es la columna 2 repetida por claridad.

La columna 6 se obtiene sumando la valores de la columna 3 de fino a grueso.

La columna 7 se obtiene sumando los valores de la columna 4 de fino a grueso.

La columna 8 se obtiene sumando la valores de la columna 3 de grueso a fino.

La columna 9 se obtiene sumando la vdom de la columna 4 de grueso a fino.

La columna 10 se obtiene restando los valores de la columna 8 de 100 (por ejemplo: columna 10 = 100 — columna 8).

La columna 11 se obtiene restando los vdom de la columna 9 de 100 (esto es, columna 11 = 100 — columna 9).

La valores de la columna 12 se obtienen seleccionando el mayor de los valores contenidos en la columna 6 o en la columna 11 (nto es, columna 12 = valor máximo de columna 6 y columna 11).

La valores de la columna 13 se obtienen seleccionando el más pequeño de la números de la columna 7 o de la columna 10 (wto es, columna 13 = valor mínimo de columna 7 y columna 10).

Cuando se emplean más o menos tamices pueden cambiarse las columnas 3, 4 y 5 teniendo en cuenta la variación.

Generalmente se emplean como límites de las especificaciones en las columnas 3 y 4 y en las 12 y 13 cifras redondeadas. Las cifras indicadas en esta tabla se eligieron para hacer más clara la exposición del método.

Se observará que una especificación muy estrecha por el método que indica porcentajes que pasan y retenidos, da una especificación mucho más amplia por el método de porcentaje total que pasa. Esta propiedad del método del porcentaje total que pasa de dar un control muy estrecho de la granulometría con márgenes razonables en el tamaño de los tamices, es una de sus más importantes ventajas.

## APENDICE A

### Clasificación de materiales

**A.01 EXPLORACIONES Y SONDEOS.** El estudio de los materiales debe incluir un número de sondeos suficiente para permitir la identificación de los diversos tipos de suelos que es probable se encuentren, tanto bajo el camino en estudio como en las zonas adyacentes de las que pueda tomarse material. Una investigación preliminar aprovechando perfectamente las zanjas o trincheras abiertas existentes y empleando la fotografía aérea indicará las zonas generales de cada tipo de suelo, haciendo posible situar los sondeos de tal forma que pueda obtenerse la máxima información del mínimo número de perforaciones. La profundidad de éstas debe ser como mínimo igual a la de penetración de las heladas o, cuando se prevea la necesidad de desmontes, hasta una profundidad de 1,80 m por debajo de la rasante del camino previsto. En las zonas de las que haya de tomarse material los sondeos deben profundizarse hasta bastante por debajo de la máxima profundidad a que haya de extraerse material. Los datos obtenidos de estas perforaciones deben ser suficientes para dibujar perfiles del suelo e identificar los principales suelos existentes en la zona. A continuación deben hacerse ensayos detallados del material obtenido de perforaciones o pozos de sondeo en zonas representativas de cada tipo de suelo. Los tipos de ensayo necesarios dependen del método de clasificación seleccionado, como se discutió en el capítulo V y se indica a continuación.

**A.02 SISTEMAS DE CLASIFICACION.** Los sistemas de clasificación de materiales empleados en este Manual son los siguientes:

- a) Clasificación AASHO. Véase \*Standard Recommended Practice for the Classification of Soils-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes\*, AASHO Designation M145, **part I, Especificaciones, The American Association of State Highway Officials.**
- b) Clasificación de suelos Unified. Véase el apéndice B de *Technical Memorandum* 3-357, \*The Unified Soil Classification System, Characteristics of Soils Groups Pertaining to Roads and Airfields\*, publicado por The Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, Department of the Army, Vicksburg, Mississippi.
- c) Valor resistente (R). Véase *Laboratory Manuals for California Standard Test Procedures* (método de ensayo 301 A), publicado por The Materials and Research Department, California Division of Highways, Sacramento, California. Véase también *Triaxial Testing of Soils and Bituminous Mixtures*, ASTM Special Technical Publication, num. 106, págs. 36-45.

- d) Valor portante de California (CBR).—Véase el apéndice B, *Engineering Manual for Military Construction, parte XII, capítulo 2, Airfield Pavement Dering-Flexible Pavements*.
- e) Valor portante en kg/cm<sup>2</sup>. Placa de 30 cm de diámetro. Deflexión de 0,5 cm, 10 repeticiones.—Véase «ASTM Method of Test Designation D1195», *ASTM Standards*. Véase también «A Cooperative Study of Structural Design of Non-Rigid Pavements», por A. C. Benkieman y F. R. Olmstead, *Public Roads*, vol. 25, núm. 2, diciembre 1947, páginas 21-29.

## INDICE ALFABETICO

- Abrasión (Desgaste), **59** (figura III-11), **60** (fig. III-12).
- Aeropuertos:
- cálculo de espesores para pavimentos, **116**.
- Alimentación en frío, **182**.
- Apisonado de prueba, **173-176**.
- Areas de contacto:
- y presiones, neumáticos de compactador, **162** (Tabla VIII-1).
  - y anchuras, comparación para cargas por rueda comparables y presión de contacto para, **167** (tabla VIII-4).
- Areas de las figuras planas, **454** (tabla XVI-35).
- Aridos:
- arrastre, **191**.
  - base, subbase, selección para estructuras de pavimentos, **109**.
  - corrección por peso específico de los, **225**.
  - dispositivo para tornar muestras, **194** (fig. VIII-13); **194** (fig. VIII-14).
  - dosificación, áridos y asfaltos para tratamientos superficiales simples y riegos de sellado, **249, 250** (tabla VIII-12).
  - dosificación, mezcla en planta continua, **205**.
  - ensayos, **56**.
  - especificaciones, **83**.
  - exigencias en el macadam por penetración empleando betún asfáltico o asfalto fluidificado pesados, **220** (tabla VIII-10).
  - extendedores, **135**.
  - extensión, en tratamientos superficiales, **249**.
  - filler mineral, **92**.
  - finos, **32, 91**.
  - generalidades, **56**.
  - graduados, **32**.
  - granulometría abierta, **32**.
  - granulometría cerrada, **32**.
  - gruesos, **32, 83**.
  - macadam, **32**.
  - mezcla *in situ*, **235**.
  - machacados, **237**.
  - muestras de las tolvas, **192**.
  - orden de descarga de las tolvas, **201**.
  - secador, **187, 188** (figura VIII-11).
  - secos, peso por metro cúbico para áridos de diferente peso específico y diversos contenidos de huecos, **432** (tabla XVI-18).
  - transformación de granulometría \*pasa-queda a su equivalente total que pasar, **464** (tabla XVI-40).
  - tratamientos superficiales antideslizantes, **262**.
- Asfalto:
- aceras, **300**
  - almacenaje, **180**.
  - — calentamiento y circulación, **195**.
  - — tubería de retorno, **196** (fig. VIII-16).
  - — medidas de tanques, **193**.
  - aplicación,
  - — planta discontinua, **198**.
  - — plantas de mezcla continua, **205**.

- arena-asfalto, 31.
  - bloques, 30
  - bombas para, 206 y 208.
  - cantidades de asfalto y áridos en tratamientos superficiales simples y capas de sellado, 249, 250 (tabla VIII-12).
  - cantidades necesarias para diversas anchuras y litros por metro cuadrado; galones por 100 pies lineales, 415 (tabla XVI-5); galones por milla, 416 (tabla XVI-6).
  - cubiertas asfálticas «in situ», 372.
  - empleos,
    - — base de hormigón extendida con un anejo especial para ensanchar una carretera, 269 (fig. IX-1).
    - — generalidades, 25 (tabla 1-1), 26 (tabla 1-2).
    - — varios, 370-402.
    - — productos asfálticos, 26 (tabla 1-2).
    - — en vías férreas, 316-320.
  - ensayos, 38.
  - fieltros asfálticos para cubiertas, superficie mineral, 371; superficie *lisa*, 372.
  - fluidificado, 28, 48.
  - historia, 21.
  - **macadam**, 225.
    - — exigencias en la construcción de macadam por penetración empleando **benin** asfáltico o asfalto fluidificado pesados, 230 (tabla VIII-10).
  - mezclas en frío, caminos particulares, 332.
  - maquinaria de pavimentación, 140.
  - natural, 21, 29.
  - **obras** hidráulicas, 336, 367.
  - pavimentos de asfalto y aserrín, terrenos de juego, 316.
  - placas asfálticas («shingles»), 371; coloreadas, protección del viento para, 373.
  - propiedades, 21.
  - recargo asfáltico, 35.
  - **roca**, 21, 31.
  - **sheet**, 36.
  - tableros asfálticos, 13, 314.
- Bacheo profundo (reparación permanente), 278.
- Baches, 280.
- Bordillos asfálticos, 295, 300.
- Calentadores, 128.
- Clasificación AASHO, 466.
- Caminos particulares:
  - calzada pavimentada, 330.
  - espesor de pavimento, 333 (tabla XIII-3).
  - pavimentados con asfalto, 238, 334 (fig. XIII-1).
- Cantidades,
  - exigencias de áridos y asfalto para construcción de macadam por penetración empleando **benin** asfáltico o asfalto fluidificado pesados, 230 (tabla VIII-10).
  - asfalto y áridos, tratamientos superficiales simples y riegos de sellado, 250 (tabla VIII-12)
- Colector de polvo, 189.
  - paliativos, 246.
- Compactación, 156-177.
  - con llanta neumática, 161.
  - inicial, 223.
- Compactadores,
  - **tipos**, 147 (fig. VII-10).
  - vibratorios, 143-170.
  - por amasado (laboratorio), 67 (fig. III-14).
- Comparación de viscosidades, 49 (fig. III-7).
- Conservación, 274-288.
- Construcción,
  - por etapas, carreteras, 267.
  - por mezcla «in situ», 235-244.
- Control de la erosión,
  - arroyos y lagos, 352.
- Conversiones,
  - °F a °C y °C a °F, 426 (tabla XVI-16).
  - unidades de viscosidad, 106 (fig. IV-6).
  - medidas lineales,

- — pies a millas y millas a pies, **444** (tabla XVI-26).
- — decimales de pulgada por 1 64 de pulgada, 445 (tabla XVI-27).
- — decimales de pie por 1 32 de pulgada, 446 (tabla XVI-28).

#### Definiciones,

- arena-asfalto, **31**.
  - asfalto, **28**.
  - asfalto fillerizado, **28**.
  - asfalto líquido, **28**.
  - asfalto natural, **29**.
  - asfalto oxidado, **30**.
  - asfalto de petróleo, **28**.
  - asfalto soplado, **30**.
  - base asfáltica, **32**.
  - betún, **30**.
  - betún asfáltico, **30**.
  - capa de base, **32**.
  - emulsión asfáltica, **29**.
  - filler, **33**.
  - fluxante, **30**.
  - hormigón asfáltico, **33**.
  - imprimación, **33**.
  - lechada asfáltica, **34**.
  - macadam asfáltico, **34**.
  - mástico asfáltico, **34**.
  - paneles asfálticos, **31**.
  - pintura asfáltica, **31**.
  - recargo asfáltico, **35**.
  - riego en negro, **36**.
  - road oil, **29**.
  - roca asfáltica, **31**.
  - sellado asfáltico, **36**.
  - sheet asphalt, **36**.
  - subbase, **36**.
  - tratamientos superficiales, **36**.
- Densidad, **74-78**.
- y pesos específicos de diversos materiales sólidos y líquidos, **444** (tabla XVI-26).
  - viscosidad del agua a diversas temperaturas, **453** (tabla XVI-34).
- Destilación, 49-50 (fig. III-9), **51**.
- Diques, **359**.
- Distribuidor, asfalto, **130, 131** (fig. VII-2).

Diagrama de fabricación de los productos asfálticos, **22** (figura I-1).

Drenaje, **115**.

- límites granulométricos para material de filtro, **152**.
- sistemas de, **154-155** (figuras VIII-1 y VIII-2).

Ductilidad, **46** (fig. 111-6).

Emulsiones asfálticas, **54**.

- ensayos,
- — demulsibilidad, **54**.
- — mezcla con cemento, **56**.
- — peso específico, **51**.
- — residuo, **56**.
- — sedimentación, **54**.
- — tamizado, **55**.
- — viscosidad, **54**.

Empleos principales de los productos asfálticos, **26** (tabla I-2).

Ensanche de carreteras antiguas, **269**.

Ensayo de desgaste Los Angeles, **59**.

— máquina de desgaste, **60** (fig. 111-12).

Equivalente de arena, **59**.

Escobas y equipo de limpieza, **129**.

Escolleras, **359**.

Especificaciones empleadas generalmente, **80-82**.

- áridos minerales, **81**.
- asfalto de curado lento, **81**.
- asfalto fluidificado, **80**.
- betún asfáltico, **80**.
- emulsión, **81**.
- mezclas para pavimentación, **81**.

Espesores,

- control de, **220**.
- proyecto, **108**.
- zonas de aparcamiento, automóviles de turismo, **322** (tabla XIII-1).
- camiones pesados, **322** (tabla XIII-2).

Extendedor de gravilla, techados, **378**.

Exudación e inestabilidad, **281**.

Factores de conversión,  
— medidas de longitud, 448 (tabla XVI-29).  
— medidas de peso, 451 (tabla XVI-32).  
— medidas de superficie, 449 (tabla XVI-30).  
— medidas de volumen, 450 (tabla XVI-31).  
— varios, 452 (tabla XVI-33).  
Figuras planas, áreas de, 454 (tabla XVI-35).

Gilsonita, 30.  
Granulometrias, 90 (tabla IV-6).

Humedad,  
— control, 150.  
— efectos del hielo, 115  
— en áridos, 64

### Juntas,

— de pavimentación, 218  
— longitudinales, 222.  
— transversales, 221.

Lastre y carga, apisonado de prueba, 175.

Lechada asfáltica, 255.  
— composición, 255.  
— sellados, aplicación con caja extendedora, 258 (fig. VIII-24) calle Washington, D.C., 258 (fig. VIII-23).

Límites de ensayo, criterios sugeridos, 100 (tabla IV-9).

### Macadam,

— asfáltico, 225-235.  
— por penetración,  
— — exigencias para áridos y asfalto empleando ~~bet~~ asfáltico o asfaltos fluidificados pesados, 230 (tabla VIII-10).  
— — empleando betún asfáltico, 229.  
— — empleando asfalto emulsificado o asfaltos fluidificados ligeros, 232.

Máquina para construir bordillos, 296.

Materiales asfálticos,  
— betún, 30.  
— en polvo, 28.  
— fillerizados, 28.  
— fluxante, 30.  
— Gilsonita, 30.  
— imprimación, 31.  
— líquidos, 28 (fig. I-2).  
— natural, 29.  
— pintura, 31.  
— relleno de juntas, 30.  
— sólidos, 30.

Método de extracción centrífuga, 77, 211.

Método Hubbard-Field, 71.  
— proyecto de mezclas, 118.  
— ensayo de estabilidad, 71.

Método Hveem, 66.  
— cohesiómetro, 69 (fig. 111-16).  
— equivalente centrífugo de keroseno (CKE), 66.  
— estabilómetro, 68 (fig. III-15).

Método Marshall, 64.  
— estabilidad y ensayo de fluencia, 65 (fig. 111-13).

Mezclado con cemento (Ensayo), 56.

Motocines, 392.

Muestras de las tolvas, 192.  
— proceso de retirada, planta discontinua, 201.

Neumáticos para compactador,  
— áreas de contacto y presión para diversas presiones de inflado y cargas por rueda, 162 (tabla VIII-1).  
— comparación de áreas de contacto y anchuras, 167 (tabla VIII-4).

Obras hidráulicas, 336-359.

Pavimentación de orillas, 354 (fig. XIV-8).

Pavimentadoras, 140.  
— esquema, 137 (fig. VII-7).  
— marcas, 141.

— — Blaw-Knox, Barber-Greene, Cedarapids, Pioneer, 144 (fig. VII-8).

Pavimento asfáltico compactado,

- relaciones peso/volumen para diversos tipos, 433 (tabla XVI-19).
- Penetración, 39 (fig. III-1).
- Pies lineales cubiertos por:
- una tonelada de material para diversas anchuras y dosificaciones, en libras por yarda cuadrada, 438 (tabla XVI-23).
  - tanque de cualquier capacidad para diversas anchuras y dosificaciones, en galones por yarda cuadrada, 424 (tabla XVI-14).
  - tanques de diversas capacidades para diversas anchuras y dosificaciones, en galones por yarda cuadrada.
  - — tanque de 600 galones, 417 (tabla XVI-7).
  - — tanque de 800 galones, 418 (tabla XVI-8).
  - — tanque de 1000 galones, 419 (tabla XVI-9).
  - — tanque de 1200 galones, 420 (tabla XVI-10).
  - — tanque de 1500 galones, 421 (tabla XVI-11).
  - — tanque de 2000 galones, 422 (tabla XVI-12).
  - — tanque de 2500 galones, 423 (tabla XVI-13).
- Planta asfáltica **continua**, 139 (fig. VII-7), 205-215.
- Planta asfáltica discontinua, 198-205.
- balanzas de comprobación, 198.
  - dispositivo de control del tiempo, 204.
  - distribución del asfalto, 201; medidas, 200.
  - mezclador, 202.
  - orden de descarga de las tolvas, 201.
  - plan de toma de muestras y ensayos, 209 (tabla VIII-7).
  - tiempo de mezclado, 204.
- Presiones de contacto,
- neumáticos para camión -de alta presión, 166 (tabla VII-3).
  - neumáticos para camión de tipo convencional, 165 (tabla VIII-2).
- Relleno, construcción de bordillos, 299.
- Revestimiento de presas, 365.
- Revestimiento de tuberías, 394.
- Revestimientos prefabricados para canales, 346-349.
- Secador, áridos, 187.
- Sellados,
- con gravilla, 275.
  - con membrana asfáltica, 343.
  - en negro, 36.
- Suelos industriales, 392.
- Temperaturas de aplicación, 101.
- Terrenos de juego, 378-381.
- Washington, 379 (fig. XV-3).
- Tiempo de mezclado,
- planta continua, 207.
  - planta discontinua, 204.
- Tráfico,
- análisis, 111.
- Vagón tanque, 408,
- serpiente doble, 408 (figura XVI-2).
  - serpiente sencillo, 407 (figura XVI-1).
- Valor **portante** de California (CBR), 109.
- Vaso abierto Cleveland, ensayo de punto de inflamación, 43 (fig. III-2).
- Viscosidades,
- comparación de, 49 (figura 111-7).
- Zonas de aparcamiento, 321-328.
- espesor de pavimento para vehículos de turismo, 322 (tabla XIII-1); para camiones pesados, 322 (tabla XIII-2).

# .MIEMBROS DEL INSTITUTO DEL ASFALTO

1.0 de abril de 1962

El Instituto del Asfalto es una Sociedad Internacional sin fines lucrativos sustentada por fabricantes de asfalto de petróleo de todo el mundo para servir a quienes utilizan y producen los materiales asfálticos, mediante programas de servicio técnico, investigación y enseñanza. Sólo pueden ser miembros quienes refinan crudos petrolíferos para la obtención de asfalto. Los miembros del Instituto producen materiales de calidad y defienden la construcción de alta calidad y la adecuada conservación.

ALLIED MATERIALS CORPORATION

*Oklahoma City*

AMERICAN BITUMULS & ASPHALT COMPANY

*San Francisco and Baltimore*

AMPCO OIL CORPORATION

*Oklahoma City*

ASHLAND OIL & REFINING COMPANY

*Ashland, Kentucky*

THE ATLANTIC REFINING COMPANY

*Philadelphia*

BERRY REFINING COMPANY

*Chicago*

BRITISH AMERICAN OIL CO. LTD.

*Toronto, Ontario, Canada*

BRITISH PETROLEUM COMPANY LTD.

*London, England*

CLYERLYTE CORPORATION

*Cleveland*

CANADIAN HUSKY OIL LIMITED

*Calgary, Alberta, Canada*

CANADIAN KODIAK REFINERIES LTD.

*Edmonton, Alberta, Canada*

CANADIAN PETROFINA LIMITED

*Montreal, Quebec, Canada*

CHAMPLIN OIL & REFINING COMPANY

*Fort Worth, Texas*

CITIES SERVICE OIL COMPANY

*New York*

CITIES SERVICE OIL COMPANY, LIMITED

*Toronto, Ontario, Canada*

COMPANIA ESPAÑOLA DE PETROLEOS, S. A.

*Madrid, Spain*

CONTINENTAL OIL COMPANY

*Houston*

COSDEN PETROLEUM CORPORATION  
*Big Spring, Texas*

DOUGLAS OIL CO. OF CALIFORNIA  
*Los Angeles*

DX SUNRAY OIL COMPANY  
*Tulsa*

EDGINGTON OIL REFINERIES, INC.  
*Long Beach, California*

EMPIRE PETROLEUM COMPANY  
*Denver and Sheboygan, Wisconsin*

FARMERS UNION CENTRAL EXCHANGE, INC.  
*Laurel, Montana*

GOLDEN BEAR OIL COMPANY  
*Los Angeles*

GREAT NORTHERN OIL COMPANY  
*St. Paul*

HUMBLE OIL & REFINING COMPANY  
*Houston*  
Esso **Standard**  
*New York*

HUNT OIL COMPANY  
*Dallas*

HUSKY OIL COMPANY  
*Cody, Wyoming*

IMPERIAL OIL LIMITED  
*Toronto, Ontario, Canada*

KERR-McGEE OIL INDUSTRIES, INC.  
*Oklahoma City*

LEONARD REFINERIES, INC.  
*Alma, Michigan*

LION OIL COMPANY  
A Division of Monsanto Chemical Company  
*El Dorado, Arkansas*

MACMILLAN RING-FREE OIL CO., INC.  
*New York and El Dorado, Ark*

MARUZEN OIL COMPANY LIMITED  
*Osaka, Japan*

MID-AMERICA REFINING CO., INC  
*Chamute, Kansas*

MOBIL OIL COMPANY  
A Division of Socony Mobil Oil Co., Inc  
*New York*

MURPHY CORPORATION  
*El Dorado, Arkansas*

NORTHWESTERN REFINING COMPANY  
*St Paul Park, Minnesota*

AB NYNAS-PETROLEUM  
*Nynashamn, Sweden*

PAZ OIL COMPANY LIMITED  
*Haifa, Israel*

PHILLIPS PETROLEUM COMPANY  
*Bartlesville, Oklahoma*

RAFFINERIE BELGE DE PETROLES, S A  
*Antwerp, Belgium*

RICHFIELD OIL CORPORATION  
*Los Angeles*  
  
*London,*  
  
*New York and San Francisco*

SHELL OIL COMPANY OF CANADA, LTD  
*Toronto, Ontario, Canada*

SINCLAIR REFINING COMPANY  
*New York*

THE SOUTHLAND COMPANY  
*Yazoo City, Mississippi*

STANDARD OIL COMPANY OF BRITISH COLUMBIA, LTD  
*Vancouver, B. C., Canada*

THE STANDARD OIL COMPANY  
(An Ohio Corporation)  
*Cleveland*

SUN OIL COMPANY  
*Philadelphia*

UNION OIL COMPANY OF CALIFORNIA  
*Los Angeles*

U S OIL AND REFINING COMPANY  
*Los Angeles*

WAINWRIGHT PRODUCERS & REFINERS LIMITED  
*Calgary, Alberta, Canada*

WILSHIRE OIL COMPANY OF CALIFORNIA  
*Los Angeles*

WITCO CHEMICAL COMPANY, INC  
Pioneer Products Division  
*New York*