

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS EN  
TOPOGRAFÍA, GEODESIA Y CARTOGRAFÍA  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**

**TEMA 5  
MEZCLAS BITUMINOSAS**

## ÍNDICE

1. Introducción
2. Mezclas. Tipos, Propiedades y Componentes
3. Dosificación
4. Fabricación
5. Puesta en obra
6. Consecuencias de mala dosificación de las mezclas

BIBLIOGRAFÍA

## 1. Introducción

Están constituidas por un ligante que envuelve con una película continua a un conjunto de partículas minerales que se denominan áridos, para formar un conjunto.

En función del árido empleado tenemos diferentes tipos de mezcla bituminosa:

- Mástic bituminoso, mezcla de betún y filler
- Mortero bituminoso, mezcla de betún y arena
- Aglomerado, mortero con árido grueso. Necesariamente tiene huecos.
- Macadam bituminoso, Aglomerado con elementos gruesos de gran tamaño.

A toda mezcla bituminosa se le exigen tres propiedades básicas:

- Resistencia, aportada por el esqueleto mineral
- Cohesión, la aporta la película de ligante
- Durabilidad, la proporciona el conjunto árido-ligante.

## 2. Mezclas. Tipos, Propiedades y Componentes

### 2.1. Tipos

Las mezclas bituminosas se clasifican en función de diferentes parámetros.

Probablemente la clasificación más universal sea la que las divide en función de su temperatura de puesta en obra:

- En caliente, es decir, la mezcla está a temperatura muy por encima de la ambiental (100-150 °C)
- En frío, si la mezcla está a temperatura ambiente.

Otras clasificaciones no excluyentes son las siguientes.

Por cantidad de huecos:

- Cerradas con menos del 6% de huecos
- Semicerradas, con huecos entre un 6 y un 12%
- Abiertas con más del 12% de huecos

Por granulometría, pudiendo ser de granulometría continua o discontinua.

El Pliego General de Condiciones del Ministerio de Fomento (PG3) establece la existencia de mezclas densas, semidensas, gruesas y drenantes. Dentro de alguna de estas categorías incluye mezclas especiales como pueden ser las mezclas de alto módulo, las discontinúas o las porosas-drenantes.

### 2.2. Propiedades características

Son siete parámetros que permiten catalogar cualquier mezcla bituminosa:

- a. **ESTABILIDAD:** Es la capacidad de resistir cargas y tensiones sin deformación. Es una combinación entre el rozamiento interno que aportan los áridos y la cohesión aportada por el ligante y filler. La estabilidad suele determinarse a partir del ensayo Marshall.
- b. **RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN PLÁSTICA:** Es la capacidad de una capa asfáltica de resistir esfuerzos por

encima del límite elástico. Si resulta insuficiente, toda la capa se deforma, es el caso de las roderas ante tráficos excesivos o las bandas transversales que aparecen en zonas de fuerte frenada (efecto alfombra). Evidentemente se acrecientan en situaciones de mala adherencia entre las distintas capas que componen el firme.

- c. **RESISTENCIA A LA FATIGA:** Es la capacidad de resistir deformaciones elásticas (deflexiones). Es más frecuente que aparezcan problemas de fatiga en firmes sometidos a baja temperatura combinada con velocidades altas. Si aparecen se manifiestan en fenómenos de resquebrajamiento superficial o piel de cocodrilo.
- d. **FLEXIBILIDAD:** Las mezclas deben responder al movimiento de las capas inferiores del firme, caso especialmente importante en las estructuras donde la capa bituminosa suele ser de pequeño espesor o de las mezclas extendidas sobre capas granulares.
- e. **RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO:** Es la oposición que realizan al movimiento de vehículos sobre las mismas. Depende del pulido de los áridos empleados, es más alta cuanto más rugosos son. Debe considerarse que áridos más rugosos suelen originar también un mayor nivel sonoro en la rodadura.
- f. **IMPERMEABILIDAD:** Las mezclas bituminosas en general deben ser impermeables evitando que el agua de lluvia alcance el interior de terraplenes y desmontes. No obstante hay mezclas bituminosas porosas que se utilizan en capas de rodadura y dejan pasar el agua. De este modo se evitan fenómenos de acuaplaning. La impermeabilidad la proporcionan las capas por debajo de la mezcla porosa.
- g. **DURABILIDAD:** Capacidad de resistir las inclemencias meteorológicas (agua, heladas, sol) y los agentes agresivos (aceite, sal)

### 2.3. Mezclas bituminosas en caliente (MBC). Componentes

Sus componentes son los de cualquier MBC, es decir, áridos (fino, grueso), filler y ligante. Veamos las características de cada uno de ellos.

- **ÁRIDOS**, forman el 95% de la mezcla. Se seleccionan con atención a su calidad y granulometría.

La granulometría está determinada por un huso admisible. Un huso es el porcentaje máximo y mínimo de cada tamaño de árido para cada uno de los tamices de la serie. Un árido es apropiado si todos sus valores se encuentran dentro del huso. Se incluye a continuación la tabla de husos granulométricos prescrita por el PG-3 para distintos tipos de MBC.

TABLA 542.8 - HUSOS GRANULOMÉTRICOS. CERNIDO ACUMULADO (% en masa)

TIPO DE MEZCLA	ABERTURA DE LOS TAMICES <b>UNE-EN 933-2</b> (mm)											
	40	25	20	12,5	8	4	2	0,500	0,250	0,125	0,063	
Densa	D12	-	-	100	80-95	64-79	44-59	31-46	16-27	11-20	6-12	4-8
	D20	-	100	80-95	65-80	55-70	44-59	31-46	16-27	11-20	6-12	4-8
Semidensa	S12	-	-	100	80-95	60-75	35-50	24-38	11-21	7-15	5-10	3-7
	S20	-	100	80-95	64-79	50-66	35-50	24-38	11-21	7-15	5-10	3-7
	S25	100	80-95	73-88	59-74	48-63	35-50	24-38	11-21	7-15	5-10	3-7
Gruesa	G20	-	100	75-95	55-75	40-60	25-42	18-32	7-18	4-12	3-8	2-5
	G25	100	75-95	65-85	47-67	35-54	25-42	18-32	7-18	4-12	3-8	2-5
Drenante	PA12	-	-	100	70-100	38-62	13-27	9-20	5-12	-	-	3-6

- Para la formulación de mezclas bituminosas en caliente de alto módulo (MAM) se empleará el huso S20 con las siguientes modificaciones, respecto a dicho huso granulométrico: tamiz 0,250: 8-15; tamiz 0,125: 7-12 y tamiz 0,063: 6-9.
- La designación del tipo de mezcla se hace en función del tamaño máximo nominal del árido, que se define como la abertura del primer tamiz que retiene más de un diez por ciento en masa.

Este cernido es particularmente exigente en las mezclas discontinuas y drenantes tal y como se aprecia en la siguiente tabla

TABLA 543.9 - HUSOS GRANULOMÉTRICOS. CERNIDO ACUMULADO (% en masa)

TIPO DE MEZCLA (**)	ABERTURA DE LOS TAMICES (mm)								
	22	16	11,2	8	5,6	4	2	0,5	0,063
BBTM 8B (*)		-	100	90-100	42-62	17-27	15-25	8-16	4-6
BBTM 11B (*)		100	90-100	60-80		17-27	15-25	8-16	4-6
BBTM 8A (*)		-	100	90-100	50-70	28-38	25-35	12-22	7-9
BBTM 11A (*)		100	90-100	62-82		28-38	25-35	12-22	7-9
PA 16	100	90-100		40-60		13-27	10-17	5-12	3-6
PA 11		100	90-100	50-70		13-27	10-17	5-12	3-6

(\*) La fracción del árido que pasa por el tamiz 4 mm de la UNE-EN 933-2 y es retenida por el tamiz 2 mm de la UNE-EN 933-2, será inferior al ocho por ciento (8%).

(\*\*) Se ha omitido en la denominación de la mezcla la indicación del tipo de ligante por no ser relevante a efectos de esta tabla.

Además de la granulometría se exigen las siguientes propiedades a los áridos a emplear en las MBC.

Para el árido grueso:

- Angulosidad, proporción de áridos con 2 ó más caras de fractura 75-100% según tráfico. Se adjunta tabla.

TABLA 542.2 - PROPORCIÓN DE PARTÍCULAS TRITURADAS DEL ÁRIDO GRUESO (% en masa)

TIPO DE CAPA	CATEGORIA DE TRAFICO PESADO				
	T00	T0 y T1	T2	T3 y arcenes	T4
RODADURA	100		100	≥ 90	≥ 75
INTERMEDIA			≥ 90		≥ 75 (*)
BASE	100	≥ 90	≥ 75		

(\*) en vías de servicio

- Coeficiente máximo de desgaste de Los Ángeles 15-30 en función del tráfico. Se adjunta tabla.

TABLA 542.4 - COEFICIENTE DE LOS ÁNGELES DEL ÁRIDO GRUESO

TIPO DE CAPA	CATEGORIA DE TRAFICO PESADO			
	T00 y T0	T1 y T2	T3 y arcenes	T4
RODADURA DRENANTE	≤ 15	≤ 20	≤ 25	
RODADURA CONVENCIONAL	≤ 20	≤ 25		≤ 25
INTERMEDIA				≤ 25 (*)
BASE	≤ 25	≤ 30		

(\*) en vías de servicio

- Coeficiente de pulido acelerado mayor de 0,40-0,50 según tráfico. Se adjunta tabla.

TABLA 542.5- COEFICIENTE DE PULIMENTO ACELERADO DEL ÁRIDO GRUESO PARA CAPAS DE RODADURA

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO			
T00	T0 y T1	T2	T3, T4 y arcenes
≥ 0,55	≥ 0,50	≥ 0,45	≥ 0,40

- Heladicidad. Pérdida por acción del  $SO_4Na_2$  y  $SO_4Mg_2$  menor al 12%
- Forma. Índice de lajas menor a 20-35 según tráfico. Se adjunta tabla

TABLA 542.3 - ÍNDICE DE LAJAS DEL ÁRIDO GRUESO

TIPO DE MEZCLA	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO				
	T00	T0 y T1	T2	T3 y arcenes	T4
DENSA, SEMIDENSA y GRUESA	≤ 20	≤ 25	≤ 30	≤ 35	
DRENANTE			≤ 25		

- Pérdida de resistencia en el ensayo de inmersión-compresión menor al 25%. El ensayo consiste en comparar dos probetas cilíndricas, una conservada a 25°C y otra sumergida a 49°C y romperlas a compresión. Se comprueba así la adhesividad del árido con el ligante.
- Exento de terrones de arcilla, tierra vegetal y menos del 0,5% de impurezas.

Para el árido fino:

- Procedencia. Preferible de machaqueo admitiéndose de cantera entre un 0-20% según tráfico. Se adjunta tabla.

TABLA 542.6 - PROPORCIÓN DE ÁRIDO FINO NO TRITURADO(\*) A EMPLEAR EN LA MEZCLA  
(% en masa del total de áridos, incluido el polvo mineral)

CATEGORIA DE TRAFICO PESADO		
T00, T0 y T1	T2(**)	T3, T4 y arcenes
0	≤ 10	≤ 20

(\*) El porcentaje de árido fino no triturado no deberá superar el del árido fino triturado.

(\*\*) Excepto en capas de rodadura, cuyo valor será cero.

- Coeficiente máximo de desgaste de Los Ángeles 25 en capas de rodadura y 30 en base.
- Pérdida de resistencia en el ensayo de inmersión-compresión menor al 25%.
- Exento de terrones de arcilla, tierra vegetal.

■ FILLER: material que pasa por el tamiz 0,063mm de la serie UNE. Debe contar con las siguientes características:

- Procedencia. Preferiblemente de aportación aunque se puede admitir hasta 50% procedente de machaqueo de áridos según tráficos. Se adjunta tabla.

**TABLA 542.7 - PROPORCIÓN DE POLVO MINERAL DE APORTACIÓN**  
(% en masa del resto del polvo mineral, excluido el inevitablemente adherido a los áridos)

TIPO DE CAPA	CATEGORÍA DE TRAFICO PESADO				
	T00	T0 y T1	T2	T3 y arcenes	T4
RODADURA	100			≥ 50	-
INTERMEDIA	100		≥ 50		-
BASE	100	≥ 50		-	

- Finura. Densidad aparente en tolueno entre 0,5 y 0,8 g/cm<sup>3</sup>.

■ **LIGANTE:** Serán betunes de penetración o betunes modificados conforme a la tabla adjunta:

**TABLA 542.1 - TIPO DE LIGANTE HIDROCARBONADO A EMPLEAR**

(Artículos 211 y 215 de este Pliego)

**A) EN CAPA DE RODADURA Y SIGUIENTE**

ZONA TÉRMICA ESTIVAL	CATEGORÍA DE TRAFICO PESADO					
	T00	T0	T1	T2	T3 y arcenes	T4
CÁLIDA	B40/50 BM-2 BM-3c		B40/50 B60/70 BM-2 BM-3b BM-3c	B40/50 B60/70 BM-3b	B60/70	B60/70 B80/100
MEDIA	B40/50 B60/70 BM-3b BM-3c		B60/70 BM-3b		B60/70 B80/100	
TEMPLADA	B40/50 B60/70 BM-3b BM-3c		B60/70 B80/100 BM-3b			

**B) EN CAPA DE BASE, BAJO OTRAS DOS**

ZONA TÉRMICA ESTIVAL	CATEGORÍA DE TRAFICO PESADO			
	T00	T0	T1	T2
CÁLIDA	B40/50 B60/70		B40/50 B60/70	B60/70
MEDIA	BM-2			B60/70 B80/100
TEMPLADA	B40/50 B60/70 B80/100			B80/100

En el caso de mezclas discontinuas y drenantes la tabla correspondiente es:

**TABLA 543.1 - TIPO DE LIGANTE HIDROCARBONADO A EMPLEAR**  
(Artículos 211 y 215 de este Pliego y OC 21/2007)

TIPO DE MEZCLA	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO				
	T00 y T0	T1	T2(*) y T31	T32 y arcenes	T4
DISCONTINUA	BM-3c	BM-3c BM-3b	BM-3b B60/70 BC50/70	B60/70 B80/100 BC50/70	
DRENANTE	BM-3c	BM-3c BM-3a BM-3b	BM-3a BM-3b B60/70 BC50/70	B60/70 B80/100 BC50/70	

(\*) Para tráfico T2 se emplearán betunes modificados en autovías o cuando la IMD sea superior a 5 000 vehículos por día y carril

- Se podrán emplear también betunes modificados con caucho que sean equivalentes a los betunes modificados de esta tabla, siempre que cumplan las especificaciones del artículo 215 de este Pliego. En ese caso, a la denominación del betún se le añadirá una letra C mayúscula, para indicar que el agente modificador es caucho procedente de neumáticos fuera de uso.

La dotación mínima de ligante se aprecia en la tabla adjunta:

**TABLA 542.10 - DOTACIÓN MÍNIMA (\*) DE LIGANTE HIDROCARBONADO**  
(% en masa sobre el total del árido seco, incluido el polvo mineral)

TIPO DE CAPA	TIPO DE MEZCLA	DOTACIÓN MÍNIMA (%)
RODADURA	DRENANTE	4,5
	DENSA y SEMIDENSA	4,75
INTERMEDIA	DENSA y SEMIDENSA	4,0
BASE	SEMIDENSA y GRUESA	3,5
	ALTO MÓDULO	5,2

(\*) Incluidas las tolerancias especificadas en el apartado 542.9.3.1. Se tendrán en cuenta las correcciones por peso específico y absorción de los áridos, si son necesarias.

En el caso de mezclas discontinuas y drenantes la tabla correspondiente es:

**TABLA 543.10 - TIPO, COMPOSICIÓN Y DOTACIÓN DE LA MEZCLA**

CARACTERÍSTICA	TIPO DE MEZCLA					
	PA 11	PA 16	BBTM8B	BBTM11B	BBTM8A	BBTM11A
DOTACIÓN MEDIA DE MEZCLA (kg/m <sup>2</sup> )	75-90	95-110	35-50	55-70	40-55	65-80
DOTACIÓN MÍNIMA(*) DE LIGANTE (% en masa sobre el total de la mezcla)	4,30		4,75		5,20	
LIGANTE RESIDUAL EN RIEGO DE ADHERENCIA (kg/m <sup>2</sup> )	Firme nuevo	> 0,30			> 0,25	
	Firme antiguo	> 0,40			> 0,35	

(\*) Incluidas las tolerancias especificadas en el apartado 543.9.3.1. Se tendrán en cuenta las correcciones por peso específico y absorción de los áridos, si son necesarias.

Y en función del espesor de la capa de MBC los tipos adecuados son:

TABLA 542.9 - TIPO DE MEZCLA A UTILIZAR EN FUNCIÓN DEL TIPO Y ESPESOR DE LA CAPA

TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	TIPO DE MEZCLA
RODADURA	4 – 5	D12; S12; PA12
	> 5	D20; S20
INTERMEDIA	5-10	D20; S20; S25
BASE	7-15	S25; G20; G25; MAM(**)
ARCENES(*)	4-6	D12

(\*) En el caso de que no se emplee el mismo tipo de mezcla que en la capa de rodadura de la calzada.

(\*\*) Espesor máximo de trece centímetros (13 cm).

#### 2.4. Mezclas bituminosas en frío. Componentes

Son las que se colocan a temperatura ambiente. Sus componentes son los mismos que en las MBC, pero su fabricación y dosificación es menos precisa por lo que suelen resultar mezclas de calidad inferior y se emplean sólo en reparaciones, parches, riegos y extendidos donde no puede utilizarse mezcla en caliente. Su uso está prohibido para tráficoos altos en España. Lógicamente al extenderse a temperatura ambiente, el ligante debe ser líquido a dicha temperatura por lo que debe estar fluidificado o emulsionado.

Las características más relevantes para los usos citados de las distintas mezclas y riegos aparecen en la tabla adjunta, en la que, a modo de ejemplo aparecen las que se construyen a partir de emulsiones catiónicas.

Aplicaciones:		Riesgos de adherencia	Riesgos con gravilla	Riesgos con gravilla	Mezclas abiertas en frío	Lechadas de rotura controlada	
Denominación Actual		ECR-1m	ECR-2m	ECR-3m	ECMm	ECL-2m	
Requerimiento Técnico	Norma EN	C60BP3	C67BP3	C69BP3	C67BPF4	C60BP5	
Propiedades perceptibles	1425	TBR	TBR	TBR	TBR	TBR	
Polaridad de Partículas	1430	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva	
Índice de rotura	13075-1	50-100	50-100	50-100	70-130	120-180	
Mezcla con cemento, g	12848	-	-	-	-	>2	
Tiempo de mezcla con finos, s	13075-2	-	-	-	-	≥180	
Contenido de ligante, %	por cont. de agua	1428	58-62	65-69	67-71	65-69	58-62
	por destilación	1431	≥58	≥65	≥67	≥67	≥58
Contenido de aceite destilado, %	1431	≤2	≤2	≤2	≤10	≤2	
Tiempo de fluencia, s	2mm, 40°C	12846	15-45	70-130			10-45
	4mm, 40°C				10-45	10-45	
Residuo de tamizado por	tamiz 0,5mm, %	1429	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1
	tamiz 0,16mm, %		-	-	-	-	-
Tendencia a la sedimentación 7 días, %	12847	≤10	≤5	≤5	≤5	TBR	
Adhesividad, % cubrición	13614	≥90	≥90	≥90	≥90	≥90	
<b>Método de recuperación: Evaporación según EN 13074</b>							
Penetración a 25°C, 0,1 mm		1426	≤330	≤330	≤330	≤330	≤220
	Tipo d		≤150	≤150	≤150		≤150
Punto de reblandecimiento, °C		1427	≥35	≥35	≥35	≥35	≥50
	Tipo d		≥43	≥43	≥43		≥43
Cohesión por fuerza- ductibilidad a 5°C, J/cm²	13589-13703	≥1	-	-	≥1	≥1	
Cohesión por Péndulo, J/cm²	13588	-	≥0,5	≥0,5	-	-	
Recuperación elástica a 25°C, %	13398	>30	>30	>30	>30	>30	
<b>Método de recuperación: Evaporación según EN 13074 seguido de estabilización según EN 14895 y envejecimiento según EN 14769</b>							
Penetración a 25°C, 0,1 mm	1426	DV	DV	DV	DV	DV	
Punto de reblandecimiento, °C	1427	DV	DV	DV	DV	DV	
Cohesión por fuerza- ductibilidad a 5°C, J/cm²	13589-13703	DV	-	-	DV	DV	
Cohesión por Péndulo, J/cm²	13588	-	DV	DV	-	-	
Recuperación elástica a 25°C, %	13398	TBR	TBR	TBR	TBR	TBR	

Las de los áridos se aprecian a continuación; claramente inferiores en sus requerimientos a los de las MBC

CATEGORÍA DE TRÁFICO			T00	T0	T1	T2	T3	T4	Arcenes
<b>ÁRIDO COMBINADO</b>	LIMPIEZA	Equivalente de arena UNE-EN 933-8	> 45			> 40	> 35	> 40	
	TEXTURA Y FORMA	Proporción de partículas trituradas (% en masa) UNE-EN 933-5	> 90			> 75	> 50	> 90 cat. T00 a T2, > 50 cat. T3 o T4	
		Índice de lajas UNE-EN 933-3	< 30			< 35			
<b>ÁRIDO GRUESO (retenido 2 mm)</b>	CALIDAD	Desgaste Los Ángeles UNE-EN 1097-2	< 30			< 35			
	LIMPIEZA	Impurezas (%) UNE 146130 a. C	< 0,5						
	COMPOSICIÓN	Proporción de arena natural (%)	< 10		< 15	< 20			
<b>ÁRIDO FINO (pasa 2 mm, retenido 0,063 mm)</b>	PLASTICIDAD	Límite Líquido e Índice de Plasticidad UNE 103103 y UNE 103104	No plástico			LL < 25 e IP < 6			
	ADHESIVIDAD	Riedel-Weber NLT-355	> 4						

Y los resultados de los ensayos de inmersión-compresión se aprecian en la siguiente tabla, en la que se aprecian pérdidas de resistencia de hasta el 50%:

Categoría del tráfico pesado	CALZADA			ARCÉN		
	En seco (MPa)	Tras inmersión (MPa)	Conservada (%)	En seco (MPa)	Tras inmersión (MPa)	Conservada (%)
T2 o superior	1,5	1,2	75	0,9	0,7	50
T3	1,2	1,0	60	0,8	0,6	-
T4	0,9	0,7	50	0,8	0,6	-

### 3. Dosificación

Consiste básicamente en seguir tres pasos:

- a. Aprobar los materiales, tanto áridos como ligantes con los que se pretende fabricar la mezcla.
- b. Ajuste de la mezcla de áridos para que el resultado se sitúe dentro del huso prescrito.
- c. Determinar el contenido óptimo de ligante.

A este respecto, el paso más delicado, especialmente por el precio elevado del material, es la dosificación del ligante. Ésta se puede realizar de distintas formas, fundamentalmente dos:

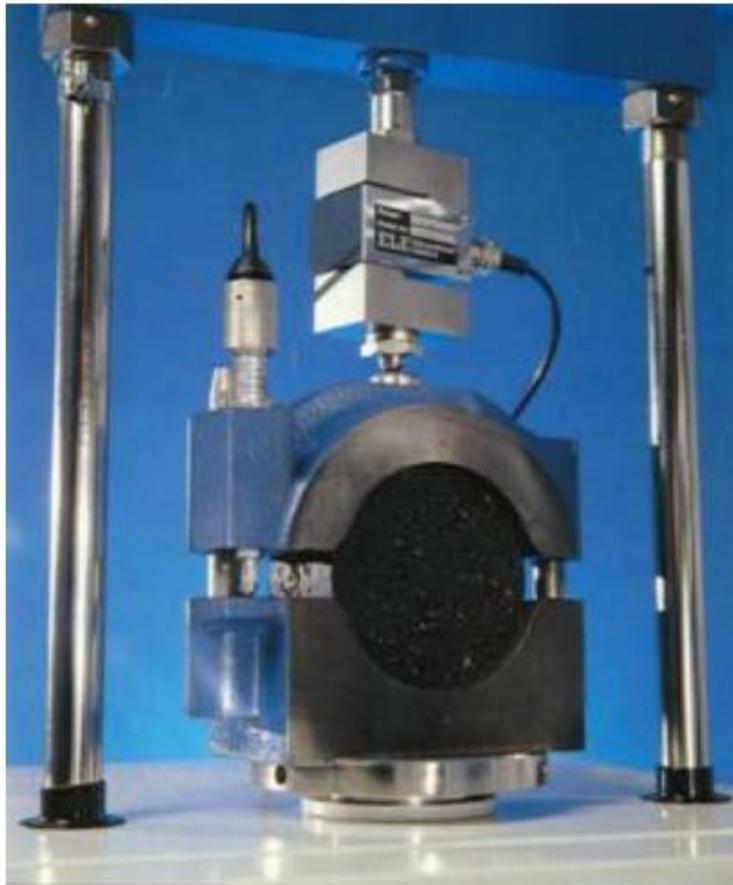
- Método de la superficie específica de los áridos, consiste en determinar el betún necesario para envolver todas las partículas de árido con un espesor determinado. Se utilizan fórmulas y relaciones Peso-Tamaño.
- Métodos mecánicos, hay varios ensayos de las probetas fabricadas con distintos porcentajes de betún:
  - Rotura por compresión simple midiendo deformaciones
  - Ensayo inmersión-compresión midiendo resistencias y deformaciones
  - Tracción (flexotracción) midiendo resistencia y deformación.
  - Triaxial, método de rotura complejo y de uso exclusivo para laboratorio de investigación
  - Marshall, que es el utilizado más frecuentemente y que se explica en detalle a continuación

#### ■ El método Marshall:

Debe su nombre al ingeniero Bruce G. Marshall del departamento de caminos del estado de Mississippi (EEUU).

Consiste en fabricar unas probetas cilíndricas de 4 pulgadas de diámetro y 2,5 pulgadas de altura con distintos contenidos de ligante.

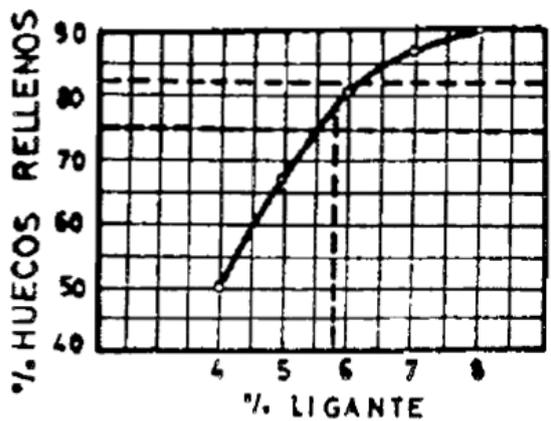
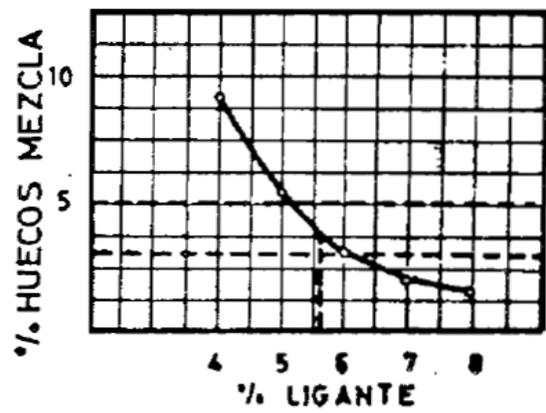
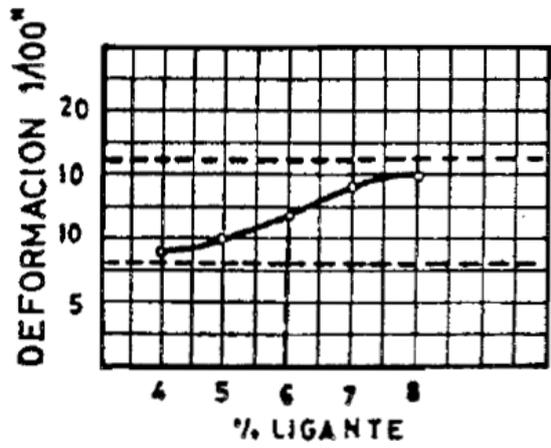
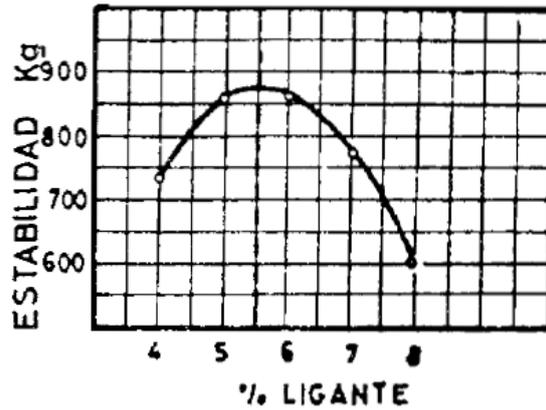
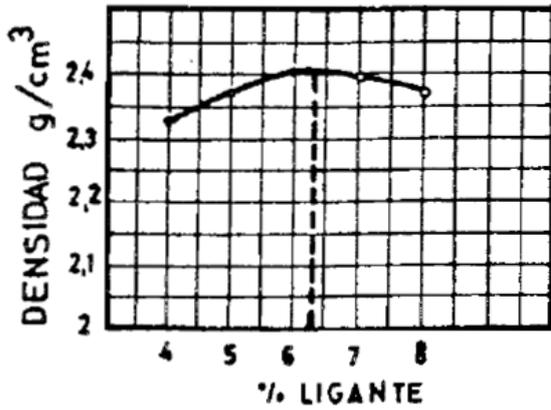
Para cada probeta se analizan la densidad y los huecos tanto de la mezcla



como los huecos rellenos de ligante. Posteriormente se rompen las probetas por compresión diametral con una máquina como la que aparece en la fotografía adjunta.

Los resultados de esta rotura son la fuerza necesaria, denominada estabilidad y la deformación en rotura medida por la aproximación de las mordazas.

Luego nos encontraríamos con cinco gráficas que corresponden a los resultados para cada probeta en las que se pueden interpolar unas curvas que unan los resultados para cada probeta. Se adjuntan unos gráficos como ejemplo:



Para cada gráfico se puede determinar un contenido óptimo de ligante, el que da máxima densidad, máxima estabilidad, deformación en el entorno de 12,5 centésimas de milímetro, huecos de la mezcla en torno al 4% y huecos rellenos del orden del 77,5%.

El valor escogido puede ser una media de todos, puede ser el que da valores óptimos en el % de huecos de la mezcla, cumpliendo el resto de parámetros. Normalmente debe confrontarse con ensayos.

A continuación se adjunta la tabla correspondiente que figura en el PG-3 del Ministerio de Fomento:

**TABLA 542.12 - CRITERIOS DE DOSIFICACIÓN EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL  
(75 golpes por cara)**

CARACTERÍSTICA	CATEGORIA DE TRAFICO PESADO			
	T00 y T0	T1 y T2	T3 y arcenes	T4
ESTABILIDAD (kN)	> 15	> 12,5	> 10	8 - 12
DEFORMACIÓN (mm)	2 - 3	2 - 3,5		2,5 - 3,5
HUECOS EN MEZCLA (%)	Capa de rodadura	4 - 6		3 - 5
	Capa intermedia	4 - 6	5 - 8	4 - 8
	Capa de base	5 - 8 (*)	6 - 9 (*)	5 - 9
HUECOS EN ÁRIDOS (%)	Mezclas -12	≥ 15		
	Mezclas -20 y -25	≥ 14		

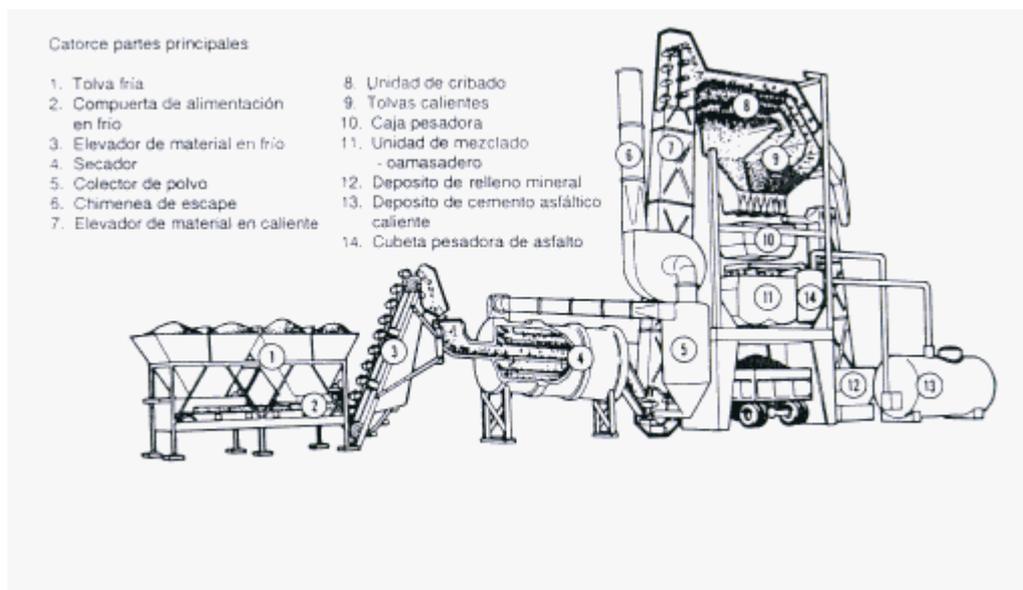
(\*) En las mezclas bituminosas de alto módulo: 4-6.

(\*\*) En vías de servicio.

#### 4. Fabricación

Las plantas para la fabricación de MBC pueden ser continuas o discontinuas. Las plantas manejan los distintos componentes de la mezcla, áridos, filler y ligante en las proporciones que determine la fórmula de trabajo.

Los componentes básicos de una instalación completa de fabricación de MBC son los siguientes, según el esquema que se aprecia en la figura adjunta:



- Sistema de alimentación y dosificación primaria de áridos, Son tolvas donde se almacena cada uno de los áridos de granulometría conocida. Desde las mismas se abren las compuertas para permitir una dosificación de cada árido en la proporción predeterminada. Estos áridos son transportados por cintas continuas, bandejas de vaivén o vibradores electromagnéticos.
- Secador de áridos, los áridos se calientan a  $160^{\circ}\text{C}$  en un tambor giratorio que incluye un potente mecanismo de ventilación forzada. De este modo se consigue un árido caliente, sin humedad y sin polvo (filler) que habrá sido arrastrado por la ventilación (filler de recuperación).

c. Colector de polvo, Recoge el filler adherido a los áridos y que se desprende al calentarlos y evita su emisión incontrolada a la atmósfera. Existen varios sistema de recogida de este polvo mineral como son:

- ciclones donde se proyecta el polvo por fuerza centrífuga contra las paredes
- Sacos o mangas, que son lienzos interpuestos al paso del aire caliente con filler y que retienen éste.
- Paso por cámara húmeda



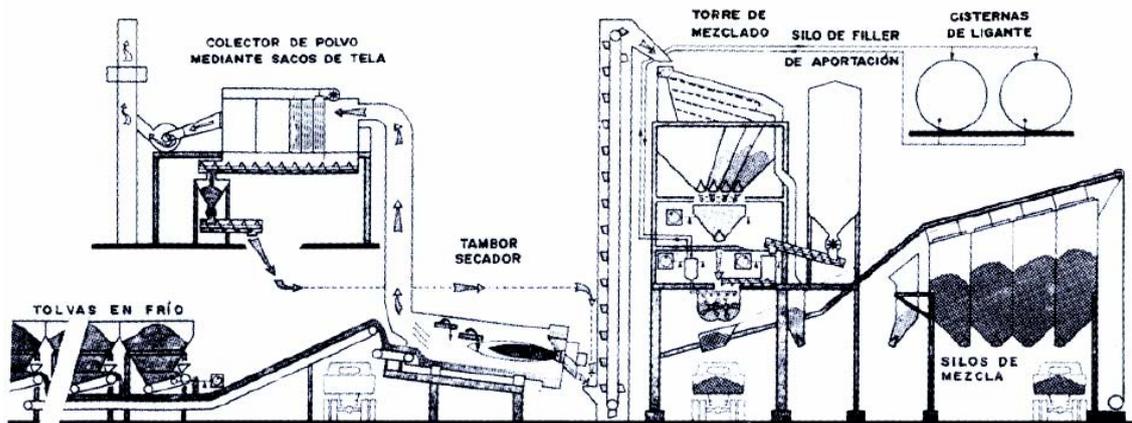
d. Sistema de clasificación de áridos en caliente, A la salida del tambor secador, los áridos vuelven a cribarse y se clasifican por los tamaños retenidos en cada una de las cribas

e. Silos de almacenamiento en caliente, cada fracción se almacena en silos aislados térmicamente para mantener su calor.

f. Sistema de alimentación de filler, el filler puede proceder de recuperación pero preferentemente será de aportación desde un silo estanco desde el que se suministra con un dispositivo de regulación que puede incluir un mecanismo de secado. El filler debe ser uniforme, por eso se condiciona el uso preferente de filler de

aportación y lo exige, como se ha visto al dosificar la mezcla, en determinadas circunstancias para tráficos elevados.

- g. Sistema de alimentación, calefacción y alimentación de ligante, se almacena cada ligante en tanque separado y calefactado desde el que se suministra por dosificadores y se transporta hasta el



*Central discontinua para la fabricación de mezclas bituminosas en caliente*

mezclador por tuberías que circulan dentro de conductos con vapor, aceite o gases calientes para mantener su temperatura.

- h. Sistema de dosificación de áridos, filler y ligante, si la planta es continua, los áridos se dosifican mediante compuertas de apertura variable, como el filler y el ligante mediante bombas de desplazamiento positivo a volumen constante. Si fuese discontinua los áridos se dosifican por peso y el ligante por peso o por volumen. Debe considerarse siempre la influencia de la temperatura en el volumen del ligante.
- i. Mezclador, Es una tolva que recibe los elementos dosificados y los mezcla con hélices en ejes gemelos y de giro inverso.
- j. Descarga del mezclador, Sobre camión o sobre cinta transportadora hasta silos calefactados y estancos.



Evidentemente una planta de fabricación de mezclas en frío no dispone de ninguno de los elementos de aportación o conservación de calor indicados b, c, d, e y g.

## 5. Puesta en obra

La puesta en obra de MBC incluye su transporte, extensión y compactación.

### 5.1. Transporte

Se realiza en camiones de caja lisa y estanca. Se intenta evitar que la mezcla se adhiera a la caja.

Para evitar que la mezcla se enfríe se cubre con una lona que evita la acción de lluvia y viento.

La descarga desde el camión se realiza siempre con el camión situado en el lado opuesto al que realiza el extendido la máquina extendedora.



### 5.2. Equipo de extendido

El proceso de extensión de la MBC incluye la preparación de la superficie que ha de estar limpia y sobre la que se extiende un riego que mejora la adherencia entre capas, el extendido de la mezcla y su posterior compactación.

La extendedora es una máquina autopropulsada que se apoya normalmente en un tren de rodillos y cadena y que es capaz de tender una capa uniforme en espesor con la pendiente transversal y longitudinal requeridas y de ajustar su ancho a las necesidades de la obra.



Cada extendedora consta de

una tolva sobre la que vierte la mezcla el camión. Normalmente se aglomera en pendiente, de manera que, el camión en punto muerto se apoya en unos rodillos dispuestos junto a la tolva de la extendidora de manera que se mueve el conjunto extendidora-camión de manera uniforme impulsados sólo por la extendidora. Por eso se precisa que la extendidora tenga buena tracción.

La extensora transporta la mezcla desde la tolva hacia la parte frontal donde la distribuye de manera uniforme en todo su ancho de trabajo mediante un sistema de husillos y desde donde la extiende con espesor constante controlado desde una maestra enrasadora.

El espesor extendido tiende a ser un 25% superior al final pretendido. Para alcanzar el espesor fijado es necesario compactar la mezcla

Las máquinas extendedoras disponen de controles muy precisos del espesor de la capa extendida dado que se trata de una unidad de obra de precio considerable y dimensiones muy reducidas.



Su ancho de trabajo es, lógicamente, variable con la máquina, pero hay unidades de ancho mínimo, aptas para carril bici, hasta las mayores, capaces de extender anchos superiores a 10 m.

### 5.3. Compactación

Para alcanzar las características previstas de la mezcla en los ensayos de laboratorio (Marshall), es necesario compactarla. Compactar es reducir huecos con lo que se consigue una capa de mejores características mecánicas.

Hay diferentes máquinas empleadas en la compactación de MBC. Las usuales constan de rodillos metálicos o de trenes de neumáticos. Habitualmente se usan hasta tres máquinas:

- Compactador de doble rodillo metálico, compacta por peso propio, consigue una buena compactación superficial pero no en profundidad. Proporciona un buen acabado.



- Compactador de neumáticos, compacta en profundidad toda la capa. Su efecto depende de la carga por rueda, su presión y su rigidez



- Rodillo vibrante, es metálico pero al vibrar alcanza una profundidad de compactación mayor aunque su peso sea menor. La frecuencia de la vibración es clave para calibrar su eficiencia



#### 5.4. Juntas

Normalmente aparecen dos tipos de juntas en todo trabajo de extendido de MBC, longitudinales y transversales.

Las longitudinales aparecen porque la extendedora no es capaz de cubrir el ancho completo de la plataforma. Las transversales por finalización de jornada o, accidentalmente, por que se detenga el suministro de aglomerado.

Las juntas son un elemento de debilidad del pavimento por lo que deben evitarse en la medida de lo posible. Para ello se buscan extendedoras de mayor ancho de trabajo que eviten las longitudinales y se asegura el suministro continuo de material que evite las transversales accidentales. Se suele ver un camión vertiendo en la tolva de la extendedora y otro esperando.

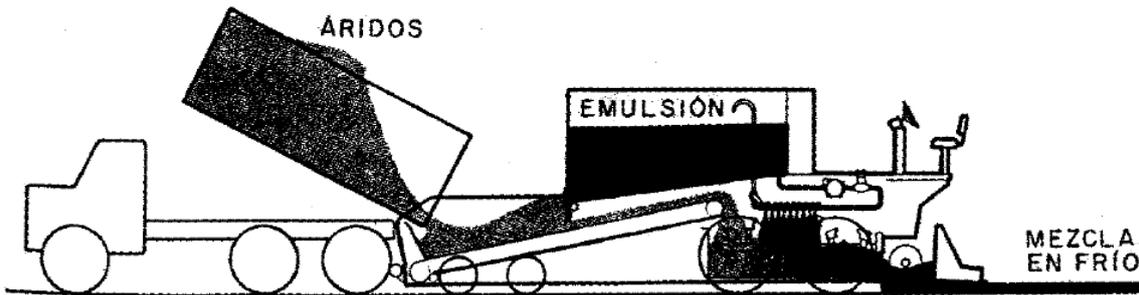
Nunca deben superponerse juntas de capas sucesivas. Se suelen desplazar, al menos, 15 cm.

La junta fría se corta en vertical antes del extendido de la nueva capa. Cuando ésta se extiende remonta el solape hasta cubrir unos 10 cm. de la capa antigua.

#### 5.5. Extendido de mezclas en frío

Las mezclas en frío se usan en obras de importancia menor.

Normalmente se suministra la mezcla de áridos ya dosificada y la extendedora



dispone de un tanque de ligante que dosifica previamente al extendido. Es evidente que la calidad no puede ser la misma que la de una MBC.

#### 5.6. Riegos

Normalmente en un firme flexible se aplican dos tipos de riego, imprimación y adherencia

- Riego de imprimación, se aplica esta capa de ligante sobre una capa no bituminosa para facilitar la extensión de ésta última.  
Se emplean emulsiones de rotura rápida por lo general con una dotación de  $1 \text{ kg/m}^2$  para que sea absorbida en las 24 horas posteriores.  
Como se enfría rápido no debe ponerse en obra a temperaturas inferiores a  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  ni cuando exista riesgo de lluvia.
- Riego de adherencia, se aplica esta capa de ligante entre una capa bituminosa y la siguiente.  
Suelen ser emulsiones de rotura rápida e incluso betunes fluidificados de curado rápido con dotaciones del orden de  $0,5 \text{ kg/m}^2$ .  
Las consideraciones de extensión como para los riegos de imprimación

## 5.7. Tratamientos superficiales

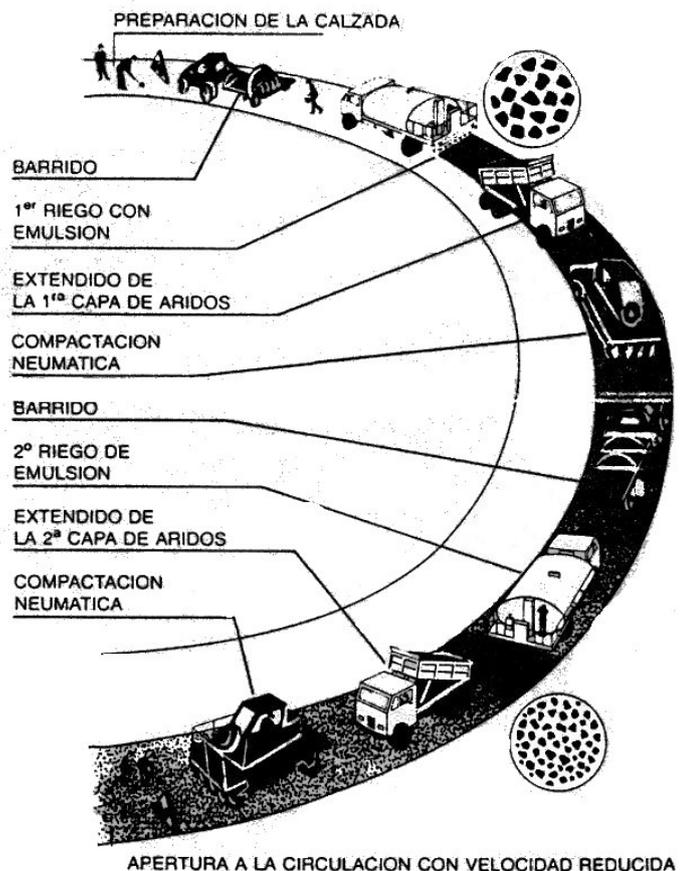
Es un método rápido para mejorar el firme de rodadura de un camino o carretera consistente en la extensión de una capa de ligante sobre la que se vierte una capa de áridos que luego se compacta.

Si la operación se repite se alcanza un doble tratamiento superficial (ver figura)

Los ligantes utilizados suelen ser emulsiones de rotura rápida.

Los áridos serán gravillas de tamaño relativamente uniforme, procedentes de machaqueo, exentos de agua, con resistencias elevadas en el ensayo de desgaste, en el de pulido acelerado y pequeño índice de lajas. Deben tener buena adhesividad.

Permite la apertura al tráfico poco tiempo después de la actuación.



## 6 Consecuencias de mala dosificación de las mezclas.

Para finalizar los problemas que soportan las mezclas una vez puestas en obra se incluyen las tablas que preconiza el Instituto de asfalto norteamericano, donde se aprecian los distintos defectos y las consecuencias que tienen sobre las capas (carpetas en traducción hispanoamericana)

**Tabla N° 2.10. CAUSAS Y EFECTOS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA MANTENIMIENTOS**

<b>BAJA ESTABILIDAD</b>	
<b>Causas</b>	<b>Efectos en la carpeta</b>
Exceso de asfalto en la mezcla	Ondulaciones, ahuellamiento y afloramiento o exudación
Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente durante un cierto tiempo; dificultad para la compactación
Agregado redondeado sin, o con pocas superficies trituradas	Ahuellamiento y Canalización
<b>POCA DURABILIDAD</b>	
<b>Causas</b>	<b>Efectos en la carpeta</b>
Bajo contenido de asfalto	Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida de agregado
Alto contenido de vacíos debido al diseño o a la falta de compactación	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración
Agregados susceptibles al agua (hidrofilicos)	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado, o desintegrado.
<b>MEZCLA DEMASIADO PERMEABLE</b>	
<b>Causas</b>	<b>Efectos en la carpeta</b>
Bajo contenido de asfalto	Las películas delgadas de asfalto causarán, tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla
Alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación y desintegración de la mezcla
Compactación inadecuada	Resultará en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a infiltración de agua y baja estabilidad.

<b>MALA TRABAJABILIDAD</b>	
<b>Causas</b>	<b>Efectos en la carpeta</b>
Tamaño máximo de partícula: grande	Superficie áspera, difícil de colocar
Demasiado agregado grueso	Puede ser difícil de compactar
Temperatura muy baja de mezcla	Agregado sin revestir, mezcla poco durable; superficie áspera difícil de compactar
Demasiada arena de tamaño medio	La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna o blanda
Bajo contenido de relleno mineral	Mezcla tierna, altamente permeable
Alto contenido de relleno mineral	Mezcla muy viscosa, difícil de manejar; poco durable
<b>MALA RESISTENCIA A LA FATIGA</b>	
<b>Causas</b>	<b>Efectos en la carpeta</b>
Bajo contenido de asfalto	Agrietamiento por fatiga
Vacios altos de diseño	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga
Falta de compactación	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga
Espesor inadecuado de pavimento	Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga
<b>POCA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO</b>	
<b>Causas</b>	<b>Efectos en la carpeta</b>
Exceso de asfalto	Exudación, poca resistencia al deslizamiento
Agregado mal graduado o con mala textura	Pavimento liso, posibilidad de hidropilado
Agregado pulido en la mezcla	Poca resistencia al deslizamiento

*Fuente: Serie de Manuales N° 22 del Instituto del Asfalto (MS-22), Figuras: 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6, Páginas: 61, 62, 63 y 64.*

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes. PG-3
- Generalidades sobre Materiales de Construcción. Francisco Arredondo. Ed UPM
- Manuales del instituto de asfalto
- Manuales de mezclas bituminosas de CEPSA