



**PROYECTO PILOTO DE TRANSFERENCIA  
TECNOLOGICA  
MOPT - FUNDEVI - LANAMME**

**ANEXO III  
PROPUESTA DE CONTROL DE  
CALIDAD Y PAGO DE OBRA  
EJECUTADA EN OBRAS VIALES**

**SETIEMBRE 2000**

**ING. MARIO ARCE**

---

# Anexo

---

- I. Resumen de Normas Internacionales**
- II. Análisis del control de calidad en proyectos ejecutados**



---

## I Resumen de normas internacionales

---

Las normas que se presentan a continuación corresponden a la siguiente referencia bibliográfica:

- Estándar Specifications for Construction of Roads and Bridges on Federal Highway Projects (FP -96).
- Control de Calidad en Obras en Carreteras (Ignacio Morilla Abad)
- Ministerio de Obras Públicas de Chile.  
Especificaciones Técnicas Generales.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica.  
Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Carreteras y Puentes. (CR-77)
- State of California.  
Department of Transportation.  
Standar Specifications, 1995.

El estudio de estas normas sirve de base para desarrollar el análisis de las metodologías de control de calidad y especificaciones que se usan en otros países, para así efectuar una comparación con los resultados de proyectos realizados en Costa Rica, como base para formular un modelo de pago de obra en función de la calidad, fundamentado en el concepto de aseguramiento de la calidad.

## **Síntesis de especificaciones para base estabilizada con cemento**

**Estándar specifications for construction of roads and bridges on federal highway projects (FP –96).**

### **Requerimientos de Construcción**

#### **302.03 Proporciones**

Se debe proveer una resistencia a la compresión uniaxial de  $34.5 \text{ kg/cm}^2$  con un valor mínimo mayor a  $27.5 \text{ kg/cm}^2$ . El moldeo, la cura y los ensayos deben realizarse de acuerdo con la norma ASTM C 593.

Para mezclas de agregado con cemento, se debe lo que se indica en la siguiente tabla:

#### **Rango de agregado/cemento Parámetros de diseño de la mezcla**

<b>Material</b>	<b>Porcentaje por masa total de mezcla seca</b>
Agregado	90-96
Cemento Portland	4-10

#### **Requerimiento granulométrico**

Para realizar el diseño de la estabilización es posible utilizar:

- a. Fuente de cada componente del material
- b. Resultados de las pruebas aplicadas
- c. Valores meta para cada tamaño de agregado

- d. 90 kg de muestra de agregado
- e. 25 kg de ceniza
- f. 10 kg de limo
- g. 10 kg de cemento portland
- h. 2 kg de muestra del retardador o de otros aditivos

La producción se debe empezar solamente hasta que el diseño de mezcla aprobado.

### **305.05 Mezclado**

No iniciar la mezcla de los agregados cuando la temperatura atmosférica está por debajo de 4 °C. No coloque el material cuando la capa inferior está congelada, lodosa o cuando está lloviendo o nevando.

Mezclar los componentes con un equipo adecuado hasta que se obtenga una mezcla uniforme. Durante el mezclado, agregue suficiente agua para obtener el contenido de humedad óptimo.

El equipo de mezclado con lotes o implementos de medición debe proporcionar correctamente los componentes en masa y volumen. Se debe mantener la precisión de las cantidades de agregado, aditivos químicos y agua (basándose en la masa total seca) entre las siguientes tolerancias:

Agregado	± 2.0% en masa
Cenizas	± 1.5% en masa
Cal o cemento	± 0.5% en masa
Retardador u otro aditivo	± 2.0% en masa
Agua	± 2.0% en masa

Un retardador debe utilizarse para bajar la rigidez inicial por un período de 2 horas. Disuelva el retardador en agua y adhiera uniformemente la solución de la mezcla.

Cuando se utiliza una planta central, transporte la mezcla en vehículos que mantengan el contenido de humedad y prevengan la segregación y pérdida de material fino.

### **302.06 Colocación, compactación y acabado final**

Ubique, compacte y finalice la base de acuerdo con las secciones 301.04, 301.05 y 301.06. Mantenga el contenido de humedad ( $\pm 2\%$  del óptimo) durante la colocación y la finalización del trabajo.

No deje el agregado sin compactar por más de 30 minutos. Complete la compactación y finalice en 1 hora desde el momento en que el agua es agregada a la mezcla. Haga que la mezcla compactada quede lisa, densa y libre de crestas o material perdido.

Si el tiempo entre la colocación del material adyacente excede los 30 minutos, provea una ***junta de construcción***.

### 302.08 Curado

No permita que el flujo vehicular transite por la base. Mantenga cerrado el paso hasta la próxima capa sea ubicada. Aplique agua a presión en forma de rocío, de modo que éste sea uniforme. Coloque y compacte la próxima capa hasta que la base tenga **7 días** de finalizada.

La ubicación de la próxima capa puede postergarse hasta 21 días después de finalizada la base, mediante el sellado de ésta con un asfalto emulsificado. Después de 7 días aplique CRS-2 o RS-2 de asfalto emulsificado a una tasa de 1.1 litros por metro cuadrado de acuerdo con la sección 409. Provea un revestimiento uniforme sobre la superficie.

### Medida

302.10 La forma de medición del trabajo ejecutado es por tonelada o por metro cuadrado. La ceniza, el cemento, y el limo por tonelada métrica.

### Pago

302.11 Las cantidades aceptadas, medidas como se indica arriba, deben pagarse con el precio del contrato por la unidad de medida correspondiente, de acuerdo a lo siguiente:

Item de Pago	Unidad de Pago
• Base	Tonelada
• Base	Metro Cuadrado
• Cemento	Tonelada
• Ceniza	Tonelada
• Limo	Tonelada

## Tabla de Muestreo y Pruebas de Laboratorio

Material or Product	Property or Characteristic	Category	Test Methods or Specifications	Frequency	Sampling Point
Aggregate	Gradation <sup>(1)</sup> — 9.5 mm 4.75 mm 75 µm Other specified sieves	I I I II	AASHTO T 11 and AASHTO T 27	1 sample per 1000 t	From the windrow or roadbed after processing
	Liquid limit	—	AASHTO T 89	1 sample per 3000 t	From the windrow or roadbed after processing
Mixture	Moisture-Density (maximum density)	—	AASHTO T 180 method D	1 for each aggregate grading produced	Processed material before incorporated into the work
	Inplace density and moisture content	—	AASHTO T 238 and AASHTO T 239 or other approved procedures	1 for each 500 t	Inplace completed compacted layer

(1) Use only sieves indicated for the specified gradation.



## Síntesis de especificaciones para base estabilizada con cemento

### Control de Calidad en Obras en Carreteras (Ignacio Morilla Abad)

Tipo de Control	Especificación	Frecuencia
1. Ensayos de caracterización del cemento	No se usarán cementos de categoría $\geq 350$ . Se excluyen los cementos aluminosos y naturales.	1 vez al comienzo de los trabajos o por partida
2. Granulometría de los agregados		1 ensayo cada 2000 m <sup>3</sup> o fracción
3. Caras fracturadas de los agregados	$\geq 50\%$ en peso de la fracción retenida por el tamiz 5 de la UNE con 2 o mas caras de fractura	1 ensayo cada 2000 m <sup>3</sup> o fracción
4. Desgaste de los Angeles de los Agregados	DLA $< 30$ en bases tráfico pesado y DLA $< 35$ en otros casos	1 ensayo cada 4000 m <sup>3</sup> o fracción
5. Límites de Atterberg y plasticidad de los agregados	LL $< 25$ IP $< 6$	1 ensayo cada 3000 m <sup>3</sup> o fracción
6. Equivalente de arena de los agregados	EA $> 30$	3 ensayos cada 1000 m <sup>3</sup> o fracción
7. Contenido de Materia Orgánica de los agregados	Materia orgánica expresada en ácido tánico $< 0.05\%$	1 ensayo al comienzo de las obras o cuando varien los materiales.
8. Contenido en terrones de arcilla de los agregados	Terrones $< 2\%$ en peso	Id 7
9. Proporción de sulfatos de los agregados	SO <sub>3</sub> $< 0.54\%$ en peso	Id 5
10. Próctor modificado de la fórmula de trabajo	Normas NLT - 108	1 cada 1000 m <sup>3</sup> o fracción
11. Contenido de Cemento	$> 3\%$ en peso $< 4.5\%$ en capas de base de tráfico pesado y medio $< 4.0\%$ en otros casos	Id 3
12. Humedad de la mezcla en función de la humedad de los agregados.	Normas NLT 102-107	1 vez al día o cada 2000 m <sup>3</sup> o fracción
13. resistencia a compresión simple a 7 días de probetas de cemento	$> 35 \text{ kg/cm}^2$ en capas de base de tráfico pesado $> 30 \text{ kg/cm}^2$ en otros casos. Sólo con cemento portland	1 serie de 10 probetas al comienzo de los trabajos.

Tipo de Control	Especificación	Frecuencia
1. Temperatura Ambiente	> 2 °C con tendencia a aumentar > 5 °C si hay duda	Al comenzar el proceso de compactación o cuando se note descenso de temperatura
2. Densidad en sitio	> 97% Proctor Modificado	5 ensayos cada 3000 m <sup>2</sup> de tongada
3. Humedad en sitio	Comprendida entre la óptima Proctor menos 2%.	Idem 2
4. Compacidad y porosidad	$C = \gamma_d((1-L)/\gamma_s + L/\gamma_L)$ Donde $C > 0.85$ $\gamma_d$ = densidad seca aparente de la mezcla $\gamma_d$ = peso específico de los agregados $\gamma_L$ = Id. Del ligante $L$ = dosificación del ligante en peso de la mezcla	1 determinación de compacidad C por cada grupo de 10 ensayos de densidad y de humedad
5. Dosificación de componentes de la mezcla	Toma de muestras en central; de fabricación. Tolerancias en % del peso del agregado. Cernido por tamices > 2UNE +/- 2% y 0.40 UNE +/- 3%. Cernido por tamiz 0.080 UNE +/- 0.3%. Cemento +/- 3% Agua +/- 3%	1 ensayo por componente cada 500 m <sup>3</sup> fabricados
6. Rotura a compresión simple de probetas a 7 días	Normas NLT 202-305-310	Probetas cada 4000 m <sup>2</sup> de tongada.

Tipo de Control	Especificación	Frecuencia
1. Nivelación	La superficie acabada no rebasará a la teórica en ningún punto ni diferirán más de 1/5 del espesor.	1 vez al terminar la capa. Perfiles cada 20 m
2. Planeidad	Desnivel < 10 mm en regla de 3 m	1 vez cada 500 m <sup>3</sup> en zonas especialmente marcadas por el director de la obra.

## **Recomendaciones para la construcción de bases estabilizadas**

1. Los tipos de cemento a emplear son los que producen a la vez, una economía de utilización, una velocidad de fraguado relativamente lenta para dar lugar al proceso de fabricación, transporte, extendido y compactación y unas características físico-químicas aptas para reaccionar con el agregado.
2. El contenido de cemento de la fórmula de trabajo se mueve entre 3.5% y 4.5% en peso de los materiales secos para bases de tráfico pesado y medio.



## **Síntesis de especificaciones para base estabilizada con cemento**

**Ministerio de Obras Públicas de Chile.  
Especificaciones Técnicas Generales.**

Esta Sección se refiere a la construcción de bases tratadas con cemento (BTC) y bases granulares tratadas con cemento (GTC), en los lugares señalados en el Proyecto.

### **Descripción**

Las bases tratadas con cemento se refieren a materiales dosificados para obtener resistencias a la compresión a 7 días iguales o superiores a  $45 \text{ kg/cm}^2$ , con porcentajes de cemento iguales o superiores al 5% en peso, en tanto que las bases granulares tratadas con cemento se dosificarán para resistencias a la compresión a 7 días entre 25 y  $45 \text{ kg/cm}^2$ , con dosis de cemento inferiores al 5% en peso.

### **5.304.2 Materiales**

#### **5.304.201 Cemento y agua**

El cemento hidráulico deberá ajustarse en lo que corresponda a lo especificado en la norma chilena 148 y el agua a lo dispuesto en la Especificación LNV 101.

#### **5.304.202 Aridos**

Los áridos para bases granulares tratadas con cemento (GTC) y bases tratadas con cemento (BTC) deberán ajustarse a los requisitos de calidad y graduación, según lo establecido en la sección 6 y 7 respectivamente, de la Especificación LNV 102, salvo que no habrá exigencia en cuanto al poder de soporte (CBR)

de los materiales. Una vez elegida una banda granulométrica, ésta no podrá ser cambiada por otra sin previa autorización por escrito de la Inspección Fiscal.

El equivalente de arena de los materiales no deberá ser inferior a 15% y el contenido de sales solubles no mayor a 4%, según los Métodos LNV 71 y LNV 76 respectivamente.

#### **5.304.201 Cemento y agua**

El cemento hidráulico deberá ajustarse en lo que corresponda a lo especificado en NCh 148 y el agua a lo dispuesto en la Especificación LNV 101.

#### **5.304.202 Aridos**

Los áridos para bases granulares tratadas con cemento (GTC) y bases tratadas con cemento (BTC) deberán ajustarse a los requisitos de calidad y graduación, según lo establecido en la sección 6 y 7 respectivamente, de la Especificación LNV 102, salvo que no habrá exigencia en cuanto al poder de soporte (CBR) de los materiales. Una vez elegida una banda granulométrica, ésta no podrá ser cambiada por otra sin previa autorización por escrito de la Inspección Fiscal.

El equivalente de arena de los materiales no deberá ser inferior a 15% y el contenido de sales solubles no mayor a 4%, según los Métodos LNV 71 y LNV 76 respectivamente.

### **5.304.3 Procedimientos de trabajo**

#### **5.304.301 Preparación del área de apoyo**

Antes de iniciar cualquier faena de colocación de materiales tratados con cemento, el estado del área de apoyo, ya sea ésta la subrasante u otra capa especificada, deberá satisfacer los requerimientos establecidos en el Proyecto y la correspondiente Sección de estas E.T.G..

#### **5.304.302 Preparación de la mezcla**

##### ***(1) Generalidades***

Las mezclas para bases o granulares tratados con cemento deberán prepararse en plantas mezcladoras fijas o móviles. Sólo excepcionalmente, la Inspección Fiscal autorizará el mezclado en sitio. La dosificación se deberá establecer según lo dispuesto en el método LNV 4 para el tipo de mezcla estipulada en el Proyecto. El control de mezclado se ajustará a lo estipulado en el método LNV 5. El material se deberá acopiar en canchas habilitadas especialmente para este efecto, de manera que no se produzca contaminación ni segregación de los materiales.

##### ***(2) Mezcla en planta***

Las plantas mezcladoras deberán estar diseñadas para producir mezclas homogéneas y ajustadas a las proporciones de áridos, cemento y agua requeridos.

Deberán estar provistas de dispositivos que permitan modificar fácilmente las proporciones de los componentes que se incorporan a la mezcla. Asimismo, los

alimentadores de los áridos y del cemento deberán ser fácilmente accesibles para la toma de muestras por la Inspección Fiscal.

La planta mezcladora deberá disponerse de manera de minimizar la altura de caída libre de la mezcla preparada.

### **(3) Mezcla en sitio**

Cuando taxativamente el Proyecto o la Inspección Fiscal autoricen omitir el mezclado en planta, éste podrá realizarse en sitio. En estas circunstancias el Contratista deberá previamente presentar a la Inspección Fiscal, por escrito, un programa o método de trabajo, que incluya un detalle de las distintas etapas, procedimientos, maquinarias y equipos a emplear. Sólo una vez aprobado por la Inspección Fiscal el programa propuesto, podrá el Contratista iniciar los trabajos para la confección de la mezcla en sitio.

#### **5.304.303 Colocación**

El control de colocación de las bases o granulares tratadas con cemento se ajustará a lo establecido en el Método LNV 5. Antes de comenzar a esparcir el material, la superficie de apoyo deberá ser ligeramente humedecida, pero evitando que se formen charcos o barro.

El material transportado directamente desde la planta mezcladora deberá extenderse sobre la plataforma del camino, incluyendo áreas de espaldones si corresponde, mediante máquinas distribuidoras autopropulsadas, debiendo quedar la mezcla lista para ser compactada sin necesidad de mayor manipuleo del material colocado para obtener el espesor, ancho y bombeo deseado. Donde se requiera la construcción de juntas longitudinales entre pistas, éstas no deberán quedar a una distancia superior a 0,30 m del eje de las pistas de rodadura.

En casos especiales la Inspección Fiscal podrá autorizar que la mezcla debidamente preparada se deposite formando pilas a lo largo de la superficie a cubrir. El volumen apilado deberá ser uniforme y calculado para obtener el espesor, ancho y bombeo especificado. En este caso, la mezcla deberá ser esparcida de inmediato, mediante una motoniveladora acondicionada especialmente para dicha faena. La motoniveladora deberá estar equipada con un sistema de control automático u otro que permita obtener el espesor y bombeo deseado y con pletinas metálicas en los extremos de la pala, la cual quedará trabada en posición normal al sentido de desplazamiento.

La mezcla que deba colocarse en áreas inaccesibles para el equipo de colocación y compactación podrá ser esparcida y compactada de manera que se cumpla con la compactación y terminación establecida.

El material extendido deberá ser homogéneo sin presentar bolsones o nidos de materiales finos o gruesos. Las capas compactadas no deberán tener un espesor inferior a 0,12 m ni superior a 0,24 m. Espesores superiores a 0,24 m deberán extenderse en capas. La superficie de la primera capa se mantendrá humedecida hasta la colocación de la siguiente capa.

Ningún material tratado con cemento deberá mezclarse o colocarse cuando la temperatura ambiental sea menor que 2 °C o cuando las condiciones indiquen que la temperatura puede caer bajo 2 °C dentro de las siguientes 24 horas.

Los sectores de camino donde se coloquen materiales tratados con cemento deberán estacarse emplazando puntos de referencia altimétrica y de ubicación, a distancias no superiores a 20 m entre sí. Deberán estacarse además todos los puntos singulares del trazado. En zonas de transición de peraltes las estacas se deberán colocar a 10 m de distancia entre sí, como máximo.

### **5.304.304 Compactación y terminación de la superficie**

Deberán utilizarse equipos de compactación adecuados para alcanzar la densidad requerida, dentro de los tiempos de operación establecidos en el Método LNV 5.

La compactación se realizará de preferencia con rodillos lisos metálicos. El rodillado deberá iniciarse inmediatamente después de concluido el esparcido del material. El rodillo deberá progresar en forma gradual desde el punto bajo de los costados hacia el centro de la vía en construcción, traslapando cada pasada con la precedente en por lo menor la mitad del ancho del rodillo. Después de haber completado a lo menos una pasada de rodillo sobre la superficie expuesta, se procederá a rebajar cualquier zona con puntos altos mediante motoniveladora, no aceptándose el relleno de puntos bajos con el material proveniente de rebajas de zonas altas. La motoniveladora deberá circular a suficiente distancia de los bordes de la base de manera de no dañarlos. Después de perfilada la superficie, se retirará todo el material suelto y se procederá con la compactación final del material hasta alcanzar la mínima densidad especificada más adelante.

Tan pronto como terminen las operaciones de compactación, se procederá a controlar el espesor, y el grado de compactación alcanzado mediante el Método LNV 19 6 LNV 62. La densidad deberá alcanzar como mínimo el 95% de la densidad de diseño determinada según el Método LNV 4, salvo para bases o granulares tratados con cemento que se construyan inmediatamente debajo de la capa de rodadura, donde la compactación deberá alcanzar como mínimo el 98% de la densidad de diseño. El nivel de compactación se determinará, en general, con una muestra cada 50 m cuando el material cubra dos vías del camino y cada 75 m cuando cubra sólo una. En caso de incumplimiento, se deberá continuar con el rodillado hasta alcanzar el mínimo grado de compactación exigido, dentro de los tiempos de operación establecidos en el Método LNV 5.

Cuando se requiera la colocación del material en dos capas, la primera deberá ser recibida con respecto a la máxima densidad requerida, previo a la colocación de la segunda capa.

La superficie terminada se deberá mantener humedecida hasta la faena de curado y no variará en ningún punto en más de 1,5 cm sobre o por debajo de las cotas establecidas en el Proyecto, exceptuando cuando la estructura a construir sobre las bases o granulares tratados con cemento sea pavimento de hormigón. En este último caso, no se aceptará que ningún punto de la superficie terminada exceda las cotas establecidas en el Proyecto.

Las áreas con cotas inferiores a 1,5 cm con respecto a las establecidas en el Proyecto, serán reemplazadas por cuenta del Contratista en todo el espesor de la capa con nueva mezcla. Alternativamente, si la carpeta de rodadura es mezcla asfáltica, se podrán rellenar las depresiones con dicha mezcla en una operación previa a la construcción de la primera capa asfáltica proyectada. Por otra parte, cuando el Proyecto consulte pavimento de hormigón sobre los materiales granulares tratados con cemento, los puntos bajos podrán ser rellenados con mezcla de hormigón colocada simultáneamente con el hormigón de las faenas de pavimentación programadas. En ambos casos estos rellenos serán ejecutados por cuenta del Contratista, a plena satisfacción de la Inspección Fiscal.

No obstante que se aceptarán las tolerancias de terminación antes señaladas, el Contratista tomará todas las precauciones necesarias para cumplir con los requisitos de espesor, lisura, rugosidad (IRI), y/o exigidos para el pavimento de rodadura a construir sobre los materiales granulares tratados con cemento.

#### **5.304.305 Juntas de construcción**

Las juntas transversales de construcción se deberán ejecutar al final de cada día de trabajo y cuando las operaciones de colocación se paralicen por más de

2 horas. Las juntas consistirán en un corte vertical sobre material completamente compactado.

Una vez terminada la compactación de la base, se procederá a cortar verticalmente la junta longitudinal de construcción entre pistas, según lo descrito en el párrafo anterior. Cuando lo ordene la Inspección Fiscal, también se cortará verticalmente el borde adyacente al espaldón. Todo material producto de los cortes deberá ser retirado de la obra.

La colocación de bases granulares tratadas con cemento sólo deberá reiniciarse después que la Inspección Fiscal hubiere aprobado la disposición de las juntas de construcción. Las caras verticales, producto de los cortes, deberán humedecerse antes de continuar con la colocación del material en áreas adyacentes.

#### **5.304.306 Curado, mantención y construcción de la capa superior**

El curado se iniciará tan pronto se termine y sea aprobada la perfiladura y compactación de la base, debiéndose cumplir con los requisitos establecidos en el Método LNV S. Este curado se mantendrá como mínimo durante 7 días, no permitiéndose tránsito durante dicho período de curado, salvo equipo de construcción, después de las 72 horas del término de la compactación, siempre que se trate de la construcción de la capa superior. Se tomarán todas las precauciones necesarias para que el equipo de construcción se apoye a suficiente distancia de los bordes para no dañarlos

El Contratista deberá mantener las bases granulares tratadas con cemento en condiciones satisfactorias hasta la construcción de la capa superior. Si la Inspección Fiscal constatará deterioro o deformaciones, ésta ordenará al Contratista ejecutar las reparaciones que estime necesarias, como requisito previo para autorizar la colocación de la capa superior.

Cualquier daño producido a las bases granulares tratadas con cemento, por efecto de congelamiento, precipitaciones u otras condiciones climáticas adversas, deberá ser reparado por cuenta del Contratista a entera satisfacción de la Inspección Fiscal.



## **Síntesis de especificaciones para base estabilizada con cemento**

**Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica.  
Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Carreteras y Puentes. (CR-77)**

### **SECCION 308: BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO PORTLAND**

**308.01** Este trabajo deberá consistir en la construcción de una o varias capas de una mezcla de agregados y cementos portland sobre una superficie preparada de acuerdo con las Especificaciones y razonablemente ajustado a los alineamientos, rasantes, espesores, secciones, típicas, etc., mostrados en los planos o fijados por el ingeniero.

#### **MATERIALES**

**308.02** Los agregados para bases tratadas con cemento, deberán consistir en partículas duras y durables de escorias, piedras, gravas, pizarras, tobas o lastres terminados o triturados para obtener la graduación que se indica a continuación:

<b>Tamiz</b>	<b>% Pasando</b>
50.8 mm	100
No.4	50-100
No.40	20-70
No.200	5-35

Los agregados deberán tener un límite líquido no mayor de 40 y un índice plástico igual o menor a 8, determinados por los ensayos AASHO T-89 y T-90 respectivamente.

Se podrán aceptar materiales con valores más altos que los indicados siempre y cuando al ser mezclados con cemento en el porcentaje por peso establecidos, los valores de límite líquido e índice plástico sean iguales o menores a los pedidos.

**CEMENTO PORTLAND:** El cemento deberá establecer los requisitos de las Especificaciones ASTM C150 última edición.

**AGUA:** El agua que se utiliza para la mezcla, curado y otras aplicaciones deberá estar razonablemente limpia y exenta de aceite, sales, ácidos, álcali, azúcar, material vegetal o cualquier otra sustancia perjudicial para el producto acabado.

**MATERIALES BITUMINOSOS:** Los materiales bituminosos usados en la cura deben ser uno de los siguientes tipos:

1. Alquitranes: Los alquitranes deberán satisfacer los requisitos de AASHO M52.
2. Asfaltos Líquidos: Los asfaltos líquidos deberán satisfacer los requisitos de las siguientes especificaciones:
  - a) Asfalto líquido de cura rápida (RC) AASHO M81
  - b) Asfalto líquido de cura media (MC) AASHO M82
  - c) Asfalto líquido de cura lenta (SL) AASHO M141
3. Asfaltos Emulsiones: Los asfaltos emulsionados deberán satisfacer los requisitos AASHO M140 (ASTM D-077)

Los asfaltos emulsionados catiónicos deberán satisfacer los requisitos AASHO M-208.

**REQUISITOS DE RESISTENCIA:** La resistencia de la base mezclada con el porcentaje de cemento portland establecido y compactado al 100% de la densidad máxima obtenida según ensayo AASHO T-134 deberá cumplir con el siguiente requisito de acuerdo al tipo de base estabilizada especificada.

Tipo de base estabilizada	Resistencia min. permisible Kg/m <sup>2</sup>	Resistencia promedio Kg/m <sup>2</sup>	Tiempo de curado
BE 25	21	30	7 días
BE 35	30	40	7 días

### REQUISITOS PARA LA CONSTRUCCION

**308.03.** A no ser que fuese estipulado de otra manera, el Contratista podrá utilizar el método de mezcladora móvil, mezcla en planta o mezcla en camino, como se describe más adelante.

a) **Método de mezcladora móvil:** El agregado obtenido por la escarificación de la carretera existente, o de otras fuentes, deberá ser pulverizado hasta que por lo menos el 75% de todo el material pueda pasar por un tamiz No.4 antes del endurecimiento, excepto las gravas o las piedras. Se desechará todo el material retenido en un tamiz de 7.5 cm y el material inadecuado por otros motivos. Si se especifica material adicional, éste deberá ser mezclado con el material existente.

La subbase deberá poder soportar todo el equipo que se necesite para la construcción de la base.

Las áreas suaves o que se hundan deberán ser corregidas previamente al proceso de mezclado.

El agregado que vaya a ser estabilizado se colocará en camellones uniformes, o se extenderá con un espesor uniforme hasta el ancho requerido.

Los asfaltos emulsionados catiónicos deberán satisfacer los requisitos AASHO M-208.

REQUISITOS DE RESISTENCIA: La resistencia de la base mezclada con el porcentaje de cemento portland establecido y compactado al 100% de la densidad máxima obtenida según ensayo AASHO T-134 deberá cumplir con el siguiente requisito de acuerdo al tipo de base estabilizada especificada.

Tipo de base estabilizada	Resistencia min. permisible Kg/m <sup>2</sup>	Resistencia promedio Kg/m <sup>2</sup>	Tiempo de curado
BE 25	21	30	7 días
BE 35	30	40	7 días

### REQUISITOS PARA LA CONSTRUCCION

**308.03.** A no ser que fuese estipulado de otra manera, el Contratista podrá utilizar el método de mezcladora móvil, mezcla en planta o mezcla en camino, como se describe más adelante.

a) Método de mezcladora móvil: El agregado obtenido por la escarificación de la carretera existente, o de otras fuentes, deberá ser pulverizado hasta que por lo menos el 75% de todo el material pueda pasar por un tamiz No.4 antes del endurecimiento, excepto las gravas o las piedras. Se desechará todo el material retenido en un tamiz de 7.5 cm y el material inadecuado por otros motivos. Si se especifica material adicional, éste deberá ser mezclado con el material existente.

La subbase deberá poder soportar todo el equipo que se necesite para la construcción de la base.

Las áreas suaves o que se hundan deberán ser corregidas previamente al proceso de mezclado.

El agregado que vaya a ser estabilizado se colocará en camellones uniformes, o se extenderá con un espesor uniforme hasta el ancho requerido.

La cantidad de cemento portland especificada deberá ser aplicada uniformemente en un canal encima del camellón se extenderá uniformemente sobre el agregado. El cemento que se haya perdido antes de iniciarse el mezclado, deberá ser repuesto sin compensación adicional.

La mezcla se efectuará utilizando una mezcladora que resuelva completamente el agregado con un dispositivo que mida el agua para que introduzca la cantidad necesaria durante el ciclo de mezclado. Si se necesitara más de una pasada de la mezcladora, deberá efectuarse por lo menos una de ellas antes de agregar el agua. Cuando así fuere aprobado por el ingeniero podrán usarse otros métodos para mezclar los materiales destinados a cubrir superficies de 10000 metros cuadrados o menos.

- b) Método de mezclado en planta: El agregado deberá ser dosificado y mezclado con el cemento y el agua en una planta mezcladora fija. Esa planta deberá estar equipada con aditamentos alimentadores y medidores que introduzcan el cemento, el agregado y el agua en las cantidades especificadas. El mezclado deberá continuar hasta que se haya obtenido una mezcla completa y uniforme de agregado cemento y agua.

El material mezclado deberá ser llevado a la carretera en vehículos adecuados y ser extendido sobre la subbase humedecida en una capa uniforme por medio de un distribuidor autopropulsado u otra clase de distribuidor aprobado. No deberán transcurrir más de 60 minutos entre el comienzo del mezclado y la hora de comenzar la compactación de la mezcla estabilizada con cemento, extendida sobre la subbase preparada.

- c) La distribución se hará por medio de esparcidores o vehículos especialmente equipados para distribuir el material en capas uniformes. El material será entonces repartido en camellones. Los camellones de material selecto deberán hacerse de sección uniforme y se mantendrán así hasta que se complete la medición y se hayan obtenido las muestras de humedad.

El cemento será esparcido sobre los camellones por medio de un esparcidor mecánico apropiado o el camellón será esparcido en todo el ancho de la sección y los sacos de cemento repartidos uniformemente, luego se le agregará el agua, todo de acuerdo a las indicaciones del ingeniero.

El material selecto deberá entonces ser mezclado con el agua y el cemento por medio de mezcladoras rotatorias, cultivadoras de campo de servicio pesado, escarificadoras u otro equipo aprobado por el ingeniero.

**308.04 COMPACTACION Y ACABADO:** Según requisitos de resistencia establecidos en el artículo 308.02. La compactación de la base será determinada de acuerdo con AASHO T-127, T-191, T-205 y otras pruebas aprobadas, incluyendo el uso de aparatos nucleares aprobados, debidamente calibrados. De acuerdo con AASHO T-224-67 I se puede hacer una corrección respecto a partículas gruesas. Cualquier mezcla de agregado cemento y agua, que no se hubiese compactado, no deberá dejarse apilada durante más de 30 minutos. El porcentaje de humedad en la mezcla terminada no debe ser mayor de un 5% en exceso de la humedad óptima determinada por AASHO T-134. La compactación deberá quedar terminada dentro de las dos horas después de añadir el agua a la mezcla. La compactación de la superficie deberá ser realizada sobre toda la sección transversal correspondiente. Todas las deformaciones deberán ser eliminadas y la superficie será compactada nuevamente.

**308.05 PROTECCION Y CURADO:** Después de terminada la base estabilizada con cemento se deberá mantener húmeda continuamente hasta que se haya aplicado una película protectora de material bituminoso encima de la base. No se permitirá antes de los siete días de construida la base, la colocación de las capas de rodamiento de la carretera.

**308.06 RESTRICCIONES DE TRANSITO:** No se deberá permitirse el tránsito de vehículos durante las operaciones de mezclado (en el caso contemplado en el artículo 307.3 c), distribución y compactación inicial de la mezcla.

El tránsito de vehículos durante el proceso de compactación deberá ser regulado en cuanto a velocidad y vías de circulación para evitar sobrecompactaciones localizadas en surcos.

Para proteger el riego de material asfáltico para curado, deberá seguirse las normas establecidas en la sección 409.

## METODO DE MEDICION

**308.07** La base estabilizada con cemento portland se medirá como sigue: El cemento portland por tonelada (1000 kilogramos). El agregado de las diferentes fuentes será medido por metro cúbico o metro cuadrado, realmente colocados y aceptados. El material bituminoso para curado se medirá por litro.

## BASE PARA EL PAGO

**308.08** Las cantidades aceptadas de la base estabilizada con el cemento portland, determinadas según lo estipulado anteriormente, serán pagadas al precio unitario del contrato, por tonelada para el cemento portland, por metro cuadrado o metros cúbicos para el material bituminoso de cura, totalmente colocado en la obra.

Los pagos se harán como sigue:

Renglón de pago	Unidad de pago
308(1) Cemento portland para la base estabilizada con cemento portland	Tonelada
308(2) Agregado para la base estabilizada con cemento portland	Metro cúbico
308(3) Agregado para la base estabilizada con cemento portland	Metro cuadrado
308(4) Sello de cura, asfalto líquido para la base estabilizada con cemento portland	Litro
308(5) Sello de cura, asfalto emulsionado para la base asfáltica con cemento portland	Litro
308(6) Sello de cura, de alquitrán para la base estabilizada con cemento portland	Litro

Para designar los tipos alternativos de agregados, que se coticen y poder diferenciar unos de otros se añadirán letras a los números que indican los renglones de pago como el 308(2)a y 308(2)b.

## **Síntesis de especificaciones para base estabilizada con cemento**

State of California  
Department of Transportation  
Standar Specifications, 1995

### **27-1.02 Materiales**

Se debe utilizar cemento Portland Tipo II modificado conforme lo que se indica en la sección 90-2.01 "Cemento Portland".

El agua debe estar de acuerdo con la norma 90-2.03.

El agregado para utilizar en la base estabilizada con cemento clase A debe tener una calidad tal que al mezclarlo con el cemento Portland tipo II en una cantidad que no exceda el 5% en masa de agregado seco y compactado al óptimo de humedad, genere un resistencia a la compresión de una muestra de mezcla compactada superior a los 5.2 MPa a los 7 días.

El agregado para utilizar en la base estabilizada con cemento clase B debe tener una resistencia superior a 60 (valor R) antes del mezclado y superior a 80 (valor R) después del mezclado, al mezclarlo con una cantidad menor al 2.5% de cemento, respecto al peso seco de agregado.

Las características más importantes del agregado deben ser las siguientes: El agregado debe estar libre de materia vegetal y sustancias deletéreas. No debe ser tratado con cal, cemento u otras sustancias químicas hasta que no se conozca el valor de su equivalente de arena.

Porcentaje Pasando				
Malla	Clase A		Clase B	
	Rango de Operación	Cumplimiento del Contratista	Rango de Operación	Cumplimiento del Contratista
75 mm	-	-	100	100
63 mm	-	-	90-100	87-100
25 mm	100	100	-	-
19 mm	90-100	87-100	-	-
4.75 mm	40-70	35-75	35-70	28-77
600 $\mu\text{m}$	12-40	7-45	-	-
75 $\mu\text{m}$	3-15	0-19	3-20	0-24

El equivalente de arena del agregado debe tener un valor superior a lo siguiente:

Rango Operativo	21
Cumplimiento del Contratista	18

Si los resultados obtenidos incumplen el rango operativo pero cumplen con el rango de cumplimiento de contratista el trabajo puede continuarse sin problema.

Se debe tomar una muestra para equivalente de arena y para graduación por cada 400 m<sup>3</sup> o por día de producción.

### 27-1.11 Medición

La cantidad de cemento debe ser pagada por metro cúbico o tonelada.

La cantidad de cemento de una base tratada con cemento será pagada por metro cúbico, de acuerdo a lo siguiente:

El volumen será calculado con base en las dimensiones presentadas en los planos de acuerdo con el cambio sugerido por el ingeniero.

Si hay que realizar una deducción en áreas que presenten deficiencias en su espesor, la deducción deberá ser computada por el producto siguiente: a. El espesor deficiente menos la tolerancia permitida, b. El espesor contratado y c. La distancia longitudinal deficiente.

La distancia longitudinal entre los espesores medidos no debe exceder 300 m para dirección de la vía. Cuando lo requiere el contratista, el ingeniero puede determinar otros puntos de medición aleatorios, pero el costo de la realización de estos ensayos va por cuenta del contratista.

Si el ingeniero ordena un incremento o reducción de la cantidad de cemento Portland, la cantidad de cemento a incrementarse o disminuirse estará dada por la sección 27-1.12. El pago, será la diferencia entre la cantidad teórica de cemento y la cantidad teórica ordenada por el ingeniero. La cantidad teórica será determinada por el uso de la siguiente fórmula:

$$W_c = \frac{C * V(D - M)}{100 + C}$$

en donde:

$W_c$  = Cantidad teórica de cemento en kg

$C$  = Porcentaje de cemento en la mezcla

$V$  = Pago de base en metros cúbicos

$D$  = Densidad húmeda en sitio promedio en  $\text{kg}/\text{m}^3$

$M$  = Humedad promedio en sitio en  $\text{kg}/\text{m}^3$

La cantidad de base tratada con cemento que se pagará por tonelada será determinada como sigue:

La cantidad de base a ser pagada será la suma de la masa de agregado usado y la masa de cemento adheridos a la mezcla.

#### **27-1.12 Pago**

El pago se efectuará como se especifica en la sección 27-1.11, y se pagará para todos los precios del contrato por metro cúbico o tonelada.



---

## **II Análisis Estadístico del Control de Calidad en Proyectos Ejecutados**

---

### **Introducción**

En el ítem de base estabilizada con cemento se ha desarrollado el análisis de bases de datos de distintos proyectos desarrollados por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes. En los cuatro primeros casos se consignan los resultados del estudio estadístico realizado. En el último de los casos no hay información suficiente como para poder realizar el análisis estadístico.

Los proyectos mencionados son los siguientes:

- Cartago – Tierra Blanca
- Corralillos – Tablón – Tobosi
- Jacó – Loma
- Tárcoles – Jacó
- Proyectos Varios: Arenal – Sangregado, San Ramón, Atenas – Concepción, La Georgina – Pérez Zeledón, San Ramón – Calle Valverde.

Los parámetros analizados para la base estabilizada con cemento son los siguientes:

- Porcentaje de Compactación
- Porcentaje de Humedad
- Resistencia a la Compresión

---

# Anexo

---

- I. **Resumen de Normas Internacionales**
- II. **Análisis del control de calidad en proyectos ejecutados**



---

## I Resumen de normas internacionales

---

Las normas que se presentan a continuación corresponden a la siguiente referencia bibliografía:

- Estándar Specifications for Construction of Roads and Bridges on Federal Highway Projects (FP -96).
- Control de Calidad en Obras en Carreteras (Ignacio Morilla Abad)
- Ministerio de Obras Públicas de Chile.  
Especificaciones Técnicas Generales.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica.  
Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Carreteras y Puentes. (CR-77)
- Commonwealth of Puerto Rico.  
Department of Transportation and Public Works.  
Highway Authority. 1989.
- State of California.  
Department of Transportation.  
Standar Specifications, 1995.

# Normas sobre Acabado Superficial y Caras Fracturadas en Base Granular

State of California. Department of Transportation. Standar Specifications, 1995.	
Subbase	Base
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuando el material se paga por tonelaje Variación de <math>\pm 25</math> mm</li> <li>• Cuando el material se paga por <math>m^3</math> Ninguna variación, se aplican multas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuando el material se paga por tonelaje Variación de <math>\pm 15</math> mm</li> <li>• Cuando el material se paga por <math>m^3</math> Ninguna variación, se aplican multas</li> </ul>

Las multas se calculan como el producto de:

1. El espesor deficiente menos la tolerancia permitida.
2. El ancho de la calzada
3. La diferencia de longitud entre puntos que cumplan con lo establecido

Los anteriores multiplicados por un factor de \$ 14.5.

Control de Calidad en Obras en Carreteras (Ignacio Morilla Abad)	
Subbase	Base
-	<p><b>Caras Fracturadas</b> La fracción retenida en el tamiz 5 UNE, debe contener un mínimo en peso de un 50% de elementos con 2 o más caras fracturadas.</p>
<p><b>Nivelación</b> La superficie acabada no debe rebasar la teórica en ningún punto, ni diferir de ella en más de 1/5 del espesor</p>	<p><b>Nivelación</b> La superficie acabada no debe rebasar la teórica en ningún punto, ni diferir de ella en más de 1/5 del espesor</p>
<p><b>Planeidad</b> Los desniveles deben ser menores a 10 mm, medidos con un codal de 3 m.</p>	<p><b>Planeidad</b> Los desniveles deben ser menores a 10 mm, medidos con un codal de 3 m.</p>

**Florida Department of Transportation.  
Standar Specifications for Road and Bridge Construction, 1999**

Subbase	Base
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar chequeos de acabado de superficie con codal de 4.572 m de forma paralela a la línea centro.</li> <li>• Corregir irregularidades mayores a 6 mm.</li> </ul>	

**Commonwealth of Puerto Rico.  
Department of Transportation and Public Works.**

Subbase	Base
Variación < 1.5 cm de la condición de diseño, medido con un codal de 3 m en sentido paralelo y perpendicular a la línea centro del camino.	Variación < 1.25 cm de la condición de diseño, medido con un codal de 3 m en sentido paralelo y perpendicular a la línea centro del camino.

**Ministerio de Obras Públicas de Chile. Especificaciones Técnicas Generales.  
Manual de Carreteras. Volumen 5.**

Subbase	Base
<ul style="list-style-type: none"> <li>• +0.0 cm a -2.5 cm para subbase con CBR <math>\geq</math> 40%</li> <li>• +1.0 cm a -1.0 cm para subbase con CBR <math>\geq</math> 40%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• +1.0 cm a -1.0 cm para base con CBR <math>\geq</math> 80%</li> <li>• +1.5 cm a -1.0 cm para base con CBR <math>\geq</math> 100% y para CBR <math>\geq</math> 120%</li> </ul>

## **Síntesis de especificaciones para base y sub-base granular**

**Estándar specifications for construction of roads and bridges on federal highway projects (FP -96).**

### **Sección 703-5**

a. **General.** Los agregados deben constar de partículas duras y durables que provengan de piedras, material quebrado o grava, de acuerdo con lo siguiente:

- |   |          |
|---|----------|
| (1) Abrasión, AASHTO T 96                                       | 50% max  |
| (2) Pérdida de sanidad en Sulfato de Sodio<br>AASHTO T 210      | 12% max  |
| (3) Índice de Durabilidad (gruesos)<br>AASHTO T 210             | 35 min   |
| (3) Índice de Durabilidad (finos)<br>AASHTO T 210               | 35 min   |
| (4) Caras Fracturadas<br>FLH T 507                              | 50 % min |
| (5) Libre de materia orgánica y terrones o matrices de arcilla. |          |

b. Agregado para base o sub-base. Se debe seguir lo siguiente:

- (1) Límite líquido, AASHTO T 89 25 máx  
 (2) Graduación de acuerdo a la siguiente tabla:

Target Value Ranges for Subbase and Base Gradation

Sieve Size	Percent by Mass Passing Designated Sieve (AASHTO T 27 and T 11)				
	Grading Designation				
	A (Subbase)	B (Subbase)	C (Base)	D (Base)	E (Base)
63 mm	100 <sup>(1)</sup>				
50 mm	97 - 100 <sup>(1)</sup>	100 <sup>(1)</sup>	100 <sup>(1)</sup>		
37.5 mm		97 - 100 <sup>(1)</sup>	97 - 100 <sup>(1)</sup>	100 <sup>(1)</sup>	
25 mm	65 - 79 (6)			97 - 100 <sup>(1)</sup>	100 <sup>(1)</sup>
19 mm			67 - 81 (6)		97 - 100 <sup>(1)</sup>
12.5 mm	45 - 59 (7)				
9.5 mm				56 - 70 (7)	67 - 79 (6)
4.75 mm	28 - 42 (6)	40 - 60 (8)	33 - 47 (6)	39 - 53 (6)	47 - 59 (7)
425 μm	9 - 17 (4)		10 - 19 (4)	12 - 21 (4)	12 - 21 (4)
75 μm	4.0 - 8.0 (3)	0.0 - 12.0 (4)	4.0 - 8.0 (3)	4.0 - 8.0 (3)	4.0 - 8.0 (3)

(1) Statistical procedures do not apply.

( ) Allowable deviations (±) from the target values.

### Requerimientos de Construcción

**301.04. Mezclado y colocación.** Determine el contenido de humedad óptimo de acuerdo con AASHTO T 180 método D. Mezcle el agregado y ajuste el contenido de humedad para obtener una mezcla uniforme con el contenido de humedad en una tolerancia de 2% del contenido teórico. Expandla y coloque la mezcla en una superficie preparada en una capa uniforme.

No exceda los 150 mm del espesor de diseño.

**301.05. Compactación.** Determine la densidad máxima de acuerdo con AASHTO T 180 método D.

Compacte cada capa en su ancho total. Compacte de los lados hacia el centro, paralelo a la línea de centro del camino.

Compacte cada capa al menos al 95% de la densidad máxima. Determine la densidad de sitio de acuerdo con AASHTO T 29.

### 301.06 Tolerancia de la superficie

La tolerancia permitida para el espesor, de acuerdo con lo especificado en los planos es de  $\pm 10$  mm.

Si la profundidad de la capa no es el especificado, se debe chequear la superficie con una barra de 3 m. Las áreas defectuosas con desviaciones superiores a los 15 mm en 3 m deben ser removidas y compactadas.

Tabla de Muestreo y Pruebas de Laboratorio

Material or Product	Property or Characteristic	Category	Test Methods or Specifications	Frequency	Sampling Point
Subbase and Base courses	Gradation <sup>(1)</sup> ---		AASHTO T 11 and AASHTO T 27	1 sample per 1000 t	From the windrow or roadbed after processing
	9.5 mm	I			
	4.75 mm	I			
	75 $\mu$ m	I			
	Other specified sieves	II			
	Liquid limit	---	AASHTO T 89	1 sample per 3000 t	From the windrow or roadbed after processing
	Moisture-Density (maximum density)	---	AASHTO T 180 method D	1 for each aggregate grading produced	Production output or stockpile
	Inplace density and moisture content	---	AASHTO T 238 and AASHTO T 239 or other approved procedures	1 for each 500 t	Inplace completed compacted layer

(1) Use only sieves indicated for the specified gradation.

Continuación de tabla anterior

Material or Product	Property or Characteristic	Category	Test Methods or Specifications	Frequency	Sampling Point
Surface course aggregate	Gradation <sup>(1)</sup> —				
	4.75 mm	I	AASHTO T 11 and AASHTO T 27	1 sample per 1000 t	From the windrow or roadbed after processing
	425 µm	I			
	75 µm	I			
	Other specified sieves	II			
	Plasticity index	I	AASHTO T 90	1 sample per 1000 t	From the windrow or roadbed after processing
	Moisture-Density (maximum density)	—	AASHTO T 180 method D	1 for each aggregate grading produced	Production output or stockpile
	Inplace density and moisture content	—	AASHTO T 238 and AASHTO T 239 or other approved procedures	1 for each 500 t	Inplace completed compacted layer

(1) Use only sieves indicated for the specified gradation.

### Base para el pago

El pago se efectuará con base en los metros cúbicos de material colocado y compactado.

## Síntesis de especificaciones para base y sub-base granular

Control de Calidad en Obras en Carreteras (Ignacio Morilla Abad)

Tipo de Control	Especificación	Finalidad	Frecuencia
Granulometría	Fracción que pasa por tamiz 0.080 < ½ de la fracción gruesa que pasa por tamiz 0.40	Cumplir una composición granulométrica dentro de unos usos que garanticen alta densidad y capacidad portante con una plasticidad reducida o nula que proporcione drenabilidad e insensibilidad al agua.	1 Ensayo por cada 1000 m <sup>3</sup> o fracción
Tamaño Máximo de los agregados	½ del espesor de la tongada compactada	Facilitar la extensión y compactación evitando heterogeneidades	Idem 1
Desgaste de los Angeles	DLA < 50	Determinación de la resistencia de los agregados a la fragmentación por cargas dinámicas.	Un ensayo por cada 5000 m <sup>3</sup> o fracción
Indice CBR	CBR > 20	Determinar la capacidad portante, o sea la resistencia a las cargas de Tráfico	Idem 3
Equivalente de arena	EA > 30 para tráfico pesado y medio EA > 25 para tráfico ligero	Determinación semicuantitativa de la cantidad de arcilla de una arena y por tanto de limpieza	Dos determinaciones cada 1000 m <sup>3</sup> o fracción
Límites de Atterberg	Para tráfico pesado y medio el material será no plástico. Para tráfico ligero		



Ensayo Proctor Modificado		Obtención de la referencia patrón para comparar las densidades y las humedades obtenidas en la capa compactada.	Idem 1
---------------------------	--	---	--------

Tipo de Control	Especificación	Finalidad	Frecuencia
1. Temperatura ambiente	> 2 °C	Evitar que se hiele el agua de la capa granular y dé lugar a falsa compactación. Tanto más importante cuanto mayor cantidad de arcilla haya.	Al comenzar el proceso de compactación, o cuando se note un descenso de la temperatura.
2. Densidad en Situ	≥ 95% Proctor Modificado.	Obtener la mayor capacidad soportante posible, la mayor inalterabilidad volumétrica	Cinco determinaciones cada 4000 m <sup>2</sup>
3. Humedad in situ	< Humedad Optima. Proctor modificado + 2% correspondiente a la curva de la densidad medida	Idem 2. Los excesos de humedad respecto al límite indicado no son perjudiciales necesariamente, ya que la base debe ser drenante, pero son más seguras las humedades inferiores por estar más alejadas de la saturación que disminuye la resistencia.	Idem 2

4. Prueba con camión de 2 ejes	Carga en un eje de 13 Tm o total mayor de 20 Tm.	Idem 2. Acotar las zonas donde se marcan o se hundan los neumáticos o donde se produce colchoneo, o sea, deformación elástica con recuperación del orden de 2 cm. Eliminar estas zonas o sanearlas volviéndolas a compactar.	En toda la superficie o tramo representativo.
5. Porosidad y grado de saturación	$n = (\gamma_s - \gamma_d) / \gamma_s$ $S_r = w \gamma_s \gamma_d / (\gamma_s - \gamma_d)$ $\gamma_d$ = densidad seca in situ $\gamma_s$ = peso específico del suelo	Comprobar que la porosidad n es la adecuada para conseguir la permeabilidad de cálculo y grado de saturación Sr no alcanza el 100% y disminuye entre dos ensayos en un mismo separados una semana	1 determinación de porosidad "n" y grado de saturación Sr, por cada grupo de 10 ensayos de densidad y humedad.

#### Comentarios acerca de la ejecución de una base granular

Debido a la mayor granularidad y menor contenido de finos de las bases granulares respecto a las subbases (en términos generales), hay que extremar las precauciones para evitar la segregación y la heterogeneidad, sobre todo en el caso de emplear una curva granulométrica compuesta de dos curvas simples correspondientes a materiales diferentes.

La mezcla in situ en este caso ha de ser muy cuidada para asegurar la homogeneidad. Debe realizarse preferentemente con extendedoras – mezcladoras

rotativas o, en su defecto, hay que dar numerosas pasadas de homogeneización con motoniveladoras y gradas de discos que remuevan la totalidad del espesor de la tongada.

El aspecto más importante de las bases granulares es el del tratamiento de imprimación o penetración con ligantes bituminosas. Sus fines son los de mejorar la cohesión de la parte superior y evitar la discontinuidad entre la base y el pavimento constituyendo un elemento de unión. Estos objetivos son particularmente necesarios cuando el pavimento es un tratamiento superficial, que es el caso mas frecuente en calzadas de poco tráfico. El tratamiento superficial se adapta mejor que el aglomerado asfáltico a una sección transversal de base granular que tiene deflexiones relativamente altas.



### **5.302.1 Descripción y Alcances**

Esta Sección se refiere a la confección, colocación y compactación de bases granulares, normalmente ubicadas sobre una subbase o subrasante y destinadas a formar parte de la estructura de un pavimento asfáltico de rodadura de tipo concreto asfáltico o tratamiento superficial. Estos materiales también se utilizarán en la construcción de bermas y otras obras que señale el Proyecto.

### **5.302.2 Materiales**

Los materiales para bases granulares deberán ajustarse a los requisitos de calidad y graduación, según lo establecido en la Especificación LNV 102 para bases estabilizadas, y en esta Sección. El equivalente de arena, determinado según el Método LNV 7 1, será de 0.25 %; las sales solubles no serán mayor a 4%, según el Método LNV 76. Cualquier modificación a lo establecido en la Especificación LNV 102 y en esta Sección, de acuerdo a las características particulares del Proyecto, deberá quedar establecida en las E.T.E. del Proyecto.

Las fracciones que pasan el tamiz de 0.08 mm no deben ser mayores que 2/3 de la fracción que pasa el tamiz No. 40.

El agregado fino que pasa el tamiz No. 40 debe tener un límite líquido menor a 25 y un índice plástico menor a 6.

### Bandas granulométricas para bases

Íammiz (mm)	TM - 50b	TM - 50c	TM-25
50	100	100	-
40	70-100	-	-
25	55-85	70-100	100
20	45-75	60-90	70-100
10	35-65	40-75	50-80
5	25-55	30-60	35-65
2.5	-	-	-
2	15-45	14-45	25-50
0.5	5-25	10-30	10-30
0.08	0-10	0-15	0-15

#### 5.302.201 Bases Granulares de Graduación Cerrada, Bajo la Carpeta de Rodadura

Las bases granulares de graduación cerrada deberán ajustarse a la banda granulométrica TM-SOB, TM-50c o TM-25, según lo establecido en la Tabla 2 de la Especificación LNV 102. Cuando la base esté destinada a ser recubierta con un tratamiento superficial, el tamaño máximo absoluto será 40 mm. Una vez elegida una banda granulométrica, ésta no podrá ser cambiada por otra sin previa autorización por escrito de la Inspección Fiscal.

La capacidad de soporte (CBR) y el porcentaje de material quebrado varían, según el tipo de capa de rodadura a construir sobre la base granular. Los requisitos correspondientes se indican en la Tabla 5.302.201.A.

**TABLA 5.302.201.A**

**REQUISITOS PARA BASES GRANULARES SEGUN TIPO DE CARPETA DE RODADURA (GRADUACION CERRADA)**

Descripción	Concreto asfáltico	Tratamiento superficial	Tratamiento superficial tamaño único	Ensayo
CBR al 95%	Mín 80	Mín 100%	Mín 120	LNV 92
Material quebrado	Mín 50%	Mín 70%	Mín. 90%	LNV 3

En la construcción de cuellos de empalme con caminos secundarios, accesos a predios y otros, que no consulten ningún tipo de revestimiento, se podrá emplear como carpeta de rodadura material de base granular de poder de soporte igual o mayor a 80% CBR.

En zonas donde la precipitación media anual sea inferior a 50 mm, el ensaye de capacidad de soporte de los materiales se hará sin inmersión, según el Método LNV 92.

**5.302.202 Bases Granulares de Graduación Abierta, Bajo la Carpeta de Rodadura**

En regiones que sufren frecuentes ciclos de hielo-deshielo o cuando en el Proyecto se especifique graduación abierta, las bases granulares deberán cumplir con los requisitos estipulados para bases granulares de graduación cerrada, con excepción de lo siguiente:

El Índice de Plasticidad (IP) se limitará a un máximo de 4%, según el Método LNV 90; y por el tamiz 0,5 mm (ASTM N- 40), el límite inferior será de 0% y por el tamiz 0,08 mm (ASTM N-O 200), el porcentaje que pasa deberá estar comprendido entre 0% y 5%.

### **5.302.203 Espaldones Granulares**

#### ***(1) Espaldones (bermas) Revestidos***

Las bases granulares para la construcción de bermas deberán cumplir con los requisitos señalados en los Párrafos 5.302.201 ó 5.302.202, según corresponda.

Los espaldones de caminos cuyas calzadas se proyecten con concreto asfáltico o tratamiento superficial, se construirán con base granular de poder de soporte (CBR) igual al material que se emplee inmediatamente bajo dichos pavimentos. Lo anterior rige para bermas revestidas con concreto asfáltico o tratamiento superficial. Cuando se trate de calzadas proyectadas con hormigón las bermas se construirán con material que cumpla con todos los requisitos de una base granular de CBR > 80%, cuando el revestimiento de las bermas sea del tipo asfáltico.

Cuando los espaldones sean revestidos con hormigón el material en la capa inferior deberá ser subbase granular de CBR > 50%, que cumpla con lo establecido en la Sección 5.301, Subbases Granulares.

### **5.302.3**

#### **Procedimientos de Trabajo**

##### **5.302.301 Confección y Colocación**

###### **(1) Generalidades**

La colocación de los materiales de base sólo se iniciará una vez que se haya dado cumplimiento a los requerimientos establecidos en la Sección 5.209, Preparación de la Subrasante, la Sección 5.301, Subbases Granulares, u otra Sección de estas E.T.G. que corresponda, cuando la base granular se coloque directamente sobre pavimentos existentes en Proyectos de repavimentación. La base granular no deberá extenderse sobre superficies que presenten capas blandas, barroas, heladas o con nieve.

Los procedimientos de confección y colocación del material deberán asegurar que al perfilarse y compactarse según lo especificado, la base granular se ajustará a los perfiles longitudinales y transversales del Proyecto. Los sectores de camino donde se coloquen bases granulares deberán estacarse emplazando puntos de referencia altimétrica y de ubicación del eje y bordes, a distancias no superiores a 20 m entre sí. Deberán estacarse además, todos los puntos singulares del trazado. En zonas de transición de peraltes, las estacas se deberán colocar a 10 m de distancia entre sí, como máximo.

Cuando se estipule en el proyecto, las superficies asfálticas existentes del tipo tratamiento superficial deberán ser escarificadas en un espesor mínimo de 1 m, regadas, perfiladas en el caso de ser necesario y compactadas. La compactación consistirá en una o más pasadas de un rodillo liso, de manera de asentar el material escarificado y evitar que se mezcle con la base granular a colocar sobre dicha superficie.

## **(2) Confección**

La confección de la base granular deberá efectuarse en plantas procesadoras fijas o móviles, que aseguren la obtención de material que cumpla con los requisitos establecidos. El material deberá acoplarse en canchas habilitadas especialmente para este efecto, de manera que no se produzca contaminación o segregación de los materiales.

## **(3) Colocación**

La base granular debidamente preparada se extenderá sobre la plataforma del camino, incluyendo las áreas de bermas, mediante equipos distribuidores autopropulsados, debiendo quedar el material listo para ser compactado sin necesidad de mayor manipuleo para obtener el espesor, ancho y bombeo deseado. Alternativamente, el material podrá transportarse y depositarse sobre la plataforma del camino, formando pilas que den un volumen adecuado para obtener el espesor, ancho y bombeo especificado. En este último caso, los materiales apilados deberán mezclarse por medios mecánicos hasta obtener la homogeneidad y humedad necesaria, tras lo cual se extenderán uniformemente.

La base deberá construirse por capas de espesor compactado no superior a 0,30 m ni inferior a 0,12 m. Espesores superiores a 0,30 m, se extenderán y compactarán en capas. El material extendido deberá ser de una granulometría uniforme, no debiendo presentar bolsones o nidos de materiales finos o gruesos.

Cuando un proyecto de repavimentación requiera la colocación de base granular nivelante, ésta se podrá colocar conjuntamente con la base granular estructural del Proyecto en una sola capa, siempre que se cumpla con el espesor máximo compactado por capa, señalado anteriormente. En caso contrario, su colocación

se ejecutará en capas. Asimismo, para el relleno de las sobre-excavaciones de corte en roca a nivel de subrasante, según lo dispuesto en el Acápite 5.201.304(8) de la Sección 5.201, Excavación Abierta, el material de base granular se podrá colocar de la misma manera antes establecida para base granular nivelante.

En la construcción de bermas de caminos pavimentados, no se permitirá depositar y mezclar el material de berma sobre la superficie del pavimento de rodadura. En este caso, el regado y mezclado del material para obtener la humedad y homogeneidad necesaria, se efectuará en planta o en cancha aparte, previo a su transporte y colocación en las áreas de berma.

### **5.302.302 Compactación**

Una vez extendido el material, éste deberá compactarse mediante rodillos preferentemente del tipo vibratorio para terminarse con rodillos lisos o neumáticos. El rodillado deberá progresar en forma gradual desde el punto bajo de los costados hacia el centro de la vía en construcción, traslapando cada pasada con la precedente en por lo menos la mitad del ancho del rodillo.

Las bases granulares de capacidad de soporte igual o mayor a 80% CBR, se deberán compactar hasta que el material haya alcanzado un nivel de densificación mínimo del 95% de la D.M.C.S., obtenida según el Método LNV 95 6 el 80% de la Densidad Relativa, según el Método LNV 96. Las bases granulares de CBR > 100% y CBR > 120%, se compactarán hasta alcanzar como mínimo el 98% de la D.M.C.S. 6 el 85% de la D.R., según el Método LNV 95 ó 96, respectivamente. Las mínimas densidades señaladas anteriormente, regirán además para el material que conforme las bermas.

### 5.302.303 Terminación

Una vez terminada la compactación y perfiladura de la base granular, ajustándose a los perfiles longitudinales y transversales del Proyecto, ésta deberá presentar una superficie de aspecto uniforme y sin variaciones en cota en ningún lugar, mayores que +1,0 cm y -1,0 cm para bases granulares de poder de soporte igual o mayor a 80% CBR. Asimismo, para bases granulares de CBR >100% y CBR >120%, la tolerancia de terminación será de + 1,5 cm y - 1,0 cm con respecto a las cotas establecidas en el Proyecto. No obstante que se aceptarán las tolerancias de terminación señaladas para las bases granulares, el Contratista tomará todas las precauciones necesarias para cumplir con los requisitos de espesor, lisura, rugosidad (IRI) y otros exigidos para el pavimento o tratamiento a construir sobre ellas.

Si se detectaron áreas a un nivel inferior a la tolerancia especificada, éstas deberán escarificarse en un espesor mínimo de 0,10 m para enseguida agregar material, regar, recompactar y terminar la superficie hasta dar cumplimiento a lo establecido en el párrafo anterior. Las áreas a un nivel superior a la tolerancia especificada, deberán ser rebajadas, regadas y compactadas nuevamente, hasta cumplir con lo establecido.

Para la terminación de las bermas, regirán las mismas tolerancias de terminación establecidas anteriormente. Asimismo, cuando las bermas se construyan adosadas a un pavimento de concreto asfáltico o de hormigón, la unión pavimento - espladón quedará a la cota de rasante del borde del pavimento.

### **5.302.305 Mantenición**

El Contratista deberá mantener la base granular en condiciones satisfactorias hasta su imprimación y construcción de la carpeta de rodadura. Si la Inspección Fiscal constatará deterioros o deformaciones, ésta ordenará al Contratista efectuar las reparaciones que estime necesarias, como requisito previo para autorizar la colocación de la carpeta de rodadura que corresponda.

Cualquier daño producido a la base granular por efecto de congelamiento, precipitaciones u otras

En los lugares inaccesibles a los equipos usuales de compactación, el material deberá compactarse con pisones mecánicos manuales u otros equipos, hasta alcanzar la mínima densidad establecida.

### **5.302.306 Medidas de Seguridad**

Durante la ejecución de las obras, el Contratista deberá tener presente lo establecido en la Sección 5.004, Disposiciones de Seguridad.

### **5.302.4 Partidas del Presupuesto y Bases de Medición**

#### **302-1 Base Granular, CBR > 80 %**

Se medirá por metro cúbico ( $m^3$ ) de base granular de graduación cerrada o abierta de poder de soporte igual o mayor a 80% CBR, de acuerdo a las dimensiones teóricas de ancho, espesor y largo requeridas por el Proyecto y aprobadas por la Inspección Fiscal. Si el Proyecto establece la colocación de base granular nivelante, ésta se medirá geométricamente para efectos de pago en esta misma partida. Por otra parte, los rellenos de las sobreexcavaciones de corte en

roca, según lo dispuesto en el Acápite 5.302.301(3), se medirán en un espesor teórico de 0,15 m para efectos de pago.

### **302-2 Base Granular, CBR > 100%**

Se medirá por metro cúbico (m<sup>3</sup>) de base granular de graduación cerrada o abierta de poder de soporte igual o mayor a 100% CBR, de acuerdo a las dimensiones teóricas de ancho, espesor y largo requeridas por el Proyecto y aprobadas por la Inspección Fiscal. Si el Proyecto establece la colocación de base granular nivelante, ésta se medirá geométricamente para efectos de pago en esta misma partida. Por otra parte, los rellenos de las sobre-excavaciones de corte en roca, según lo dispuesto en el Acápite 5.302.301(3), se medirán en un espesor teórico de 0,15 m para efectos de pago.

### **302-3 Base Granular, CBR > 120%**

Se medirá por metro cúbico (m<sup>3</sup>) de base granular de graduación cerrada o abierta de poder de soporte igual o mayor a 120% CBR, de acuerdo a las dimensiones teóricas de ancho, espesor y largo requeridas por el Proyecto y aprobadas por la Inspección Fiscal. Si el Proyecto establece la colocación de base granular nivelante, ésta se medirá geométricamente para efectos de pago en esa misma partida. Por otra parte, los rellenos de las sobreexcavaciones de corte de roca, según lo dispuesto en el Acápite 5.302.301 (3), se medirán en un espesor teórico de 0.15 m para efectos de pago.

## **Síntesis de especificaciones para base y sub-base granular**

**Commonwealth of Puerto Rico.  
Department of Transportation and Public Works, 1989**

### **304-2 Materiales**

a. El agregado para base debe consistir de partículas duras y durables de material quebrado o grava natural, según los requerimientos de la sección 703-4 de la sección 703 (agregados), y se deben obtener de ***fuentes aprobadas por el ingeniero.***

### **703-4.01**

- a. El material debe estar libre de terrones de arcilla, materia vegetal u otros materiales objetables.
- b. El porcentaje de desgaste (ASHTO T 96) del material retenido en la malla No. 8, debe ser menor a 45.
- c. Porcentaje de partículas elongadas, menor a 15% (partícula elongada cuando la dimensión máxima a la mínima es mayor a 5)
- d. El porcentaje que pasa la malla 200 debe ser menor a 2/3 del que pasa la malla No.40.
- e. La fracción que pasa la malla No. 40 debe tener un límite líquido menor a 25 y un índice plástico menor a 6.
- f. Cuando se especifique agregado triturado, no menos del 50% de las partículas en la malla no, 4 deben tener al menos una cara fracturada.

**Tabla 703-4**  
**Graduación para agregado de base**

Tamiz	Tipo de graduación		
	A	B	C
50.0 mm	100	-	-
37.5 mm	-	100	-
25.1 mm	50-80	-	100
12.5 mm	-	40-75	-
No. 4	20-50	30-60	40-75
No. 10	-	-	25-60
No. 200	5-12	5-12	5-12

b. El agregado debe encontrarse dentro de las graduaciones dadas en la tabla 703-4.

c. Si el filler es necesario para encontrar la graduación adecuada, se debe mezclar con el material de la base en el proceso de mezcla de la planta. Todo filler debe ser obtenido de material quebrado o grava.

#### **304-2.02 Muestreo y Pruebas de Laboratorio**

a. El contratista debe darle al ingeniero la localización exacta de la fuente de agregados. El ingeniero tomará las muestras de los materiales seleccionados para evaluarlos de acuerdo con las condiciones de calidad y los requerimientos

de graduación. Después de que los *materiales han sido aprobados* se puede proceder a iniciar el proyecto.

- b. Los materiales que no cumplen con la especificación deben ser removidos por el contratista por su cuenta y ser reemplazados por material aceptable.
- c. Alguna fuente nueva propuesta por el contratista debe ser muestreada, evaluada mediante pruebas de laboratorio y aceptación antes de ser utilizada en el proyecto.

### **304-3 Requerimientos de Construcción**

#### **304-3.01 Preparación de la superficie**

- a. La subrasante o subbase sobre la cual se coloca la base debe haber sido completada y la superficie finalizada de acuerdo con los requerimientos de las especificaciones 203, 204 o 301. Inmediatamente antes de ubicar la base, la subrasante o la subbase debe ser chequeada en su pendiente y grosor.
- b. LA base no debe ser colocada a menos que las capas inferiores estén razonablemente secas y libres del agua, y la superficie finalizada y aceptada por el ingeniero.

#### **304-3.02 Colocación**

- a. La base debe ser colocada en una superficie preparada y compactada en capas que no excedan los 15 cm en espesor. Cuando más de una capa es necesaria, cada capa debe ser compactada antes de que se coloque la siguiente.
- b. La colocación debe ser ejecutada por maquinaria equipada para distribuir el material en una capa uniforme sin segregación.

### 304-3.03 Mezcla y Extensión

- a. Si después de que la base ha sido colocada, y se encuentra que no es uniforme, se debe mezclar cuidadosamente a su espesor total. Durante el mezclado, el agua debe ser adherida en la cantidad necesaria para proveer el contenido óptimo de humedad para la compactación.
- b. Cuando se mezcla, el material debe ser extendido suavemente hasta un espesor uniforme en el caso de la capa superior.
- c. El filler, cuando se agrega, debe ser mezclado cuidadosamente dentro de la capa del agregado.

### 304-3.04 Compactación

- a. Inmediatamente seguido del proceso anterior, cada capa debe ser compactada a su espesor máximo. La compactación debe seguir hasta que el material de base alcance la densidad de al menos **un 83% de su densidad sólida**. La densidad sólida debe ser calculada como se indica en la norma AASHTO T 84 y T 85. La densidad en sitio de la base puede ser determinada por AASHTO T 191, T 205 o T 238.
- b. Cualquier irregularidad o depresión que se desarrollen durante el proceso de compactación debe ser corregida, hasta que la superficie quede uniforme.

### 304-3.05 Requerimientos de espesor

- a. El espesor de la base completa **no debe variar más de 1.25 cm** de lo que se indica en los planos. Algunos testigos deben ser extraídos en puntos aleatorios, determinados por el ingeniero, en el centro y los lados de la superficie, para determinar si el espesor cumple el teórico. Si hay áreas que no tienen el espesor que se requería deben ser corregidas hasta quedar en la tolerancia indicada.

- b. El contratista debe rellenar el espacio dejado por los testigos, de tal manera que adicione material a la superficie y compacte, hasta que ésta quede uniforme.



## Síntesis de especificaciones para base y sub-base granular

State of California. Department of Transportation. Standar Specifications, 1995.

### 26-1.02 Materiales

**26.1.02 A Agregado para Base Clase 2.** El agregado para base granular clase 2 para bases granulares debe estar libre de materia orgánica y de otras sustancias.

La graduación de esta clase de agregado es como la que se indica a continuación:

Malla	Porcentaje Pasando`			
	37.5 mm Máximo		19 m Máximo	
	Rango de Operación	Cumplimiento del Contratista	Rango de Operación	Cumplimiento del Contratista
50 mm	100	100	-	-
37.5 mm	90-100	87-100	-	-
25 mm	-	-	100	100
19 mm	50-85	45-90	90-100	87-100
4.75 mm	25-45	20-50	35-60	30-65
600 µm	10-25	6-29	10-30	5-35
75 µm	2-9	0-12	2-9	0-12

### Requerimientos de Calidad

Pruebas	Rango Operativo	Cumplimiento del Contratista
Resistencia (vlor R)		78 Min
Equivalente de Arena	25 Min	22 Min
Indice de Durabilidad		35 Min

El agregado no debe ser tratado con cal, cemento u otro material a menos que el Índice de Durabilidad haya sido calculado.

Se debe tomar una muestra cada 400 m<sup>3</sup> o en cada día de producción para el equivalente de arena y la graduación.

### **26-1.03 Capas inferiores**

La capa que va a recibir la base debe estar libre de materiales extraños o de pérdida de material.

#### **26.1.04 Colocación**

La superficie terminada no puede tener diferencias de  $\pm 15$  mm respecto a la superficie en los planos.

Las bases de agregados deben ser colocadas en forma de mezclas uniformes. Cada capa debe estar libre de material fino o crestas.

El espesor máximo de una capa debe ser de 150 mm.

#### **26.1.05 Compactación**

La compactación relativa de cada una de las bases debe ser superior al 95%.

Cuando la base de pago es por metro cúbico, y no se han obtenido los espesores especificados, el contratista debe tomar medidas correctivas. Si lo anterior no se cumple, se puede efectuar una reducción al precio a pagar por parte de la administración. La deducción debe ser computada como el siguiente producto:

- a. El espesor defectuoso menos la tolerancia permitida

- b. El grosor contratado
- c. La longitud que presenta el espesor defectuoso

Todos los puntos anteriores serán determinados por el ingeniero.

#### **26-1.07 Forma de pago**

Las cantidades de base se deberán pagar por tonelada o por metro cúbico.



---

## **II Análisis Estadístico del Control de Calidad en Proyectos Ejecutados**

---

### **Introducción**

A continuación se presenta el análisis estadístico por tramos homogéneos realizado a los siguientes proyectos de base granular y sub-base:

- San Isidro – Dominical
- Pacayas – Santa Cruz – Turrialba
- Puriscal – Salitrales
- Interamerica -Santa Cecilia
- Interamericana – Rincón de Osa

---

# **Anexo**

## **Losas de Concreto**

---

- I. Resumen de Normas Internacionales**
- II. Análisis del control de calidad en proyectos ejecutados**



# 1. Resumen de normas internacionales

Las normas que se presentan a continuación corresponden a la siguiente referencia bibliografía:

- Estándar Specifications for Construction of Roads and Bridges on Federal Highway Projects (FP -96).
- Control de Calidad en Obras en Carreteras (Ignacio Morilla Abad)
- Ministerio de Obras Públicas de Chile.  
Especificaciones Técnicas Generales.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica.  
Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Carreteras y Puentes. (CR-77)
- Commonwealth of Puerto Rico.  
Department of Transportation and Public Works.  
Highway Authority. 1989.
- State of California.  
Department of Transportation.  
Standar Specifications, 1995.
- Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones  
Curso de Pavimentos de Concreto hidráulico, Tomo II.  
1991

# **Síntesis de especificaciones losas de concreto**

Ministerio de Obras Públicas de Chile.  
Especificaciones Técnicas Generales, 1997

## **SECCION 5.410 PAVIMENTOS DE HORMIGON**

### **5.410.1 DESCRIPCION Y ALCANCES**

Esta sección se refiere a la construcción de pavimentos de hormigón de cemento hidráulico, sobre una superficie previamente preparada, de acuerdo a los alineamientos, cotas, perfiles y espesores del Proyecto. Donde lo indiquen los documentos del Proyecto, el pavimento se construirá formando una sección transversal del tipo trapecial.

### **5.410.2 MATERIALES**

#### **5.410.201 Hormigón**

##### **(1) Cemento Hidráulico**

El cemento hidráulico deberá cumplir con lo dispuesto en NCh 148 y ser de grado alta resistencia. El abastecimiento será estudiado de manera de no producir paralizaciones de faenas por falta de cemento. El cemento deberá cumplir además, con lo estipulado en el punto No.6.2, Cementos, de NCh 170.

##### **(2) Aridos**

Los áridos deberán cumplir con los requisitos de la Especificación LNV 63. El Índice de Trituración total, según Método LNV 7, será de 4% máximo para las arenas y 20% máximo para los áridos gruesos. El Contratista deberá asegurar la calidad y homogeneidad de los áridos en su fuente de producción.

Antes de comenzar las faenas de confección del hormigón, el Contratista tendrá acopiada una cantidad suficiente de material, que permita efectuar los trabajos sin interrupciones.

Dichos acopios estarán separados en a lo menos dos fracciones de áridos gruesos, la primera según grado 40-20 y la segunda según grado 20-5, de acuerdo a lo indicado en la Tabla 3 de la Especificación LNV 63. El árido fino (arena) se acopilará por separado. Todos los materiales serán homogéneos en sus características. Se analizará la calidad de los áridos en acopio a través de los ensayos correspondientes y se tomarán las muestras respectivas para efectuar las dosificaciones. Los acopios de áridos se harán sobre canchas especialmente preparadas para este efecto, de manera que no se produzca contaminación ni segregación de los materiales.

#### **Granulometría de la arena**

Tamices (mm)	% Acumulado que pasa
10	100
5	95-100
2.5	80-100
1.25	50-85
0.630	25-60
0.315	10-30
0.160	2-10

### Granulometría de la grava

Tamices (mm)	Porcentaje acumulado que pasa para los siguientes grados (definidos por tamaños límites en mm)	
	40-20	20-5
80	-	-
63	-	-
50	100	-
40	90-100	-
25	20-55	100
20	0-15	90-100
12.58	-	-
10	0-5	20-55
5	-	0-10
2.5	-	0-5
1.25	-	-

### Requisitos generales de agregados

Requisitos	Valores límites		LNV
	Grava	Arena	
1. Material fino menor que 0.080 mm:			
a) para hormigón sometido a desgaste, % máximo	0.5	2.0	
b) para todo otro hormigón, % máximo	1.0	5.0	
2. Impurezas orgánicas referidas a color límite según patrón	-	Amarillo claro	

3. Granulometría		Ver tablas anteriores	Ver tablas anteriores	Ver tablas anteriores
4. Partículas desmenuzables,	% máximo	5.0	3.0	73



5. Partículas blandas,	% máximo	5.0	-	-
6. Cloruros como $Cl^-$ ( $kg/m^3$ de hormigón)				
a) para hormigón armado	máximo	1.20		
b) para hormigón pretensado	máximo	0.25		76
7. Sulfatos y sulfuros como $SO_4^{2-}$ ( $kg/m^3$ de hormigón)				
a) sulfatos solubles en agua	máximo	0.60		
b) sulfuros oxidables	máximo	1.80		76
8. carbón y lignito:				
a) para hormigón a la vista	máximo	0.5	0.5	
b) para todo hormigón	máximo	1	1	
9. Resistencia ala desintegración (pérdida de masa en 5 ciclos de inmersión y secado)				
a) con sulfato de sodio		10		
b) con sulfato de magnesio		15		74
10. Resistencia al desgaste. Máquina de Los Angeles:				
a) para hormigón sometido al desgaste	máximo	35	-	
b) para todo otro hormigón	máximo	50	-	75
11. Absorción de agua (porosidad)				68
	% máximo	2	3	69
12. Coeficiente volumétrico medio:				
a) árido de tamaño máximo absoluto mayor que 25 mm:				
- para hormigón simple,	mínimo	0.15	-	
- para hormigón armado,	mínimo	0.20	-	
b) árido de tamaño absoluto menor que 25 mm:				
- para hormigón simple,	mínimo	0.12	-	
- para hormigón armado,	mínimo	0.15	-	77

Los áridos cumplirán además con los siguientes requisitos:

### **Arido Grueso**

Tamaño máximo absoluto	40-50 mm
Desgaste (Los Angeles) máximo Método LNV 75	35%
% Pas 200 (ASTM No.200), máximo Método LNV 70	0.5%
% Partículas fracturadas, mínimo Método LNV 3	50%

### **Arido Fino**

La composición granulométrica de la fracción fina de los áridos deberá cumplir con lo establecido en la Tabla No.2 de la Especificación LNV 63. El porcentaje que pasa por el tamiz 0.08 mm (ASTM No.200) será máximo 2% en peso, según el Método LNV 70.

Será obligación del Contratista el lavado de todos los áridos, el cual se ejecutará por medios mecánicos con equipos especialmente diseñados para cumplir con dicho objetivo.

Los materiales provenientes de los acopios de cada una de las fracciones del árido grueso, así como también la arena, serán pesados en la planta dosificadora.

### **(3) Agua**

El agua que se utilice en la confección de hormigones deberá ser limpia, exenta de sustancias perjudiciales y satisfacer los requisitos de la Especificación LNV 101. Ello será certificado antes de su uso, si la Inspección Fiscal lo solicita.

#### **(4) Aditivos**

Los aditivos deberán cumplir con los requisitos establecidos en NCh 2182 y controlados según NCh 2281. Aún cuando el Laboratorio de Vialidad apruebe el uso de un determinado aditivo, para ser incorporado al hormigón o el uso de algún compuesto formador de membranas para el curado del hormigón, la responsabilidad de su empleo permanecerá en el Contratista.

#### **5.410.202 Compuestos de Curado**

Los requisitos y los ensayos de los compuestos líquidos, formadores de membranas, usados para el curado del hormigón, deberán cumplir con lo establecido en la Especificación LNV 26.

### **5.410.203 Acero**

Se colocarán barras de acero lisos o con resalte en las juntas descritas en el párrafo 5.410.310. El acero de Grado A44-28H, deberá cumplir con requisitos establecidos en la Sección 5.503, acero para armaduras.

### **5.410.204 Sellantes**

Los sellantes para las juntas deberán cumplir los requisitos estipulados en las Especificaciones que se indican en la Tabla 5.410.20 A.

### **5.410.205 Moldes**

Los moldes para el sistema de pavimentación con moldes fijos, deberán ser fabricados de planchas de acero de espesor no inferior a 6 mm y de no menos de 3 m de longitud. Deberán ser de una sola pieza y tendrán una altura igual a la del espesor de pavimento. El ancho de la base de los moldes no deberá ser inferior al 80% de la altura. Con previa autorización de la Inspección Fiscal, se podrán adecuar los moldes con una adición para ser utilizados en la confección de pavimentos de mayor espesor, con respecto a su altura.

Longitudinalmente los moldes deberán ser rectos, sin curvaturas, torceduras, deflexiones, abolladuras u otros defectos. Para curvas de radio inferior a 30 m, podrán utilizarse moldes flexibles en el sentido longitudinal, curvados al radio adecuado, siempre que sean de un diseño aceptable para la Inspección Fiscal.

Todos los moldes deberán ser lo suficientemente rígidos para resistir, sin flexionarse o sufrir asentamientos visibles, el impacto y las vibraciones provocadas por los equipos de esparcido, compactación y terminación. La cara superior no deberá variar en ningún punto, en más de  $\pm 3$  mm respecto de una superficie. Al paso de los equipos, ningún molde deberá experimentar una desviación lateral o

vertical superior a 3 mm. La Inspección Fiscal rechazará la instalación de todos los moldes que no reúnan las mínimas condiciones descritas.

#### **5.410.206 Desmoldantes**

Los compuestos desmoldantes deberán consistir en un aceite mineral u otro compuesto aprobado que no manche el hormigón y cuyo efecto no impida la adherencia futura con otro pavimento de hormigón. El compuesto desmoldante se aplicará sobre superficies totalmente limpias, cada vez que se utilicen los moldes en faenas de hormigonado.

### **5.410.3 PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO**

#### **5.410.301 Equipos**

El Contratista dispondrá de los equipos y demás elementos necesarios para la obtención de los áridos, como asimismo para la confección, colocación y terminación del hormigón. Dichos equipos, incluso los de transporte, estarán en buenas condiciones de funcionamiento y tendrán una capacidad adecuada para llevar a cabo las obras sin interrupciones.

Antes de iniciar la fabricación del hormigón, la planta será sometida a la prueba de uniformidad según lo dispuesto en NCh 1789. El equipo pavimentador podrá ser del tipo de moldes deslizantes o del que se desplaza sobre moldes fijos.

#### **5.410.302 Dosificación**

La dosificación del hormigón consistirá en combinar en proporciones definidas, los diferentes áridos individuales, el cemento, el agua y eventualmente los aditivos, de

modo de obtener un hormigón que cumpla con la resistencia, docilidad, durabilidad y restantes exigencias requeridas.

Una vez que se haya producido a lo menos el 30% de los áridos a emplear y hasta 15 días antes de las faenas de hormigonado, el Contratista entregará a la Inspección Fiscal la dosificación propuesta para ser visada por el Laboratorio de Vialidad.

En dicha dosificación se establecerá la banda de trabajo de acuerdo a las tolerancias señaladas en la siguiente Tabla:

<b>TOLERANCIAS EN LA BANDA DE TRABAJO</b>	
Sobre tamiz de 5 mm(No.4) inclusive	± 5 %
En tamices de 2.5 mm (No.8), 1.25 mm (No.16) y 0.63 mm (No.30)	± 4 %
En tamiz de 0.315 mm (No.50)	± 3 %
En tamiz de 0.16 mm (No.100)	± 2 %

Mientras no se cambie la dosificación, la banda de trabajo establecida se cumplirá íntegramente.

En todo caso, cualquier estudio de dosificación estará respaldado por ensayos que acrediten una resistencia característica a la flexotracción de mínimo 4.6 MPa a los 90 días, u otra resistencia que especifique el Proyecto, considerando una fracción defectuosa del 20%. Si se especifica una resistencia a la compresión, la resistencia característica a los 90 días será de mínimo 35 MPa, considerando una fracción defectuosa del 20%. El contenido mínimo de cemento de grado alta resistencia será de 300 Kg/m<sup>3</sup> de hormigón elaborado.

El hormigonado sólo se podrá iniciar una vez que la Inspección Fiscal haya aprobado la dosificación propuesta. La dosificación aprobada no podrá ser

modificada sin una nueva autorización de la Inspección Fiscal, para lo cual el Contratista deberá presentar, nuevamente, la documentación que justifique el cambio y avale la nueva dosificación.



## **5.410.303 Fabricación**

### **(1) Medición de los Materiales**

Los materiales componentes del hormigón deberán medirse en la forma y con las tolerancias que se señalan a continuación:

- El cemento a granel se medirá en masa con una tolerancia de  $\pm 1\%$ .
- Los áridos individuales se medirán en masa, corregida de acuerdo con la humedad presente en el material, con una tolerancia de  $\pm 3\%$ .
- El agua de amasado se medirá en masa o en volumen, corregido de acuerdo a la humedad presente en los áridos individuales y a la cantidad eventual de aditivo líquido que se use. La tolerancia será de  $\pm 1\%$ .
- Los aditivos se incorporarán al hormigón de acuerdo con las recomendaciones y tolerancias establecidas por el fabricante.

Los equipos de pesaje deberán ser calibrados por cuenta y cargo del Contratista, al inicio de la obra y cuando la Inspección Fiscal lo estime necesario para asegurar la medición de los materiales de acuerdo a la dosificación en uso. Todos los equipos deberán estar aislados de vibraciones propias o producidas por otros equipos en operación en la zona.

### **(2) Mezclado del Hormigón**

El orden de carguío en la mezcladora de los materiales componentes del hormigón, deberá establecerse de acuerdo con los equipos disponibles. En todo caso, parte del agua de amasado se deberá cargar en primer lugar. Los aditivos se incorporarán de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

El tiempo de mezclado, contado desde el momento en que todos los materiales se encuentren dentro de la hormigonera hasta el instante en que se inicia la descarga, deberá ser superior a 1.5 minutos, salvo que el equipo cuente con

dispositivos que aseguren la homogeneidad de la mezcla en un tiempo menor. En todo caso, el tiempo de amasado no deberá exceder de 5 minutos.

#### **5.410.304 Transporte**

El transporte del hormigón se deberá efectuar en el lapso y con los equipos y procedimientos adecuados para mantener las características y homogeneidad que se obtuvo en el proceso de mezclado.

El hormigón podrá ser transportado en camiones agitadores del tipo tolva. La tolva deberá ser metálica, lisa, estanca y no absorbente. Deberá protegerse adecuadamente de la influencia del clima, en especial de la lluvia y el viento, y además cuando la temperatura ambiental supere los 30°C.

#### **5.410.305 Preparación de la Capa Subyacente**

La capa de material que servirá de apoyo al pavimento de hormigón, tendrá las características señaladas en los antecedentes del Proyecto. Esta deberá ser terminada de acuerdo a los procedimientos y tolerancias prescritos en la Sección respectiva.

La superficie deberá conservarse limpia y compacta hasta que el hormigón sea vaciado sobre ella. Para protegerla y producir una separación clara del hormigón, y para evitar absorción del agua de amasado, ésta será sometida a uno de los siguientes tratamientos, salvo que el Proyecto estipule algún tratamiento diferente.

#### **5.410.306 Colocación, Esparcido y Compactación**

No se colocará hormigón cuando la temperatura de éste sea superior a 35°C o la temperatura ambiental sea menor que 5°C. En caso contrario, se regirá por lo estipulado en párrafo 5.410.309, Hormigones Especiales.

El hormigón deberá ser esparcido, enrasado y compactado por una o más máquinas diseñadas para distribuir y compactar el hormigón en forma uniforme, de

manera que el pavimento quede terminado con un trabajo manual adicional mínimo, en los anchos, espesores y pendientes transversales y longitudinales indicadas en el Proyecto. El número y capacidad de estos equipos deberá estar en concordancia con la producción de hormigón. Cada vez que el hormigonado deba detenerse por más de 45 minutos, deberá materializarse una junta de construcción, coincidiendo con una junta de contracción. Todo hormigón deberá colocarse y compactarse antes del inicio del fraguado.

Cuando se construya un ensanche o pista adyacente a un pavimento antiguo, la pavimentación deberá efectuarse de manera de reducir al mínimo la reproducción de irregularidades del pavimento antiguo en el nuevo. La parte del equipo pavimentador que sea soportado por el pavimento existente, deberá estar provisto de protecciones o ruedas neumáticas, según corresponda, a una distancia suficiente del borde para evitar quebraduras o grietas en esa área. Las deformaciones del pavimento antiguo que se reflejen en más de 8 mm en el nuevo, deberán corregirse en este último. Cuando se pavimente una pista adyacente a otra recientemente construida, al borde de esta última deberá ser protegido según lo establecido anteriormente, y el hormigón deberá haber alcanzado al menos una resistencia de tracción por flexión, igual o superior al 75% de la resistencia característica especificada para dicho hormigón.

## **Síntesis de especificaciones losas de concreto**

**Estándar Specifications for Construction of Roads and Bridges on Federal Highway Projects (FP -96).**

### **SECCION 501 PAVIMENTOS DE HORMIGON**

**501.01 Descripción:** Este trabajo consiste en la construcción de pavimentos de cemento portland sobre superficies preparadas.

#### **501.02 Materiales**

De acuerdo a las siguientes subsecciones:

**711.02 Aditivos inclusores de aire:** Deben cumplir con AASHTO M154. Para concreto estructural, se aplicarán aditivos inclusores de aire clasificados como resina vinsol o resina vinsol neutralizada .

**711.03 Aditivos químicos:** Se aplicará reductores de agua, retardadores y aditivos aceleradores conforme a AASHTO M194.

**703.02 Agregado grueso:** Conforme a AASHTO M80, clase A, excepto lo recomendado seguidamente:

- |                                       |         |
|---------------------------------------|---------|
| (a) Abrasión, Los Angeles, AASHTO T96 | 40% max |
| (b) Capa adherente, FLH T 512         | 1% max  |

**703.01 Agregado fino:** Se usará arena conforme a AASHTO M6, clase B, incluyendo el agregado reactivo, excepto lo recomendado seguidamente:

- |   |        |
|---|--------|
| (a) Material pasando la Malla 200, AASHTO T11 | 3% max |
| (b) Equivalente de arena, AASHTO T176         | 75 min |

**701.01 Cemento Portland:** Se usará cemento portland bajo la especificación AASHTO M85.

**725.01 Agua:** El agua para mezcla o cura de concreto o mortero, deberá estar conforme a AASHTO M 157.

## REQUISITOS CONSTRUCTIVOS

**501.03 Composición de la mezcla:** El diseño de la mezcla de concreto estará de acuerdo a la Subsección 552.03 y conforme a la tabla 501-1.

**Tabla 501-1**  
**Composición de pavimento de concreto de cemento portland**

Razón A/C	Temperatura del Concreto	Revenimiento	Contenido de aire	Tamaño máximo de agregado	Resistencia Compresión (mínima), 28 días
0.49	20±10°C	40±20 mm	4.5 min	N°57 o 67	25 MPa

(\*) Ensayo AASHTO M 43.

Se puede usar agregado menor al indicado si el tamaño nominal máximo es 12.5 mm, se debe alcanzar 5% de contenido de aire.

### 703.01 Agregado fino

- a) Material que pasa el tamiz de 0.075 mm (AASHTO T 11) con 3.0% máximo
- b) Equivalente de arena (AASHTO T 176)

### 703.02 Agregado grueso

- a) Índice de abrasión en máquina de Los Angeles (AASHTO T 96) 40% máximo
- b) Polvo adherido (FLH T 512)
- c) Además debe cumplir los requerimientos AASHTO M 80 clase A.
- d) Debe aportar el certificado de calidad del cemento
- e) Debe tener una desviación máxima de 60mm al colocar una regla de 3 m.
- f) El índice de perfil en 100 m debe ser menor a 160 mm/km (FLH T 504)

**501.08 Juntas:** Las juntas longitudinales no deben variar más de 13 mm y las juntas transversales no más de 6 mm del alineamiento especificado. Proteja todas las juntas de la intrusión de partículas.

**501.09 501.15 Aceptación:** El material (excepto el acero de refuerzo), para pavimentos de concreto serán evaluados bajo la sección 106.02 y 106.03. Los parámetros de revenimiento, contenido de aire, masa unitaria y temperatura serán evaluados bajo las secciones 106.02 y 106.04. Ver Tabla 501-3 para muestreos y pruebas mínimas.

**(a) Resistencia a compresión:** El límite inferior de especificación es el mínimo requerido para resistencia a compresión a 28 días mostrada en la Tabla 501-1. Un resultado individual es el promedio de 2 cilindros tomados de la misma carga y probados a los 28 días.

**Tabla 501-3  
Muestreo y Ensayos**

Material o Producto	Propiedad o característica	Categoría	Método o Especificación	Frecuencia	Punto de Muestreo
Concreto	Revenimiento	-	AASHTO T119	1 por descarga	
	Cont. aire	-	AASHTO T152 , AASHTO T196	1 por descarga	
	Peso unit.	-	AASHTO T121	1 por descarga	
	Temperatura	-	Termómetro	Primera descarga	
	Especímenes de prueba, Resistencia a Compresión	II	AASHTO T23 AASHTO T22	1 set por 2000 m <sup>2</sup> pero no menos que 1 por día	
Pavimento de Concreto	Espesor	II	AASHTO T24	1 núcleo por 2000 m <sup>2</sup>	
	Acabado	I	FLH T504	Ver S.501.12	

## **Síntesis de especificaciones losas de concreto**

**Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica.  
Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Carreteras y  
Puentes. (CR-77)**

### **SECCION 500**

## **PAVIMENTOS DE HORMIGON DE CEMENTO PORTLAND**

Este trabajo consiste en la construcción de pavimentos de hormigón de cemento portland con o sin inclusión de aire, con o sin armadura según se especifique, construido sobre una subrasante preparada o capa de base de acuerdo con las Especificaciones y razonablemente ajustado a los alineamientos, rasantes, espesores, secciones típicas, etc., mostrados en los planos o fijados por el Ingeniero.

### **MATERIALES**

### **AGREGADOS**

#### **703.01 Agregado fino para hormigón**

- a) Hormigón: el agregado fino para el hormigón deberá satisfacer los requisitos de AASHO M-6.

Si al someter estos agregados finos al ensayo de sanidad con sulfato de sodio, de acuerdo con la prueba AASHTO T-104 la pérdida no excede el valor del 15 por ciento por peso, será motivo suficiente para la aceptación del material en cuanto a durabilidad se refiere. Si este agregado tuviese una pérdida superior, la aceptación quedaría condicionada a que el material satisfaga todas las pruebas indicadas en el párrafo primero.

- b) Material de relleno para subdrenajes: el material de relleno filtrante necesario para asentar y recibir los tubos de subdrenajes o rellenar pozos ciegos deben

estar compuestos de partículas minerales duras y durables, libres de materia orgánica, arcilla y otras impurezas.

Para evitar que el suelo sea arrastrado dentro del material filtrante y atasque al filtro y garantizar una permeabilidad satisfactoria, el material de relleno filtrante debe cumplir con los siguientes requisitos:

1.  $\frac{D_{15\text{filtro}}}{D_{85\text{suelo}}} \leq 5$

2.  $\frac{D_{15\text{filtro}}}{D_{15\text{suelo}}} \leq 20$

3.  $\frac{D_{50\text{filtro}}}{D_{50\text{suelo}}} \leq 25$

4.  $\frac{D_{60\text{filtro}}}{D_{10\text{suelo}}} \leq 20$

5. En ningún caso se permitirá que el filtrante tenga más del 1% pasando la malla No.200, determinado por la vía húmeda.
6. Cuando se trate de suelos altamente arcillosos, el D15 del filtro no puede ser mayor de 0.4 mm, sin embargo el requisito No.3 puede ser omitido.
7. Cuando se usen tubos perforados el D85 del filtro debe ser igual o mayor que el diámetro de la perforación.
8. Cuando se instalen dos filtros adyacentes, compuestos de materiales de distinta graduación, los requisitos establecidos en los apartados anteriores deben ser satisfechos por cada uno de los filtros con relación a la graduación del material o materiales adyacentes.

En la Tabla 703-1 se indican tres graduaciones recomendables para materiales filtrantes, la escogencia dependerá de las condiciones particulares y debe cumplir con los requisitos anteriormente citados:

- c) Material para relleno filtrante de drenaje francés: el material de relleno filtrante para la construcción de drenaje francés deberá estar compuesto de partículas minerales duras y durables, de gravas, piedra triturada o escorias, libre de materia orgánica, arcilla y otras impurezas y que tenga la siguiente graduación:

TAMIZ	% PASANDO POR PESO
1.90 cm	100
1.27 cm	90-100
0.95 cm	40-70
No.4	0-15
No.8	0-5

**TABLA 703-1**

**Graduaciones recomendables para materiales filtrantes  
% por peso pasando mallas cuadradas AASHO T11 Y T27**

MALLA	GRADUACION		
	A	B	C
2.54	100	-	-
1.90	90-100	-	-
0.95	40-100	100	100
No.4	25-40	90-100	90-100
No.8	18-33	-	-
No.16	-	30-80	25-70
No.30	5-15	15-50	10-40
No.50	0-7	3-10	0-6
No.100	-	0-2*	0-1*
No.200	0-1	0	0

\*El % pasando la malla No. 100 no debe exceder 1/5 del % pasando la malla No.50.

**703.02 Agregado grueso para hormigón de cemento portland:** el agregado grueso para hormigón deberá satisfacer los requisitos de AASHO M-80, con las siguientes excepciones:

1. La graduación deberá estar de acuerdo con la Tabla 703-2 en cuanto a los tamaños aplicables a los diferente tipos de hormigón especificado.
2. Si al someter estos agregados gruesos al ensayo de sanidad con sulfato de sodio, de acuerdo con la prueba AASHO T-104, la pérdida no excede el valor del 18% por peso, será motivo suficiente para la aceptación del material en cuanto a durabilidad se refiere. Si este agregado tuviera una pérdida superior, la aceptación quedaría condicionada a que el material satisfaga todas las pruebas indicadas en AASHO M-80 y AASHO T-104, la pérdida no debe exceder 15% por peso.
3. El agregado liviano si fuese exigido o permitido deberá satisfacer los requisitos AASHO M-195 para la graduación especificada.

**TABLA 703-2**

**Requerimientos de graduación de agregados gruesos para hormigón de cemento portland**

AASHO M43	% EN PESO QUE PASA UN TAMIZ, DE MALLA CUADRADA									
	76.2 mm	63.5 mm	50.8 mm	38.1 mm	25.4 mm	19 mm	12.7 mm	9.5 mm	No.4	No.8
12.7-No.4	-	-	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5
19-No.4	-	-	-	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5
25.4-No.4	-	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5
38.1-No.4	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	0-5	-
50.8-No.4	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0-5	-
63.5-No.4	100	95-100	-	35-70	-	10-30	-	-	0-5	-
38.1-19	-	-	100	90-100	20-55	0-15	-	0-5	-	-
50.8-25.4	-	100	95-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-
63.5-38.1	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-

La Tabla 703-2 es de referencia en cuanto al rango de variación de los agregados, el MOPT en todos los casos exigirá el diseño del hormigón por resistencia a los 28 días de edad. El Contratista deberá proponer al MOPT o al Ingeniero encargado de la obra. El proporcionamiento por peso y diseño de la mezcla correspondiente en cada caso para el esfuerzo o resistencia en los planos con la graduación usada para el diseño. El Ingeniero encargado de la obra por medio del Laboratorio correspondiente, revisará, controlará y rechazará el diseño presentado, cuando no se cumpla con el valor de resistencia pedido.

#### **701.01 Cemento Portland**

**701.01** Cemento Portland: el cemento deberá satisfacer los requisitos de las especificaciones que se mencionan a continuación, para los tipos especificados o permitidos.

<b>TIPO</b>	<b>ESPECIFICACION</b>
Cemento Portland	AASHO M 85
Cemento Portland con inclusión de aire	AASHO M 134

A no ser que fuese permitido por el Ingeniero en otra forma, en la obra deberá emplearse el producto de una sola fábrica y de una misma marca o tipo, excepto cuando se trate de la disminución de excesiva inclusión de aire, si se emplea cemento de este tipo.

El Contratista deberá proporcionar los medios adecuados para el almacenamiento y protección del cemento contra la humedad. Se rechazará todo el cemento que por alguna causa hubiere llegado a fraguar parcialmente o contenga terrones aglutinados.

No se permitirá usar el cemento proveniente de bolsas abiertas y usadas ni el cemento recuperado del desperdicio propio del manipuleo en descarga, movimiento y almacenamiento del mismo.

## REQUISITOS PARA LA CONSTRUCCION

### 501.03 Calidad dl hormigón, dosificación

La dosificación del agua, el cemento y los agregados estará basada en la resistencia mínima, a no ser que las especificaciones especiales requieran la sustitución por una dosificación basadas en un contenido predeterminado de cemento.

- a) Mezcla basada en la resistencia mínima de la flexión y la compresión: el Contratista determinará las proporciones de cemento, agregado fino, agregado grueso y agua, de acuerdo con los ensayos de laboratorio sobre los materiales que se emplearán y el contenido nominal de cemento, y deberán producir:
- un hormigón trabajable que tenga un asentamiento entre:
    - 4 y 8 cm si no fuese vibrado
    - 1 y 4 cm si fuese vibrado
  - una resistencia flexional  $> 40 \text{ kg/cm}^2$  , ensayado por el método en tres puntos  
 $>45 \text{ kg/cm}^2$  , ensayado por el método de punto medio
  - una resistencia a la compresión de  $250 \text{ kg/cm}^2$  , ensayado a los 14 días.

El muestreo, moldeo y curado de los especímenes se hará de acuerdo con la especificación AASHO T-126.

Si se usa aditivo inclusor de aire, el contenido total de aire deberá ser de 5% con una tolerancia de  $\pm 2\%$ .

b) Dosificación basada en un contenido predeterminado de cemento: si las especificaciones especiales estipulan el proporcionamiento de los agregados con base a un contenido predeterminado de cemento, se puede usar las proporciones expuestas en la Tabla 501.01 las cuales están calculadas para producir un hormigón que contenga 8.5 sacos de cemento, más o menos 2% por metro cúbico, adecuado para la colocación mecánica normal, con un contenido de aire entre 3 y 7% y un asentamiento entre 4 y 8 cm para el hormigón sin vibrar o entre 2 y 5 cm para el hormigón vibrado.

**TABLA 501.01**

**Proporciones aproximadas para hormigón de cemento portland con inclusión de aire**

Tipo de agregado grueso	Agregados saturados superficie seca Kg			
	Agua	Fino	Grueso	
			Pequeño	Grande
<b>Grava redonda</b>	17	72	66	100
<b>Grava o piedra triturada</b>	19	81	61	91

**Proporciones de mezcla por saco de cemento de 42.5 kilogramos**

La Tabla 501.01 tiene como base el supuesto de que la Gravedad saturada superficie seca de la arena, grava y piedra es de 2.65, que la arena está bien clasificada y tiene un módulo de finura entre 2.6 y 2.9, que el agregado grueso se

compone aproximadamente del 60% del más grande y 40% del más pequeño al ser separado en el tamiz 2 cm para la graduación de 4 cm hasta No.4 en el tamiz de 2.5 cm para la graduación de 5 cm hasta No.4.

Las cantidades indicadas en la Tabla 501.01 para la dosificación, serán ajustadas por el Ingeniero para diferenciar en la gravedad específica con el objeto de obtener la deseada trabajabilidad y asentamiento para el contenido de cemento especificado y el contenido de humedad libre en los agregados que se estén utilizando. El peso total de los agregados por saco de cemento no deberá ser variado excepto para compensar las variaciones en la gravedad específica o contenido de humedad.

c) Generalidades: Cuando por circunstancias especiales sea preciso el empleo de aditivos no incluidos en las especificaciones, dichos aditivos, tales como aceleradores y reductores de agua, podrán emplearse únicamente con el permiso del ingeniero.

No se permitirán las coladas que impliquen fracciones de sacos de cemento, excepto cuando se esté empleando cemento a granel.

Con el objeto de que el hormigón adquiera resistencia más rápidamente, el Contratista podrá, a su opción y sin compensación adicional, utilizar mayor cantidad de cemento, pero no deberá exceder un contenido total de cemento de 10.5 sacos por metro cúbico de hormigón.

## 501.04 EQUIPO

El equipo y las herramientas necesarias para el manejo de los materiales y la ejecución de todas las partes de la construcción deberán ser aprobados por el ingeniero en cuanto a diseño, capacidad y condición mecánica. El equipo deberá encontrarse en el sitio de trabajo con suficiente anticipación al comienzo de las operaciones de la construcción, para que pueda ser examinado detenidamente y aprobado. Si cualquier equipo no se mantuviera en perfectas condiciones para trabajar, o cuando el utilizado por el Contratista demuestre ser inadecuado, deberá ser arreglado o sustituido por otro satisfactorio a criterio del ingeniero.

### a) Planta de dosificación y equipo:

1. **Generalidades:** La planta de dosificación incluirá depósitos, tolvas para pesar y balanzas para el agregado fino y para cada uno de los tamaños separados de agregado grueso. Si el cemento es empleado a granel deberá incluirse un depósito, tolva y balanza aparte para el cemento. Las tolvas para pesar deberán estar debidamente selladas para evitar el levantamiento del polvo al estar operando. Se deberá contar con dispositivos de seguridad aprobados, que sean conservados en buen estado para la protección de todo el personal ocupado en la operación de la planta, así como para la inspección y pruebas. La planta de dosificación deberá estar equipada con un medidor adecuado, no reajutable, que marque correctamente el número de cargas proporcionadas.
2. **Depósitos y tolvas:** Los depósitos que tendrá la planta deben tener compartimientos adecuados, separados, para los agregados finos y para cada clase de agregado grueso. Cada compartimiento deberá estar en condiciones de descargar su contenido eficiente y libremente en la tolva para pesar.
3. **Balanzas:** Las balanzas para los agregados y el cemento deberán ser de cualquiera de los dos tipos de brazo o de carátula sin resorte. Tendrán una precisión del 0.5 %, dentro del rango establecido para su funcionamiento.

El Contratista deberá tener disponibles no menos de 10 pesas de 25 Kg cada una para la comprobación frecuente de todas las básculas y deberá proporcionar la manera de levantar las pesas cuando fuese necesario.

4. Dispositivos automáticos para pesar: Cuando fuese estipulado en el Contrato, las plantas de dosificación deberán estar equipadas para dosificar los agregados y el cemento a granel, mediante dispositivos pesadores automáticos, de tipo aprobado.

**b) Mezcladoras:**

1. **Generalidades:** El hormigón podrá mezclarse en el lugar de la construcción, o en una planta fija, o totalmente o en parte en un camión mezclador. Cada mezcladora deberá tener fija, en un lugar visible una placa del fabricante, que indique la capacidad del tambor en términos de volumen de hormigón mezclado, así como la velocidad de rotación del tambor mezclador o de las aspas.
2. **Mezcladoras:** Cada pavimentadora o mezcladora estacionaria, deberá estar equipada con un dispositivo aprobado, que mida el tiempo y que automáticamente fije la palanca de descarga cuando el tambor haya sido cargado, y automáticamente suelte la palanca, al final del período de mezclado. Este dispositivo deberá estar equipado con un timbre u otro sistema de aviso adecuado. Las paletas receptoras y amasadoras en el tambor o tambores deberán ser reparadas o repuestas cuando se desgasten 2 cm o más.
3. **Camiones mezcladores y camiones agitadores:** Deben cumplir con AASHO M-157.
4. **Camiones no agitadores:** Los cajones para el transporte del hormigón del equipo no agitador, deberán ser recipientes de metal lisos, a prueba de escurrimiento del mortero, capacitados para descargar el hormigón a una velocidad controlada y satisfactoria sin segregación.

c) **Equipo para el acabado:**

1. **Máquina acabadora:** deberá estar equipada cuando no menos con dos codales del tipo oscilante transversal u otro aditamento comparable para alisar el hormigón .
2. **Vibradores:** La frecuencia de los vibradores superficiales deberá ser no menor de 3500 impulsos por minuto, y la frecuencia de los de tipo interno deberá ser no menor de 5000 impulsos por minuto para los vibradores de tubo y no menor de 7000 impulsos por minuto para los de cabezas vibratoras.

d) **Sierra para hormigón:** Cuando fuese preferido o especificado el aserrado de las juntas, el Contratista deberá proporcionar el equipo adecuado para el objeto, en número de unidades y potencias para completar el aserrado de las juntas con una hoja de sierra de filo de diamante enfriada por agua, o con una rueda abrasiva de las dimensiones y velocidad requeridas.

e) **Moldes:** Los moldes laterales rectos deberán estar fabricados de un metal que tenga un espesor de por lo menos 0.55 cm y se deberán proveer en secciones de no menos de 3 metros de largo. Los moldes tendrán una profundidad por lo menos igual al espesor prescrito para el borde de la losa de hormigón sin junta horizontal, y un ancho de la base por lo menos igual a la profundidad de los moldes. Para curvas con radio de 30 m o menos, se emplearán moldes flexibles, o curvos, de madera, o metal, que tengan el radio adecuado.

**501.05 PREPARACION DE LA CAMA DE LA CALZADA:** Después de que la cama de la calzada haya sido satisfactoriamente nivelada y compactada, ésta deberá ser recortada aproximadamente a la elevación correcta, extendiendo el trabajo por lo menos 60 cm más allá de cada borde del pavimento de concreto que se propone construir.

## 501.05 COLOCACION DE LOS MOLDES

**a) Apoyo para la base:** La cimentación debajo de los moldes deberá ser dura y a nivel de manera que los moldes al ser colocados estén en contacto firme a todo lo largo y al nivel especificado. Cualesquier depresión que se encontrara respecto al nivel inferior de los moldes deberá ser rellenado hasta el nivel debido, empleando material granular, capas de un centímetro o menos, colocadas en una anchura, de 0.45 m por lo menos a cada lado del molde, procediéndose luego a una nueva compactación mediante rodillo o pisón. Los lomos serán corregidos mediante apisonado, recortado o como fuese necesario.

**b) Colocación de los moldes:** Los moldes serán colocados con suficiente anticipación al colado del hormigón, para así facilitar la ejecución y aprobación de las operaciones requeridas dentro de y próximas a las líneas de los moldes. Después de que los citados moldes hayan sido colocados dentro de la alineación correcta, debe apisonarse completamente en ambos bordes, interiores y exteriores de la base de los moldes, ya sea mecánicamente o a mano.

Los moldes se fijarán en su lugar mediante el uso de 3 o más pines para cada sección de 3 metros, y se deberá colocar un pin cerca de cada extremo de la sección. Las secciones de los moldes se fijarán rígidamente de modo que carezcan de juego o movimiento en cualquier dirección. Los moldes no deberán desviarse de la alineación correcta en más de 6 mm en cualquier punto. No se tolerará ningún asentamiento excesivo ni bamboleo de los moldes bajo la máquina acabadora. Los moldes deberán limpiarse y aceitarse antes de la colada.

**c) Pendiente y alineamiento:** El alineamiento y la pendiente de los moldes deberán ser revisadas y corregidas por el Contratista inmediatamente antes de colocar el hormigón. Cuando cualquier molde haya sido disturbado o cuando su alineación se haya convertido en inestable, el molde deberá ser reajustado y revisado de nuevo.

**501.07 ACONDICIONAMIENTO DE LA CAMA DE LA CALZADA:** Cuando los moldes laterales hayan sido fijados firmemente en su nivel, la subrasante, subbase o capa de base deberá ser ajustada al perfil especificado en la sección típica transversal. Las áreas altas deberán ser rebajadas a la elevación adecuada. Las áreas bajas deberán rellenarse y compactarse hasta que estén en un estado similar al del nivel circundante o rellenas con el mismo hormigón usado en el pavimento. La cama de la calzada terminada deberá conservarse en estado liso y compacta hasta que el pavimento sea colocado.

A no ser que fuese especificada una capa de material impermeable como subrasante o capa de base, ésta deberá estar humedecida uniformemente cuando se coloque el hormigón. Si posteriormente se seca demasiado, la subrasante o capa de base deberá ser rociada, pero el método usado para el rociado no debe formar lodo o charcos.

**501.08 MANEJO, MEDICION Y DOSIFICACION DE LOS MATERIALES:** La ubicación de la planta de dosificación, la disposición del equipo de la misma, el equipo de transporte del material y las disposiciones para efectuarlo, deberán ser de tal índole que aseguren un abastecimiento continuo de material para la obra.

No se permitirán batidas que incluyan fracciones de saco, excepto cuando se trate de cemento a granel.

Cuando la mezcla se efectúe en el lugar de la obra, los agregados deberán ser transportados de la planta de dosificación hasta la mezcladora en cajones de dosificación, cajones de vehículos y/u otros recipientes de capacidad y construcción adecuada para llevar debidamente el volumen que sea requerido.

Las dosificaciones para cada batida deberán ser entregadas en la mezcladora por separado e intactas. Cada batida deberá ser vaciada dentro de la mezcladora sin derrame de cemento y cuando fuese transportada en un mismo camión, más de una dosificación no debe desbordarse material de un compartimiento a otro. La

dosificación de cada batida deberá ser efectuada en tal forma que los pesos de cada material se encuentren dentro de una tolerancia del 1% para el cemento y del 2% para los agregados.

Todos los aditivos deberán ser medidos en la mezcladora con una exactitud de 3% en más o en menos.

**501.09 MEZCLADO DEL HORMIGON:** El hormigón puede ser mezclado en el lugar de la obra, en una planta fija de mezclado o en camiones mezcladores. El tiempo de mezclado se computará desde el momento en que todos los materiales, excepto el agua, estén en el tambor. El Contratista deberá presentar datos sobre pruebas que sean aceptables para el ingeniero, confirmando que la marca y modelo del mezclador producirán hormigón uniforme conforme las especificaciones AASHO M-157, utilizando el número de revoluciones reducido mostrado en las placas de serie. Cuando el mezclado se haga en el sitio de trabajo o en una planta fija de mezclado, el tiempo para efectuarlo no deberá ser menor de 50 ni mayor de 90 segundos. Se aumentarán 4 segundos al tiempo especificado para el mezclado, cuando el plazo comience a contarse desde el momento en que el cucharón de carga llega a su máxima posición de alzada. El tiempo de traslado para mezcladores de tambor múltiples está incluido en el tiempo de mezclado. El contenido de un tambor mezclador individual deberá sacarse antes de que la siguiente dosificación sea vaciada en el mismo.

La dosificación deberá ser realizada en el tambor en tal forma que una parte del agua para el mezclado deberá entrar antes de que el cemento y los agregados. El agua deberá fluir uniformemente y toda ella deberá estar en el tambor al final de los primeros 15 segundos del período de mezclado.

No se permitirá el reamasado del hormigón añadiendo agua, ni por otros medios, excepto cuando sea necesario aumentar el revenimiento y satisfacer los requisitos especificados en el caso de que el transporte del hormigón se haya hecho en camiones mezcladores o agitadores y que esto fuese permitido por el ingeniero, siempre que todas estas operaciones fuesen llevadas a cabo dentro de los 45 minutos siguientes a la operación inicial de mezclado. No deberá utilizarse

el hormigón que en momento de su colocación no esté dentro de los límites de asentamiento especificado.

Únicamente se permitirá el uso de aditivos para aumentar la trabajabilidad del hormigón o para acelerar su fraguado, cuando éstos sean especificados en el Contrato o autorizados por el Ingeniero.

**501.10 LIMITACIONES DEL MEZCLADO:** No se deberá mezclar, colocar, ni terminar hormigón alguno cuando la luz natural sea insuficiente, a no ser que se cuente con un sistema de alumbrado artificial adecuado y aprobado. A no ser que fuese ordenado de otro modo, la temperatura del hormigón mezclado no deberá ser inferior de 7°C, ni mayor de 32°C, al momento de colocarse en los moldes. Cuando esté autorizado el uso de cloruro de calcio para acelerar el fraguado inicial, se empleará en solución que deberá ser preparada disolviendo un saco de 45 kg de cloruro de calcio tipo 1 regular, o un saco de 36 kg de cloruro de calcio tipo 2 concentrado, en aproximadamente 60 litros de agua y entonces se añadirá suficiente agua para hacer 100 litros de solución. Al emplearse la solución no deberá exceder de 2 litros por cada saco de cemento y esta solución deberá considerarse como parte del agua para mezclar.

**501.11 COLADO DEL HORMIGON:** El hormigón deberá ser depositado en la cama preparada, en tal forma que requiera un mínimo de manipuleo. A no ser que los camiones mezcladores, camiones agitadores, o equipo de transporte no agitador, estén equipados con medios para la descarga del hormigón sin segregación de los materiales, el hormigón deberá ser descargado dentro de un aparato distribuidor aprobado y será extendido mecánicamente sobre la cama, en tal forma que evite la segregación de los materiales. La colada será continua entre juntas transversales.

La distribución manual que fuese necesario hacer, deberá efectuarse con palas y no con rastrillos. Los obreros no deberán caminar sobre el hormigón recién

mezclado, con las botas o zapatos cubiertos de tierra, o sustancias inconvenientes.

Donde el hormigón tenga que ser colado adyacente a un carril de pavimento previamente construido y el equipo mecánico tenga que ser manejado sobre el carril de pavimento existente, el hormigón del carril deberá haber alcanzado la resistencia especificada para los 14 días. Si es solamente el equipo de acabado el que circula sobre el carril existente, la pavimentación de los carriles adyacentes podrá permitirse después de pasados 3 días.

El hormigón deberá vibrarse cuidadosamente a lo largo de las caras de todos los moldes, a lo largo de toda la distancia y en ambos lados de las juntas, empleando para el efecto vibradores insertados en el hormigón. No se permitirá que los vibradores entren en contacto con ninguna junta, la cama o los moldes laterales y en ningún caso deberá vibrarse un mismo punto durante más de 15 segundos.

El hormigón deberá ser depositado tan cerca como sea posible de las juntas de expansión o dilatación y contracción, sin molestarlas. Y no deberá ser arrojado del cucharón de descarga sobre una junta a menos que éste se encuentre centrada sobre la junta.

En caso que un poco de hormigón cayese o fuese empujado sobre la superficie de una losa terminada, deberá retirarse inmediatamente por medio de métodos aprobados.

**501.12 MUESTRAS PARA ENSAYO EN LA OBRA:** El Contratista deberá proporcionar el hormigón necesario para moldear viguetas y cilindros de prueba. Será moldeado un juego de 3 viguetas y 3 cilindros por cada 2500 metros cuadrados, o fracción de pavimento colocado, pero no menos de dos juegos de 3 viguetas y 3 cilindros por cada día de trabajo.

Las viguetas y cilindros deberán estar hechos y curados de acuerdo con AASHTO T-23.

### **501.13 NIVELADO DEL HORMIGON Y COLOCACION DEL REFUERZO:**

Después del colado del hormigón, éste deberá nivelarse para que vaya de acuerdo con la sección transversal mostrada en los planos, y a una elevación tal que la superficie del pavimento quede a la cota mostrada en ellos cuando el hormigón esté debidamente densificado y acabado. Cuando el pavimento de hormigón armado se coloque en dos capas, la capa inferior deberá ser alisada en una longitud y profundidad tales que permitan colocar la malla de refuerzo en su posición final sin necesidad de más manipuleo. Entonces se colocará directamente el refuerzo, después de lo cual se colocará la capa superior, para nivelarla. Cualesquiera parte de la capa inferior que estuviese colocada por más de 30 minutos sin ser cubierta por la capa superior, deberá ser retirada y reemplazada con hormigón recién mezclado, todo eso por cuenta del Contratista. Cuando el hormigón armado sea colocado en una capa, ese refuerzo podrá ser colocado firmemente con anticipación a la colocación del hormigón, o puede ser colocado a la profundidad mostrada en los planos por medios mecánicos o vibratorios después de extendido el hormigón.

Las varillas para el refuerzo deberán estar exentas de tierra, aceite, pintura, grasa, costra de escamas que puedan perjudicar la liga del acero con el hormigón.

**501.14 JUNTAS:** Las juntas deberán ser del tipo y las dimensiones y en las ubicaciones requeridas por los planos o en las especificaciones especiales.

**a) Junta longitudinal:** Deberán colocarse barras de acero de trabazón, deformadas, en el sentido perpendicular a las juntas, especificando el largo, tamaño, equidistancia y material. La colocación se hará por medio de equipo mecánico aprobado o se fijarán rígidamente por medio de placas de asiento u otros soportes aprobados, para evitar el deslizamiento. Las barras de trabazón no deberán ser pintadas ni recubiertas con asfalto u otro material, ni encerradas en tubos.

Las juntas longitudinales deberán consistir en una ranura o muesca que se extienda hacia abajo desde y normal a la superficie del pavimento. Estas juntas

deberán ser formadas por un dispositivo aprobado, mecánico o manualmente operado, a las dimensiones y alineación indicadas por los planos y mientras el hormigón se encuentre en estado plástico.

La junta longitudinal del centro deberá ser instalada de modo que sus extremos estén en contacto con las juntas transversales, si las hubiese.

Las juntas longitudinales aserradas se deberán cortar por medio de sierras para hormigón para la profundidad, el ancho y la alineación que se muestran en los planos. Deberán utilizarse líneas adecuadas de guías u otros dispositivos, para asegurar el corte longitudinal de la junta en la línea media mostrada en los planos. La junta longitudinal deberá ser aserrada antes del período de cura o poco después, y antes de que se permita transitar por el pavimento a cualquier equipo o vehículo. La parte aserrada debe limpiarse perfectamente y en caso necesario la junta deberá ser rellenada inmediatamente con un sellador.

**b) Junta transversales de expansión:** La tira de relleno para junta de expansión deberá ser continua, de molde a molde, conformada a la subrasante y al endentado a lo largo de los moldes. Deberá proporcionarse relleno premoldeado, de longitud igual al ancho del pavimento, o al de un carril. Las tiras de relleno para las juntas estén dañadas o reparadas no se deberán utilizar a menos que fuesen aprobados por el ingeniero.

La tira de relleno para la junta de expansión, deberá sujetarse en posición vertical. Deberá utilizarse una barra instaladora aprobada, u otro dispositivo, cuando fuese necesario para asegurar la tira de relleno en su posición correcta de inclinación y alineamiento, durante la colada y acabado del hormigón. Las juntas acabadas no deberán desviarse de la línea recta más de 6 mm en la alineación horizontal. Si las tiras de relleno están compuestas de piezas ensambladas, no deberán haber rebordes entre unidades adyacentes. No se permitirán intrusiones de hormigón en ninguna parte dentro del cuerpo de la expansión.

**c) Juntas transversales de contracción:** Las juntas transversales de contracción deberán consistir de secciones debilitadas creadas al moldear o al hacer cortes en la superficie del pavimento, y cuando lo indiquen los planos deberán incluir unidades para la transferencia de la carga. Tipos:

- juntas de tira
- juntas moldeadas
- juntas aserradas

**d) Juntas transversales de construcción:** Las juntas de construcción transversales deberán ser construidas cuando hubiese una interrupción de más de 30 minutos en las operaciones de colocación del hormigón. Ninguna junta transversal deberá construirse dentro de los 3 metros de distancia de una junta de expansión, junta de contracción o plano debilitado. Si no hubiese suficiente hormigón mezclado para formar una losa que tenga por lo menos 3 metros de largo, al ocurrir la interrupción, el hormigón excedente atrás hasta la última junta precedente, deberá ser retirado disponiendo del mismo como fuese ordenado.

**e) Dispositivo para la transferencia de cargas:** Las barras lisas de transferencia de carga (dovelas), deberán ser mantenidas en posición paralela a la superficie y línea media de la losa por medio de un dispositivo de metal que se deja en el pavimento.

Para evitar que el hormigón se adhiera a las dovelas, la parte embebida en él, deberá estar recubierta con una capa de pintura de plomo o de alquitrán.

Deberá colocarse un tubo de expansión o capuchón en el extremo pintado de cada dovela utilizada en las juntas de expansión, deberán meterse ajustarse en la barra y el extremo cerrado deberá ser impermeable.

#### **501.15 NIVELACION FINAL, DENSIFICACION Y ACABADO:**

**a) Secuencia:** La secuencia de las operaciones deberá ser la nivelación final, la densificación, allanado y eliminación de la nata (lechada), emparejamiento y acabado final de la superficie. El Contratista deberá proporcionar pasarelas u otros equipos necesarios para tener acceso a la superficie del pavimento que facilite los trabajos de acabado final y llevar a cabo las correcciones que se indiquen.

En general, no se permitirá adicionar agua superficial a la superficie del hormigón para ayudar a las operaciones del acabado. Si es permitida la aplicación de agua,

se deberá aplicar con un atomizador común o por medio de equipo aprobado para tal aspersión.

**b) Acabado de las juntas:** El hormigón contiguo a las juntas deberá ser densificado y colado firmemente, sin vacíos o segregaciones, contra el material de las juntas, lo mismo que alrededor y debajo de las barras para la transferencia de carga, unidades de ensamble para las juntas u otros aparatos que se coloquen en el pavimento para que permanezcan en él. El hormigón contiguo a las juntas deberá ser vibrado mecánicamente. La máquina acabadora deberá operarse en forma normal hacia delante de modo que no cause daño en las juntas, deberá detenerse la operación de dicha máquina cuando la plantilla maestra delantera se encuentre aproximadamente a 20 cm antes de la junta. El hormigón segregado se deberá retirar del frente y encima de la junta, la plantilla maestra delantera deberá ser levantada y colocada directamente encima de la junta y se reanudará entonces el movimiento hacia el frente de la máquina acabadora. La máquina acabadora podrá pasar sobre la junta sin levantar las plantillas, siempre y cuando no haya hormigón segregado inmediatamente entre la junta y las plantillas, ni encima de la junta.

**c) Acabado con máquina:**

1. Método no vibratorio: El hormigón deberá ser distribuido y extendido tan pronto como sea puesto en la obra y seguidamente debe ser nivelado y repasado por la plantilla maestra de una máquina acabadora aprobada, la cual deberá pasar sobre la superficie del pavimento tantas veces y a tales intervalos como fuese necesario para obtener la densificación necesaria y dejar una superficie de textura uniforme. Durante la primera pasada de la máquina acabadora, se deberá mantener un lomo uniforme de hormigón por delante de la primera plantilla maestra en todo su largo.
2. Método vibratorio: Cuando esté especificada la vibración deberán suplirse aparatos vibradores para trabajar en el ancho completo de las losas de hormigón del pavimento. Cuando no se hubiese obtenido una densidad uniforme y satisfactoria para el hormigón, por el método vibratorio en las juntas, a lo largo de los moldes, adyacentes a estructuras o en zonas del pavimento,

se le exigirá al Contratista que proporcione equipo y métodos que puedan producir un pavimento que satisfaga las especificaciones.

**d) Acabado a mano:** A no ser que fuese especificado en otra forma, no serán permitidos los métodos de acabado a mano, excepto en caso de falla del equipo mecánico.

**e) Allanado:** Después que el hormigón haya sido enrasado y densificado, será afinado y densificado aun más, por medio de un codal longitudinal, empleando uno de los siguientes métodos:

- método manual
- método mecánico
- método mecánico alterno

**h) Bordes en moldes y juntas:** Después del acabado final, pero antes de que el hormigón haya alcanzado su fraguado inicial, los bordes del pavimento en los costados de cada losa, y en cada lado de las juntas transversales de expansión, juntas transversales de construcción y juntas de construcción de emergencia, deberán conformarse mediante una herramienta apropiada, redondeándolas al radio estipulado en los planos. El redondeado deberá ser bien definido y continuo, obteniéndose un acabado denso y liso del hormigón. La superficie de la losa no deberá ser maltratada indebidamente por la inclinación de la herramienta que se use. Cualquier marca de herramienta que aparezca sobre la losa, adyacente a las juntas, deberá eliminarse mediante el uso de un escobón. Durante la operación de barrido, no debe maltratarse ni dañarse la parte redonda de la esquina de la losa. Todo el hormigón que se encuentre encima de las tapajuntas deberá quitarse completamente.

**501.16 PRUEBAS DE LA SUPERFICIE:** Tan pronto como el hormigón haya endurecido, la superficie del pavimento deberá revisarse con un escantillón de 3 metros u otro dispositivo especificado. Las zonas que muestren puntos más altos que 3 mm, pero que no excedan 13 mm en 3 metros, deberán ser señaladas e inmediatamente se procederá a trabajarlos con una herramienta esmeriladora aprobada, hasta que dichos puntos o zonas no muestren diferencias en la

superficie mayores de los citados 3 mm, al ser revisado con la regla de 3 metros. Cuando la diferencia con el perfil correcto sea mayor de 13 mm, el pavimento deberá removerse y reponerse por cuenta del Contratista.

Para que se ordene remover y reponer de esta manera la sección afectada, ésta no deberá ser menor de 3 metros de largo, ni menor de todo el ancho del carril de que se trate. Cuando se ordene remover y reponer una sección de pavimento, cualesquier parte de losa entre la sección removida y la junta más cercana que mida menos de 3 metros, deberá removerse y reponerse en la misma forma.

**501.17 CURADO:** Inmediatamente después de quedar completas las operaciones del acabado, y tan pronto como no exista la posibilidad de estropear el pavimento, la superficie total del hormigón colocado, recientemente, deberá ser cubierta y curada con el empleo de uno de los métodos que se mencionan seguidamente. En todos los casos en que se ocupe agua para la operación de curado, el agua para la cura tendrá prioridad sobre cualesquier otra necesidad o destino. Si no hubiere suficiente cantidad de agua para la cura y para el mezclado del hormigón en forma simultánea, o si no hubiese en el sitio suficiente cantidad de materiales para curado, entonces se deberá suspender inmediatamente las operaciones de pavimentación.

El hormigón no podrá quedar sin curado por más de media hora durante las diferentes etapas del curado o durante el período de cura.

- a) Mantas de algodón o de cañamazo
- b) Papel impermeable
- c) Cura con paja
- d) Membrana impermeable
- e) Película de polietileno blanco

**501.18 RETIRO DE LOS MOLDES:** A menos que se hubiese dispuesto de otra manera, los moldes, no deberán ser retirados del hormigón recién colocado, hasta que haya fraguado por lo menos 12 horas, exceptuando los moldes auxiliares

colocados provisionalmente en áreas ensanchadas. Los moldes deberán ser retirados cuidadosamente, con el objeto de evitar daños al pavimento. Después de que hayan sido quitados dichos moldes, los costados de las losas deberán curarse de acuerdo con el método utilizado.

**501.19 SELLADO DE JUNTAS:** Si las juntas tienen que ser selladas, se deberán rellenar con material sellador de juntas antes de que el pavimento sea abierto al tránsito, y lo más pronto posible después de terminado el período de cura. Inmediatamente antes de rellenarse deberá limpiarse cuidadosamente cada junta, eliminando todo material extraño, incluyendo la membrana del compuesto para la cura y las caras de las juntas, incluyendo la membrana del compuesto para la cura y las caras de las juntas deberán estar limpias y con la superficie seca cuando se aplique el material de sello.

Para evitar un sobrecalentamiento localizado, el material que se utilice para el sello de las juntas, deberá batirse durante el proceso de calentamiento en el caso de que deba ser aplicado en caliente.

**501.20 PROTECCION DEL PAVIMENTO:** El Contratista deberá proteger el pavimento contra el tránsito público y el de sus propios empleados. Esto deberá incluir vigilantes que dirijan el tránsito, la erección y mantenimiento de señales de advertencia, luces de aviso, etc. Los planos o las disposiciones especiales indicarán la ubicación y tipo de instalación o dispositivos necesarios para proteger la construcción y proporcionar adecuadas facilidades al tránsito.

Cualquier daño al pavimento que ocurra con anterioridad a la aceptación final deberá ser reparado o la sección eliminada y repuesta.

**501.21 APERTURA DEL TRANSITO:** Método de molde deslizante. Salvo que en le contrato se estipula lo contrario, el Contratista podrá construir el pavimento

utilizando moldes deslizantes. En caso de emplearse máquinas pavimentadoras sobre moldes deslizantes, se deberá aplicar las siguientes disposiciones:

- a) **Rasante:** Después de que la cama haya sido colocada y compactada y hasta la densidad requerida, las áreas que soportarán la máquina pavimentadora deberán ser cortadas a la cota correspondiente por medio de una máquina adecuada. La cama sobre la que el pavimento ha de construirse deberá llevarse al perfil debido usando el equipo apropiado. Si la compactación de la cama fuese alterada por las operaciones de nivelación, se deberá corregir por medio de compactación adicional, antes de colar hormigón. La cama deberá construirse con suficiente anticipación a la colocación del hormigón para permitir todo el trabajo de comprobación de los requisitos de la misma y el avance continuo de la máquina pavimentadora. En caso de que se permitiese algún tránsito sobre la cama preparada, la nivelación deberá ser comprobada y corregida, si fuere necesario, inmediatamente antes de la colocación del hormigón.
- b) **Colado del hormigón:** El hormigón deberá colocarse mediante una máquina pavimentadora aprobada, con molde deslizante, diseñada para extender, densificar, emparejar y efectuar el allanado sobre el hormigón recién colado en una pasada completa de la máquina en forma tal, que sea necesario un mínimo de trabajo manual de acabado para proporcionar un pavimento denso y homogéneo, de conformidad con los planos y Especificaciones. La máquina deberá vibrar el hormigón en todo el ancho y profundidad del carril del pavimento que se esté colando. Dicha vibración deberá efectuarse por medio de tubos o brazos vibradores trabajando dentro de la masa del hormigón, con un escantillón vibrador que opere en la superficie del hormigón. Cualquier asentamiento en el borde del pavimento, excluyendo el redondeo del borde, que exceda de 6 mm se deberá corregir antes de que el hormigón se haya endurecido.
- c) **Acabado:** El alisador y la textura de la superficie deberán satisfacer los requisitos de los artículos 501.15 y 501.16.

- d) **Curado:** A no ser que se hubiese especificado de otro modo, el curado deberá efectuarse de acuerdo con uno de los métodos incluidos en el artículo 501.17. El curado deberá ser aplicado en el momento oportuno y se aplicará uniforme y completamente a todas las superficies y bordes del pavimento.
- e) **Juntas:** Todas las juntas deberán construirse de acuerdo con el artículo 501.14.
- f) **Protección contra la lluvia:** Con el objeto de proteger debidamente el hormigón contra los efectos de la lluvia, antes de que se encuentre suficientemente endurecido, se le exigirá al Contratista que todo el tiempo tenga disponible materiales para la protección de los bordes y la superficie del hormigón no endurecido. Para proteger los bordes, tales materiales deberán consistir en formaletas estándar de metal o madera, que tengan un espesor no menor de 5 cm y un ancho mínimo igual al espesor del pavimento en su borde y para protección de la superficie del pavimento, el material protector consistirá en mantas de yute o de algodón, papel para curado, o material plástico en lienzos. Cuando la lluvia parezca ser inminente se deberán suspender todas las operaciones de pavimentación, y todo el personal disponible se dedicará a colocar formaletas contra los bordes del pavimento y a cubrir la superficie del hormigón no fraguado, utilizando la cubierta protectora.

**501.23 TOLERANCIA SOBRE EL ESPESOR DEL PAVIMENTO:** El espesor del pavimento será determinado midiendo el espesor promedio de los núcleos de ensayo, de acuerdo con AASHTO T-148.

Se establece un rango de tolerancia, en cuanto se refiere al espesor del pavimento, con el fin de obtener en el precio unitario contratado para el pavimento, que esté de acuerdo con las deficiencias en espesor, que sean comprobadas mediante ensayos. Para este efecto se considerarán separadamente unidades de control, definidas como 300 metros lineales de pavimento en cada carril de circulación, medidas a lo largo y en la misma secuencia que el estacionamiento. La última unidad en cada carril deberá ser 300 metros más la parte fraccionada sobrante de 300 metros. En cada unidad, el organismo inspector tomará un núcleo

al azar. Se hará un pago total cuando la medida de los núcleos no sea deficiente en más de 5 mm del espesor especificado. Cuando tal medida fuese deficiente en más de 5 mm pero en menos de 25 mm del espesor especificado, se tomarán dos núcleos adicionales a intervalos no menores de 1.00 m que se usarán para obtener el espesor promedio de esa unidad.

Si el espesor promedio de los tres núcleos fuese deficiente en más de 5 mm, pero en menos de 25 mm de los especificado, se pagará un precio unitario ajustado por el método descrito y establecido en el artículo 501.25 b).

Al calcular el espesor promedio del pavimento, las medidas que excedan del espesor especificado en más de 5 mm serán consideradas como el espesor especificado más 5 mm y las medidas que fuesen menores del espesor especificado en más de 25 mm no serán incluidas en el promedio.

Cuando la medida de algún núcleo sea menor al espesor especificado en más de 25 mm, el espesor efectivo del pavimento en esa área será fijado sacando núcleos adicionales exploratorios a distancias no menores de 3 metros entre cada uno, en forma paralela a la línea centro de cada sección afectada, hasta que sea encontrado un núcleo que no esté deficiente en más de 25 mm. Las áreas que fuesen halladas deficientes en espesor en una cantidad mayor de 25 mm, deberán ser estudiadas y ser evaluadas por el ingeniero, y si de acuerdo a su criterio estas áreas deficientes justifican su demolición, deberán ser removidas y repuestas con hormigón del espesor señalado en los planos. No serán utilizados en promedios para ajustes de precios unitarios, los núcleos exploratorios tomados para comprobar espesores deficientes.

## METODO DE MEDICION

**501.24** La cantidad que será pagada bajo este renglón, será el número de metros cuadrados de pavimento de hormigón terminado y aceptado según la medida completa tomada en la obra. El ancho para la medida, será el ancho del pavimento mostrado en la sección transversal típica de los planos, o el ensanchamiento adicional donde fuese necesario, o como hubiese sido ordenado por escrito por el ingeniero. El largo se medirá horizontalmente a lo largo de la línea de centro. La medida del acero de refuerzo colocado en la losa como una capa inferior en los lugares mostrados en los planos o que el ingeniero ordenase, será hecha de acuerdo con lo que dispone el artículo 602C.07. Cualesquiera otro acero que se requiera para el trabajo de esta sección no será medido para pago separado.

## BASE PARA PAGO

### 501.25

**(a) GENERALIDADES:** Las cantidades de hormigón aceptadas, medidas según las disposiciones que anteceden, serán pagadas al precio unitario de contrato por metro cuadrado, cuyo precio y pago será la compensación total por el suministro y colocación de todos los materiales, incluyendo las dovelas y material para las juntas.

Cuando cualquier pavimento se encuentre deficiente en espesor en más de 5 mm, pero menos de 25 mm, solamente se pagará el precio ajustado que se estipula más adelante.

No se hará ningún pago adicional por aquellos pavimentos que tengan un espesor promedio mayor del señalado en los planos.

Las varillas de refuerzo, medidas según lo estipulado en el artículo 501.24 serán pagadas conforme a la sección 602C. Cuando por orden del ingeniero fuese empleado cemento de fragua rápida y alta resistencia se hará un pago adicional por metro cuadrado, para el área de pavimento en que dicho cemento fue empleado. Este sobrepago se hará de acuerdo con el precio cotizado por el renglón 501(3).

El pago se hará en la forma siguiente:

<b>Renglón de pago</b>	<b>Unidad de pago</b>
501(1) Pavimento de hormigón armado, de cemento portland	Metro cuadrado
501(2) Pavimento de hormigón sin refuerzo, de cemento portland	Metro cuadrado
501(3) Pavimento de hormigón de alta resistencia (pago adicional)	Metro cuadrado

**b) AJUSTES DE PRECIO:** Cuando el espesor promedio del pavimento fuese deficiente en más de 5 mm, pero menos de 25 mm, el pago será efectuado a un precio ajustado como se especifica en la siguiente tabla:

<b>DEFICIENCIAS EN EL PAVIMENTO DE HORMIGON</b>	
<b>Deficiencias en el espesor determinado por los núcleos (mm)</b>	<b>Parte proporcional del precio del contrato, permitida según la deficiencia determinada</b>
0 hasta 5	100 %

5.1 hasta 7.5	80%
7.6 hasta 1.0	72%
10.1 hasta 12.5	68%
12.6 hasta 19	57%
19.1 hasta 25	50%

Cuando el espesor del pavimento sea deficiente en más de 25 mm y la decisión del ingeniero fuese en el sentido de que el área con tal deficiencia puede permanecer en el sitio sin ser eliminada y repuesta, no se hará pago alguno por la superficie correspondiente.

**c) Proporciones ajustadas:** Los ajustes en las proporciones, hechas de acuerdo con las disposiciones del artículo 501.03 b), que produzcan un cambio de más de un 2% en el contenido de cemento designado para una resistencia mínima determinada del hormigón, se ajustarán a favor o en contra del Contratista, según el costo del camino, entregado en el punto de almacenaje para la construcción, por las cantidades que excedan una variación del 2%.

# **Síntesis de especificaciones losas de concreto**

**Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones**  
**Curso de Pavimentos de Concreto hidráulico, Tomo II.**  
**1991**

El control de calidad de un pavimento de concreto se puede dividir en los siguientes elementos:

1. Control de Calidad de Materiales Básicos
2. Control de Calidad del Hormigón
  - 2.1. Ensayos Previos
  - 2.2. Ensayos Característicos y Tramo de Prueba
  - 2.3. Control de Ejecución
    - 2.3.1. Acopios de Aridos
    - 2.3.2. Fabricación del Hormigón
    - 2.3.3. Control en el Extendido
  - 2.4 Control de recepción del pavimento terminado
    - 2.4.1 Ensayos de características superficiales
    - 2.4.2 Tolerancias geométricas
    - 2.4.3 Ensayos de información
3. Equivalencia de algunos ensayos de control
  - 3.1 Cono de Abrans y bola de Kelly
  - 3.2 Rotura de Compresión de probetas cilíndricas y prismáticas
  - 3.3 Rotura a flexotracción y rotura brasileño
  - 3.4 Rotura a la flexotracción y a compresión
4. Algunas consideraciones acerca del control de calidad
5. Frecuencia de Ensayo

## **1. Control de Calidad de los Materiales Básicos**

La relación inicial de los materiales básicos, tales como cemento, arena, piedra, agua y aditivos; tanto naturales como comerciales, es la de mayor importancia para planificar adecuadamente la construcción del pavimento.

Errores en la selección de la cantera (volumen disponible, calidades cambiantes), en la elección del tipo de cemento, en la calidad de los aditivos o productos de curado, pueden resultar graves, aunque el resto de la ejecución se haga correctamente.

Siempre se debe recordar a los proyectistas que deben cerciorarse de la existencia en cantidad y calidad suficiente de agregados en la zona del proyecto antes de decidirse por un pavimento de hormigón.

## **2. Control de Calidad del Concreto**

### **2.1 Ensayos Previos**

Para establecer la dosificación del concreto a emplear, el Contratista deberá recurrir a ensayos previos a la ejecución, con objeto de conseguir el concreto resultante satisfaga en obra las condiciones de calidad aceptadas.

Los ensayos a la calidad de los agregados, son los siguientes:

- Granulometría
- Desgaste de los Angeles
- Finos 0.080
- Partículas de Bajo Peso específico
- Coeficiente de Forma

- Partículas Blandas
- Terrones de Arcilla
- Materia Orgánica
- Estabilidad de los Sulfatos
- Compuesto de Azufre
- Reactividad a los álcalis
- Equivalente de arena del agregado fino
- Porcentaje de partícula de Sílice
- Partículas arcillosas del agregado fino
- Índice de Lajas
- Índice de Caras Fracturadas
- Determinación de Cloruros
- Coeficiente de friabilidad
- Impurezas de áridos gruesos
- Densidad relativa y absorción de los agregados gruesos
- Densidad relativa y absorción de los agregados finos

A los cementos deben realizarse las siguientes pruebas:

- Ensayos Físicos
- Ensayos Mecánicos
- Ensayos Químicos
- Contenido de Cenizas

En el caso de que el agua no sea potable, se analizará con los ensayos siguientes:

- PH
- Sacarosa
- Hidrato de Carbono

- Grasas
- Cloruros
- Sulfatos
- Residuo Soluble
- Dureza

También se deben estudiar y analizar los aditivos, en particular los siguientes:

- Reductores de agua y fluidificantes
- Superplastificantes
- Aceleradores de fraguado
- Retardadores de fraguado
- Inclusores de Aire
- Colorantes
- Líquidos de Curado

Una vez que se tengan los resultados de estos ensayos se realiza una primera selección de materiales.

Posteriormente, con los materiales procedentes de esta primera selección, se realizarán distintas dosificaciones. La realización de las dosificaciones consta de dos operaciones principales:

- Ajuste de las curvas granulométricas al uso previsto
- Determinación de la relación agua-cemento dependiendo del tipo de agregados, resistencia y consistencia deseada.

Definida la dosificación de los distintos componentes, se procede a la comprobación experimental de la mezcla en laboratorio, mediante la realización de los siguientes ensayos:

- Toma de muestras de concreto fresco
- Probetas cilíndricas
- Probetas prismáticas
- Cono de Abrams
- Bola de Kelly
- Aire ocluido
- Tracción Indirecta

Si se utiliza una mesa vibrante su frecuencia no será inferior a 60 Hz.

Además de la comprobación de la dosificación teórica es necesario realizar comprobaciones de dosificaciones con mayor o menor cantidad de cementos y distintas consistencias para determinar la dosificación real mas conveniente y conocer con exactitud los márgenes permisibles sobre ésta.

Es necesario tomar en cuenta que los resultados de flexotracción de hormigones fabricados en laboratorio suelen ser superiores a un 20% a los resultados obtenidos en la obra.

## **2.2 Ensayos característicos y Tramos de Prueba**

Estos ensayos son preceptivos en todos los casos, y tienen por objeto comprobar que los medios disponibles en la obra permiten obtener un concreto cuyas características están acordes con lo exigido.

Para ello, se llevará a cabo para cada dosificación de posible aplicación en obra, ensayos de resistencia a flexotracción con amasadas procedentes de la planta a utilizar. Se hará un mínimo de dos series de dos probetas prismáticas cada una de seis amasadas distintas.

Serán dosificaciones aceptables aquellas en las que la resistencia a flexotracción a 7 días sea superior al 80% de lo especificado a 28 días, siempre que la consistencia y el aire ocluido tengan valores dentro de los límites establecidos.

En el caso de utilizar el cemento tipo V, esta condición se puede rebajar al 70%.

Una vez realizados estos ensayos característicos deben quedar definidas tanto las dosificaciones como los equipos, y se podrá, de acuerdo con las especificaciones, realizar un tramo de prueba con el hormigón de dicha dosificación con frecuencia de sustitución de un tramo base de hormigón magro.

En el caso de que los ensayos característicos no cumplan con las exigencias de las especificaciones, se introducirán los ajustes necesarios en la dosificación y se repetirá la serie de ensayos característicos hasta conseguir un concreto que cumpla con los requerimientos.

No se debe autorizar el comienzo de la pavimentación sin tener estos ensayos característicos aprobados, lo que obliga a empezar los ensayos con la anticipación suficiente.

Es conveniente realizar los ensayos característicos 45 días antes de empezar la pavimentación.

## **2.3 Control de Ejecución**

### **2.3.1 Acopios de Agregados**

Es muy importante la uniformidad de los acopios de agregados y deberán poder acopiarse y manejarse sin peligro de segregación, observando las precauciones siguientes:

- El número mínimo de fracciones será de tres
- Se acopiará separadamente para evitar intercontaminaciones entre las fracciones.
- Se drenará la plataforma si es de terreno natural no utilizando los 15 cm inferiores a menos que se pavimente.
- No se admitirán capas superiores a 1.5 m de espesor ni en montones cónicos.

Durante el período de acopio el contratista realizará ensayos diarios de granulometría y contenido de finos, además según el tipo de explotación (cantera o quebrador de río) se realizarán ensayos preceptivos de control de agregados gruesos y finos.

### **2.3.2 Fabricación del Hormigón**

Diariamente en la planta de fabricación del hormigón el contratista debe realizar ensayos de control de granulometría de arenas y gravas, y en su caso el contenido de partículas arcillosas del agregado fino con objeto de ajustar en su caso, previa autorización del Director de obra. Como control debe realizarse dos veces al día una granulometría por lavado del hormigón fresco. Asimismo deberán realizarse ensayos de humedad de las arenas para corregir la cantidad de agua de amasado.

Estos controles de humedad son muy importantes, ya que además de influir notablemente en la resistencia del hormigón fabricado, si consistencia (variación máxima recomendable de dos puntos) influye notablemente en la calidad de la puesta en obra que depende mucho de la homogeneidad del hormigón.

Del cemento se tomará diariamente una muestra que se conservará durante cinco semanas, además y según el suministrador, se realizarán con la frecuencia oportuna ensayos físicos, mecánicos y químicos. En los ensayos tipo V s

determinará el porcentaje de cenizas por procesos químico o suspensión.

Es muy recomendable controlar en planta por medio de un medidor automático (amperímetro, consumo de energía de la amasadora, plasticímetro) la consistencia de cada amasada, y su tiempo mínimo de amasado para conseguir la mayor uniformidad del hormigón fabricado. Es conveniente que exista un registrador automático.

### **2.3.3 Control en el extendido**

En el extendido se deben controlar las características del hormigón y la calidad del extendido.

#### **2.3.3.1 Ensayos sobre el hormigón**

Se realizarán durante el extendido los ensayos preceptivos que tienen por objeto comprobar a lo largo de la ejecución, que la resistencia característica del hormigón de la obra es igual o superior a la resistencia especificada.

Para ello se tomará cada día un mínimo de tres series de probetas prismáticas de 15X15X60 de 3 ó 6 probetas cada una. Además se fabricará una serie de 4 ó 6 probetas cilíndricas de 15X30 para controlar la resistencia a compresión o tracción a 28 y 90 días.

Todas estas probetas tanto prismáticas como cilíndricas se deberían confeccionar sobre mesa vibrante (75000 ciclos/min) (mínimo 60 Hz).

Suele ser también normal medir la consistencia con la que el hormigón llega al extendido por medio del cono de Abrams o la bola de Kelly.

La bola de Kelly es adecuada para agregados de canto rodado.

Es conveniente controlar el aspecto del hormigón y su temperatura.

El porcentaje de aire ocluido debe controlarse dos veces al día, para actuar sobre el aditivo si no está dentro de los límites previstos.

### **2.3.3.2 Control del Extendido**

En el extendido es importante controlar lo siguiente:

- El espesor de la losa pavimentada por medición directa
- La posición exacta de la introducción de los pasadores.
- El recubrimiento antiadherente aplicado a los pasadores.
- La uniformidad de la pulverización del líquido de curado por inspección visual y por peso por  $m^2$ , por lo cual es necesario que no sea transparente.
- La uniformidad de la textura superficial se puede controlar visualmente por analogía a otras realizadas anteriormente y ensayada por el ensayo del círculo de arena.
- El comienzo del serrado en el momento adecuado y su finalización antes que se haya producido la mínima fisuración. El momento dependerá de las condiciones meteorológicas, el esclereómetro de péndulo para baja resistencia permite el tiempo fríos, detectar el momento idóneo.

## **2.4 Control de Recepción del Pavimento Terminado**

### **2.4.1 Textura Superficial**

La superficie del pavimento deberá presentar una textura uniforme y exenta de segregaciones.

La profundidad de la textura superficial, determinada por el método del círculo de arena, deberá estar comprendida entre setenta décimas de milímetro y un milímetro.

### **2.4.2 Integridad**

Las losas no deberán presentar grietas, se podrá aceptar pequeñas fisuras de retracción superficiales.

### **2.4.3 Tolerancias Geométricas**

- Las desviaciones en planta respecto a la alineación teórica no deberá ser superiores a 3 cm.
- La superficie acabada no deberá diferir en mas de 10 mm de la teórica.
- El espesor del pavimento no deberá ser inferior en ningún punto al previsto en los planos, se comprobará por extracción de probetas de 10 cm de diámetro que se ensayarán a compresión.
- El índice de regularidad superficial (IRI), no deberá ser superior al límite fijado en el cartel. Se podrá controlar con regla de 3 m, con viágrafo, con APL o Dipsitck.
- Se comprobará la posición de los pasadores, profundidad, horizontalidad (por pachómetro, radar de profundidad, testigos)

## **2.5 Control de Hormigón Magro**

En el caso de hormigones magros todos los ensayos de materiales son los mismos que para un hormigón de pavimento a excepción de las probetas prismáticas. Se controla la resistencia a compresión por probetas cilíndricas a 7, 28 y 90 días.

## **2.6 Control de Hormigón Controlado**

En el caso del hormigón compactado todos los ensayos de materiales son los mismos que para un hormigón de pavimento, a excepción de los ensayos de ejecución que son distintos debido a las características de la puesta en obra.

Los ensayos que se deben realizar durante la ejecución son los siguientes:

- Densidad Máxima y Humedad Optima
- Contenido de Cemento
- Granulometría
- Densidad en sitio por el método nuclear
- Humedad en sitio por el método nuclear
- Probetas cilíndricas para rotura a compresión
- Probetas cilíndricas para rotura brasileña
- Humedad Natural

### **3. Equivalencia entre algunos ensayos de control**

#### **3.1 Cono de Abrams y Bola de Kelly**

En el gráfico 1 se observa una fuerte correlación entre los dos ensayos con áridos de cantos rodados.

En el gráfico 2 observa una mediana correlación con hormigón fabricado con agregados de machaqueo.

#### **3.2 Rotura a Compresión de Probetas Cilíndricas y Prismáticas**

En el gráfico 3 se observa una correlación aceptable.

No se puede determinar una correlación matemática por existir resultados atípicos en mas o menos de lo normal.

La media aritmética es  $C' = 0.96C$

Donde  $C'$  es la resistencia de las probetas prismáticas y  $C$  es la resistencia de las probetas cilíndricas.

#### **3.3 Rotura Brasileña y rotura a Flexotracción**

En el gráfico 4 se observa que el ensayo de rotura brasileño es aproximadamente el 60% de la resistencia a flexotracción.

La relación es  $B = 0.6 F$ , donde  $B$  es la resistencia a tracción indirecta y  $F$  la resistencia a flexotracción a 28 días.

### **3.4 Rotura a Compresión y a Flexotracción**

En los gráficos 5 y 6 se observa una fuerte correlación.

La resistencia a flexotracción a 28 días de probetas prismáticas es igual a 16% de la resistencia a compresión de probetas cilíndricas de la misma edad.

La función es del tipo  $F = 0.16C$ , donde F es la resistencia a flexotracción a 28 días y C la resistencia a compresión a 28 días.

### **Consideraciones Finales sobre el Control de Calidad de un Pavimento de Hormigón**

La calidad obtenida en un pavimento de hormigón depende fundamentalmente no de la intensidad de los ensayos que se realicen sobre el hormigón, sino fundamentalmente del estudio previo de los diferentes componentes de la homogeneidad de los mismo en cuanto a características físicas, mecánicas, químicas, etc, de un buen encaje de la dosificación del hormigón en armonía con los equipos de que se disponga en obra.

El Control de Calidad de una obra de pavimento de hormigón es el resultado de dos controles complementarios:

- Primero, el autocontrol del contratista que es el primer interesado en que el hormigón sea lo más uniforme posible, lo que repercutirá directamente sobre la puesta en obra y por consiguiente en la calidad de la terminación del pavimento.
- Segundo, el control o fiscalización por parte de la Administración de que el hormigón cumple las exigencias técnicas del cartel

Es prácticamente imposible llevar un control de calidad perfecto, siempre se escapa algo si el contratista no dispone de un autocontrol que le permite garantizar un mínimo de calidad. Si el control de calidad de la dirección de obra se transforma en policía investigador y tiene que cazar al contratista en flagrante delito, está condenado a fallar.

Finalmente, se debe tener presente que cada obra es diferente y la experiencia obtenida sirve de gran ayuda, pero no se puede generalizar para todos los casos.



---

# Anexo

## Excavaciones y terraplenado

---

### I. Resumen de Normas Internacionales



Las normas estudiadas son las siguientes:

- Florida Department of Transportation.  
Standar Specifications for Road and Bridge Construction, 1999  
Florida 1999.
- Ministerio de Obras Públicas de Chile.  
Especificaciones Técnicas Generales.  
Manual de Carreteras. Volumen 5.  
Santiago, Chile, 1997.
- Commonwealth of Puerto Rico.  
Department of Transportation and Public Works.  
Highway Authority. 1989.
- Estándar Specifications for Construction of Roads and Bridges on Federal  
Highway Projects (FP -96).
- Morilla Abad, Ignacio  
Control de Calidad en Obras de Carreteras.  
Asociación Técnica de Carreteras  
Madrid, 1989

A continuación se presenta una comparación entre las normas de control de calidad que se han estudiado. Como se verá existe una gran similitud entre los parámetros de control que se utilizan para determinar la calidad de una obra de excavación y terraplenado.

## **Síntesis de especificaciones para excavaciones y terraplenado**

**Florida Department of Transportation.  
Standar Specifications for Road and Bridge Construction, 1999  
Florida 1999.**

### **120.7 Materiales para el Terraplén**

Uso de materiales excavados de la carretera: El uso de todos los materiales resultantes de la excavación en carreteras es muy utilizado para completar el trabajo.

**120.7.1** Requerimientos generales para los materiales de terraplenes: La construcción de terraplenes de material no debe contener material contaminado, material vegetal o cualquier otro material que no se compacte adecuadamente. Use material en el terraplén que esté de acuerdo con las instrucciones del ingeniero a cargo.

El máximo permisible de partículas de roca son los siguientes:

- Parte superior, mayor de 300 mm: 90 mm
- De 300 a 600 mm: 150 mm
- En el ancho debajo de 600 mm: No exceder 300 mm

### **102.9 Requerimientos de Compactación**

**120.9.1** Contenido de humedad: Compacte los materiales a un contenido de humedad que esté especificado. Si es necesario para obtener la densidad deseada, agregue agua en el material, o baje la humedad mediante la manipulación del material o permitiéndole secarse.

**120.9.2** Compactación de terraplenes:

120.9.2.1 Compacte cada capa de material al menos al 100% de compactación según el método AASHTO T-99, método C. Compacte uniformemente cada capa, usando equipo que logre desarrollar esa densidad, y conforme la compactación progresa, manipule cada capa para que logre la densidad en todo el terraplén.

120.9.2.2 Compactación sobre una fundación inestable. Donde el material del terraplén es depositado en agua u otro suelo suave, y se tiene una capa de 300mm, compacte la capa según lo indicado en 120.9.2.1.

120.9.2.3 Compactación donde ha sido removido material plástico. Donde el material no utilizable es removido, se debe compactar la superficie del área excavada mediante un compactador a una compresión de 1.7 Mpa, para todo el ancho de la capa. Desarrolle la compactación empezando por el relleno mineral, y continúe hasta que el compactador no penetre la superficie mas de 25 mm.

## 120-13. Bases del Pago

120.13.1 General. Los precios y el pago para varios de los ítemes incluidos en esta sección serán para compensar todo el trabajo descrito aquí, incluyendo la excavación, tirones, ubicación y compactación, limpieza de la superficie para movimiento de tierras, mantenimiento y protección del movimiento de tierras.

### 120.13.2 Excavación.

120.13.2.1 Ítemes de pago: Cuando un material no clasificado es indicado en los planos, hay ofertas que solo se deben tomar como una excavación regular, la cantidad total de toda la excavación debe especificarse en el contrato como será pagada. Cuando clasificaciones separadas de excavación se presentan en la propuesta, las cantidades de cada una de

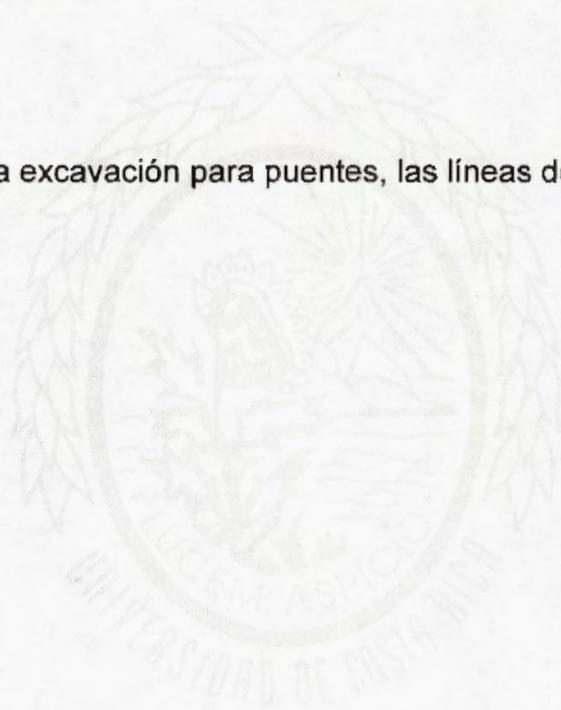
las clases de materiales se deben presentar para el pago según lo establecido en el contrato en precios unitarios por metro cúbico.



### 120.13.5 Ítemes de pago

ITEM	Forma de Pago
Excavación regular	m <sup>3</sup>
Excavación de préstamo	m <sup>3</sup>
Excavación lateral	m <sup>3</sup>
Excavación de canal	m <sup>3</sup>
Terraplén	m <sup>3</sup>
Trabajo en el subsuelo	m <sup>3</sup>

Cuando se desarrolla excavación para puentes, las líneas de bombeo, paredes de retención, drenajes.



## **Síntesis de especificaciones para excavaciones y terraplenado**

**Ministerio de Obras Públicas de Chile.  
Especificaciones Técnicas Generales.  
Manual de Carreteras. Volumen 5.  
Santiago, Chile, 1997.**

### Excavación General Abierta

El escarpe comprende la remoción del material cuya razón entre los límites líquidos según el Método LNV 89, entre el suelo secado al horno y secado al aire, sea inferior a 0.7.

También se considera material inadecuado aquel cuyo poder de soporte sea inferior a 3% CBR, medido según el método LNV 92 a la máxima densidad que se pueda lograr en terreno. Un material que en condición natural tenga un poder de soporte menor a 3% CBR, pero que al ser compactado en sitio logra un soporte igual o mayor a 3% CBR, es considerado adecuado.

En zonas donde se construyen terraplenes nuevo, el ancho a escarpar se extenderá hasta 0.5 m de la intersección del talud del terraplen con el terreno natural.

El sello de las excavaciones se perfilará superficialmente, con una pendiente transversal del 2%, una compactación con un mínimo de 90% de la D.M.C.S., cuando el sello se encuentra a más de 90 cm o más debajo de la rasante proyectada. En caso contrario, la densidad exigida es del 95% de la D.M.C.S.

Las terrazas y banquetas en los taludes se construirán con una pendiente transversal uniforme hacia el interior del corte, no menor del 4%, y con una pendiente longitudinal paralela a la rasante del camino. Las aristas exteriores de

esas terrazas deberán redondearse, al igual que lo especificado para el borde superior de los cortes.

## Formación y Compactación de Terraplenes

### Materiales

Los terraplenes deberán construirse de suelos inorgánicos, libres de materia vegetal, escombros, basura, terrones, trozos de roca o bolones degradables o deleznable o trozos cementados de tamaño superior al especificado. Los terraplenes deben tener un poder de soporte no inferior al 10% CBR, determinado según el Método LNV 92, y medido al 95% de la D.M.C.S. El tamaño máximo será de 150 mm, con una tolerancia de 5% entre 150 mm y 250 mm, pero en ningún caso podrá el sobretamaño ser mayor que la mitad del espesor de cada capa.

Los 0.30 m superiores del coronamiento de los terraplenes deberán construirse con suelos denominados material de subrasante, con poder de soporte no inferior a 20% CBR, medido en las mismas condiciones estipuladas para el cuerpo del terraplén. El tamaño máximo del material no será superior de 100 mm y el espesor compactado no será inferior a 0.30 m.

El espesor compactado de las capas deberá ser en general de 0.30 m como máximo; se pueden aceptar espesores mayores si el contratista demuestra que el equipo puede asegurar la compactación especificada.

### Control de Uniformidad

Este control se hará mediante el paso de un rodillo de cuatro ruedas montadas en un eje, de mínimo 60 toneladas de peso total sobre él y mínimo 0.79 Mpa de presión de inflado. Las cuatro ruedas deberán estar distribuidas en forma equidistante dentro de un ancho máximo de 3.5m.

El rodillo se pasa una vez, a una velocidad máxima de 5km/h en toda la longitud a controlar, excepto sobre las obras de arte u otras estructuras cuya clave esté a menos de 0.75 m de la superficie bajo control.

La superficie se considera que esta construida uniformemente si no se observan a simple vista, huellas después de pasado el rodillo.



## **Síntesis de especificaciones para excavaciones y terraplenado**

Commonwealth of Puerto Rico.  
Department of Transportation and Public Works.  
Highway Authority. 1989.

### **Material de Préstamo para Terraplenes**

Material para cualquier propósito que consiste de fragmentos de roca, grava, arena, arena o grava arcillosas, roca triturada, o la mezcla de estos materiales. El material debe estar libre de materia vegetal, grumos de arcilla o fragmentos de roca con diámetros mayores a los especificados, según el tipo de material.

- **Clase A**

Material de préstamo multipropósito. Constituido por suelo o mezcla de suelo – agregados clasificable como A-1, A-2, A-3 o A-4. El tamaño máximo de cualquier piedra o fragmento de roca no debe exceder los 30 cm, excepto cuando el material es usado dentro de los 60 cm de la elevación de subrasante, el tamaño máximo no debe exceder los 20 cm.

- **Clase B**

Este material de préstamo corresponde a una suelo granular clasificable como A-1, A-3, A-2-4 o A-2-5. Debe estar libre de piedras o fragmentos de roca mayores a 30 cm en su dimensión mayor. Cuando se utiliza como relleno bajo el nivel freático, la fracción de material pasando la malla N° 200 no debe exceder el 15%.

- **Clase C**

Consiste de cualquier suelo no orgánico clasificable bajo cualquier clasificación AASHTO M-145, excepto la A-3 o A-8, que sea aceptable para el Ingeniero y que pueda compactarse bajo esfuerzos normales de compactación. El tamaño

máximo de partículas no debe exceder los 20 cm. Este material de préstamo es utilizado normalmente para acabados y ondulaciones.

- Clase D

Este material consiste de suelo arcillosos altamente impermeable clasificable como A-6 o A-7 pero con un Índice de Plasticidad mínimo de 25. Se utiliza para impermeabilizar la subrasante de la infiltración de agua llovida.

El terraplenado debe hacerse en capas horizontales no mayores de 30 cm (medidos con material suelto), compactado según lo establecido en el contrato. Debe darse un grosor uniforme antes de poner la siguiente capa.

**Máximos permitidos en tamaño de partículas para terraplenado**

300 mm superficiales: 90mm

300 a 600 mm: 150 mm

bajo los 600 mm: no exceder 300 mm o el espesor compactado de la capa colocada, lo que sea menor.

Los requerimientos de densidad máxima se obtiene mediante el método D de la AASHTO T 180, pero el Ingeniero puede utilizar también la "Familia de Curvas de Compactación Modificada de Puerto Rico".

Todo terraplenado se compactará a no menos del 95% de la densidad máxima. En secciones mayores a 1.5 m de altura, la primera capa podrá compactarse a no menos del 90% de la densidad máxima, pero las capas inferiores deben mantener el 95% de la densidad máxima.

## **Síntesis de especificaciones para excavaciones y terraplenado**

**Estándar Specifications for Construction of Roads and Bridges on Federal Highway Projects (FP -96).**

### **204.02 Definiciones**

Excavación: La excavación consiste en lo siguiente:

**Excavación en carreteras:** Consiste de todos los materiales excavados de la vía, excepto la sub-excavación que se define en 2.

**Sub-excavación:** Es el material excavado de la parte inferior a la sub-rasante en las secciones de corte o debajo de la línea del suelo en terraplenes.

**Excavación de material de préstamo:** El materia utilizado para la excavación de terraplenes es obtenido de la parte de afuera del prisma de la carretera.

**Construcción de Terraplenes:** La construcción del terraplenado consiste de la ubicación y compactación de carreteras de excavación de material de préstamo. Este trabajo incluye:

Preparación de la fundación para terraplenado

Construcción de terraplenes en carreteras

Bancos para terraplenes en colinas

Construcción de diques, rampas y amontonamientos

Llenado de áreas excavadas, hoyos, fosos y otras depresiones

### **Material para Terraplenes:**

(1) Roca: Roca es aquel material que contenga un porcentaje de 25% o más, por volumen, de partículas mayores a los 100 mm en diámetro.

**(2) Tierra:** La tierra es el material que contiene un porcentaje menor al 25%, por volumen, de partículas de roca mayores a los 100 mm en diámetro.

- a. **Suelo conservado:** Material excavado conservado de la excavación de la vía y áreas adyacentes a la excavación de la fundación que es apto para el crecimiento de pasto y otros tipos de vegetación. Es un material razonablemente libre de aceites, rocas, arcillas, sustancias tóxicas y otros materiales deletéreos.

### **Requerimientos de construcción**

204.04 Preparación para la excavación de la carretera y la construcción del terraplenado. Limpiar el área de vegetación y obstrucciones.

204.05 Superficie del suelo conservada: Se debe separar la capa superior del suelo de todo el material excavado.

### **204.06 Procedimiento de excavación en carreteras.**

- a. General: No distribuya material y vegetación fuera de los límites de construcción.

Excave el material que sea apto para el relleno. En lo terraplenes solo adicione material que sea adecuado. Al final del día de operaciones, forme el terraplén mediante drenaje y compactado del área de trabajo una sección uniforme.

- b. Cortes de roca. Los cortes de roca deben ser realizados a 150 mm debajo de la subrasante. Rellene la sub-rasante con el material adecuado.
- c. Cortes de tierra. Los cortes de tierra deben ser realizados a 150 mm debajo de la subrasante. Rellene la sub-rasante con el material adecuado.

**204.09 Preparación de la fundación para el terrapienado. Prepare la fundación como se indica.**

- (a) Terrapienado de menos de 1 metro sobre la el suelo natural. Se debe escarificar la superficie del suelo en un mínimo de 150 mm.
- (b) Terrapienado menor de 0.5 m sobre un asfalto existente, concreto o grava para rodamiento. Las capas de grava deben escarificarse a un espesor mínimo de 150 mm. Se debe escarificar o pulverizar las carpetas de concreto asfáltico o hidráulico al menos en 150 mm y producir un material uniforme.
- (c) Terrapienado en una capa de suelo incapaz de soportar equipo. Vierta sucesivas de material de terraplén en una capa uniformemente distribuida para construir una porción baja de terraplén. Limite el espesor al mínimo necesario para determinar cuándo se soportará la maquinaria.
- (d) Terrapienado en una pendiente existente de 1:3. Corte cavidades horizontales en la pendiente existente a un suficiente ancho para acomodar y compactar el material.

**204.10 Construcción de terraplenes.**

Incorpore solo material apto para carreteras en el terraplén. Construya siguiendo los siguientes aspectos:

- (a) Al final de un día de operaciones, moldee el material para drenar y compacte bien la superficie del terraplén a una sección de espesor uniforme. Elimine cualquier surco o pequeños hoyos que pueda almacenar agua. Compacte las pendientes del terraplén con maquinaria adecuada. Para pendientes de 1:1.75 compacte la pendiente conforme avanza la construcción del terraplén.
- (b) Roca. Ubique la roca en capas horizontales que no excedan los 300 mm en espesor compactado.
- (c) Fragmentos de roca individuales. Ubique las rocas con un diámetro superior a los 600 mm, como se indica a continuación:

- (1) Reduzca las rocas a diámetros menores a 1200 mm en la dimensión mayor.
  - (2) Distribuya las rocas en todo el terraplén y llene los vacíos con filler.
  - (3) Compacte cada capa de acuerdo a la sección 204.11.
- (d) Tierra. Ubique la tierra en capas horizontales que excedan los 300 mm en capas compactadas. Incorpora rocas en fragmentos en capas de 300 mm reduciendo su tamaño o ubicándolas individualmente.

**204.11 Compactación. Compacte como se indica.**

- (a) Terraplén en roca. Ajuste el contenido de humedad del material a la humedad apta para la compactación. Compacte cada capa de material al máximo espesor mediante uno de los siguientes pasos:
- (1) Cuatro pasadas de compactador de 45 toneladas métricas
  - (2) Cuatro pasadas de compactador vibratorio que tenga un mínimo de fuerza dinámica de 180 kN de impacto por vibración.
  - (3) Ocho pasadas de un compactador de 20 toneladas
  - (4) Ocho pasadas de compactador vibratorio que tenga una fuerza dinámica mínima de 130 kN de impacto por vibración y una frecuencia mínima de 16 Hz.



## Muestreo y ensayos

Producto o Material	Propiedad o Característica	Especificación o Método de Ensayo	Frecuencia	Punto de Muestreo
Tierra (calle, excavación, material relleno) de	Clasificación Humedad - Densidad	AASHTO M 145	1 por cada tipo de material	Fuente de material
	Contenido de Humedad	AASHTO T 99 método C o AASHTOT 180 Método D	1 por cada tipo de material	Fuente de material
	Densidad en sitio y contenido de humedad	AASHTO T 238 y AASHTO T239 u otro método aprobado	1 por cada 4000 m <sup>3</sup> pero no menos que uno por cada capa	Terraplén en carretera
Material de Préstamo	Clasificación Humedad - Densidad	AASHTO M 145	1 por cada tipo de material	Fuente de material
	Contenido de Humedad	AASHTO T 99 método C o AASHTOT 180 Método D	1 por cada tipo de material	Material procesado antes de ser incorporado en el trabajo
	Graduación y Límite Líquido	AASHTO T 27 y AASHTO T11 AASHTO T 89	1 por cada 5000 m <sup>3</sup>	Material procesado antes de ser incorporado en el trabajo
	Densidad en sitio y contenido de humedad	AASHTO T 238 y AASHTO T239 u otro método aprobado	1 por cada 300 m <sup>3</sup> pero no menor que 1 por cada capa	Terraplén
Corona del Terraplén	Clasificación Humedad - Densidad	AASHTO M 145	1 por cada tipo de material	Material procesado antes de ser incorporado en el trabajo
	Contenido de Humedad	AASHTO T 99 método C o AASHTOT 180 Método D	1 por cada tipo de material	Material procesado antes de ser incorporado en el trabajo
	Densidad en sitio y contenido de humedad	AASHTO T 238 y AASHTO T239 u otro método aprobado	1 por cada 300 m <sup>3</sup> pero no menos que uno por cada capa	Terraplén

## Síntesis de especificaciones para excavaciones y terraplenado

Morilla Abad, Ignacio  
 Control de Calidad en Obras de Carreteras.  
 Asociación Técnica de Carreteras  
 Madrid, 1989

Tipo de Control	Especificación	Finalidad	Frecuencia
1. Densidad en sitio	$\geq 100\%$ Proctor normal en coronación de terraplenes y 95% en el núcleo y cimientos	Obtener la mayor capacidad portante posible, la mayor inalterabilidad volumétrica y la mayor resistencia a la deformación. La correlación densidad-resistencia suele ser frecuente, pero hay que tener en cuenta también la humedad en sitio y la porosidad.	10 en cada 5000 m <sup>2</sup> de tongada, localizando 5 ensayos en las bandas laterales de 2 m y 5 en el resto de la superficie. 10 por día cuando se compacte > 750 m <sup>3</sup> .
2. Humedad en sitio	$\leq$ Humedad óptima. Proctor de la curva Proctor correspondiente a la densidad medida.	Id 1. Los excesos de humedad respecto a la óptima Proctor no son necesariamente perjudiciales pero son más seguros los inferiores por estar más alejados de la saturación teórica, que disminuye notablemente la resistencia.	Id 1.
3. Prueba con camión dedos ejes	Carga total mayor de 20 Tm.	Id 1. Acotar las zonas donde se marcan o hunden los neumáticos o donde se produce "colchoneo", o sea deformación elástica con recuperación del orden de 2 cm o más. Eliminar estas zonas o sanearlas volviendo a compactar.	Una vez por tongada escogiendo una calle longitudinal.
4. Porosidad y grado de saturación.	$n = (\gamma_s - \gamma_d) / \gamma_s$ $S_r = w \gamma_s \gamma_d / (\gamma_s - \gamma_d)$ w - humedad en sitio $\gamma_s$ - peso específico del suelo $\gamma_d$ - densidad en sitio	Comprobar que la porosidad no es excesiva para evitar la alterabilidad en terrenos con arcilla que no existe saturación que pueda debilitar a resistencia del terreno al desarrollarse presiones intersticiales bajo cargas.	1 determinación de porosidad (n) y de grado de saturación (S <sub>r</sub> ) por cada grupo de 10 ensayos de densidad y humedad.

Tipo de Control	Especificación	Finalidad	Frecuencia
1) CBR en sitio	Correlación de resultados con el CBR en laboratorio en iguales condiciones de humedad	Comprobación de la capacidad portante de las diferentes capas de terraplén sobre todo la	
2) Placa de carga en sitio	Comparación de resultados con los teóricos establecidos en el proyecto. Módulo elástico > 500 kg/cm <sup>2</sup> (50 MPa)	Id 1. Los resultados deben corregirse para la humedad adecuada (inferior a la óptima Proctor) o repetirse el ensayo cuando el terraplén esté seco.	1 cada 15000 m <sup>2</sup> en cimientos y núcleos y cada 10000 m <sup>2</sup> en coronación, en zonas secas representativas.
3) Viga Benkelman	Eje tipo 13 Tm. Deflexión < 4 mm o bien < 3 mm en coronación terraplén.	Comprobar la resistencia del terreno y su capacidad portante a través de su deformación bajo la carga de un eje de camión de 13 Tm midiendo las deflexiones.	1 por zona donde haya problemas especiales detectados por los ensayos de densidad o placa de carga.
4) Nivelación	+ 5 cm en las superficies de separación de distintos materiales. + 3 cm en la coronación de terraplén	Asegurar que las capas de los distintos suelos indicados en proyecto y pliegos particulares tienen los espesores previstos y por lo tanto su capacidad portante correspondiente.	1 vez al terminal la superficie de que se trate. Perfiles cada 50 m en capas de terraplén y cada 30 m en coronación.
5) Planeidad	Desnivel < 15 mm en regla de 3 m en la coronación del terraplén.	Id 4. Esta condición puede ser extremadamente dura y por lo tanto inoperante, en suelos con gravas o gravillas.	1 vez cada 500 m <sup>2</sup> en zonas especialmente marcadas por el Director de obra.

Tipo de Control	Especificación	Finalidad	Frecuencia
Paso de un rodillo vibratorio	Velocidad de paso 4 km/h. Caminar a 0.5 m del centro del rodillo, de más de 3 Tm	Detectar zonas no homogéneas, con excesiva humedad, o simplemente con baja compactación. Caminar al lado del rodillo es insoportable si el suelo está bien compactado. Si hay humedad o descompactación se puede soportar.	1 pasada en zonas dudosas. Elegir una calle longitudinal.
Medida de la densidad en continuo con sonda	≥ 100% Proctor normal en coronación de terraplenes y 95%	Detectar zonas insuficientemente compactadas. Debe haber una exactitud entre el registro de densidades y el de distancias	1 pasada en zonas dudosas. Elegir una calle longitudinal.

neutrónica móvil	en el núcleo y cimientos	desde un punto origen determinado.	
Placa dinámica	Coefficiente de restitución en coronación de terraplén > 50%	Medir un coeficiente de restitución que expresa la relación entre la energía comunicada a una placa por un choque dinámico y la energía que ésta restituye.	1 pasada en zonas dudosas. Elegir una calle longitudinal.

- a) La llegada a la zona de extensión y compactación de los materiales de terraplén estará organizada de forma que todos los camiones puedan ser fácilmente inspeccionados visualmente y desechar aquellos que no proceden de la zona de préstamos adecuada para la tongada que se está compactando. Cuando hay varios tajos simultáneos que emplean diferentes terrenos (tolerable, adecuado, seleccionando o subbase) pueden ser frecuentes las equivocaciones en el destino de los camiones para lo cual puede establecerse un sistema de contraseñas de salida de la zona de préstamos y una vigilancia y comprobación a la llegada al tajo correspondiente. En casos muy difíciles suele ser útil tener muestras de los diversos tipos de terreno en cada tajo para juzgar por comparación.
- b) Para cada tipo de terreno y humedad es conveniente tener una idea aproximada del espesor final de tongada compactada en función del volumen esponjado transportado, para lograr la mejor calidad en la compactación por uso de espesor adecuado a los medios de compactación.
- c) La elección de los medios de compactación es sumamente importante para lograr una densificación adecuada y una resistencia del terreno concordante con el proyecto. En general puede decirse que cuanto más granular es un terreno y más predominan en él las gravas, gravillas y arenas y más exento es de arcilla, más adecuada es la vibración para su compactación empleándose rodillos vibratorios de 3 Tm de peso para tongadas de 25-30 cm u de peso creciente para tongadas mayores hasta 10 Tm o más para espesores de 1 m en gravas limpias por lo que suele ser una regla aproximada aceptable emplear un rodillo de T Tm para una tongada de 10 T cm en suelos granulares. En suelos más arcillosos (tolerables) suele ser más adecuado compactar por rodillos "tamping" o de impactos, de mayor peso y velocidad, y que densifican por presión estática, amasado del terreno, por impacto y por la "semivibración" producida al circular a mayor velocidad.
- d) La comprobación de la densidad en sitio y de la humedad puede hacerse por métodos convencionales o bien mediante el empleo de aparatos de emisiones de neutrones, en cuyo caso se puede elevar a 20 en cada 5000 m<sup>2</sup> de tongada, localizando 10 ensayos en las bandas laterales de 2 m y 10 en el resto de la superficie o 20 por día cuando se compacte > 750 m<sup>3</sup>, ya que el método es más rápido y da los resultados en el mismo tajo.
- e) La placa de carga en sitio proporciona una determinación directa de la resistencia del terreno, pero es un ensayo caro y lento que sólo se puede aplicar en unos pocos puntos al día lo que le resta capacidad para controlar todo el terraplén. Por ello debe limitarse a zonas dudosas o bien a terrenos de

gravas y gravillas en los que no puede realizarse con representatividad el método de densidad en sitio. Incluimos tablas orientativas de valores de módulos de deformación en segunda carga. Es muy importante correlacionar módulo con humedad para corregir adecuadamente los resultados, pues en terrenos con componentes arcillosos la influencia de la humedad en el módulo de deformación es muy notable.

- f) Las deflexiones medidas con la viga Benkelman o mejor aún con el deflectógrafo Lacroix 01 ó 03, proporcionan una información inestimable para conocer el estado de la coronación de terraplén en toda su superficie; sin embargo como este estado es muy costoso, se suele aplicar a las capas superiores del firme o incluso solamente al conjunto del firme terminado. El ensayo con la viga Benkelman puede reservarse para zonas muy especiales como vías lentas importantes o desviaciones con mucho tráfico.
- g) La nivelación de las capas para adaptarlas al proyecto no tiene una gran importancia desde el punto de vista estructural, pues un error de  $\pm 3$  cm en el espesor de las capas no afectará normalmente a la resistencia del conjunto del firme. Tiene más importancia desde el punto de vista económico, para delimitar los volúmenes de las diferentes capas y sobre todo por sus repercusiones en la buena ejecución de la carretera, lográndose una transición gradual y uniforme de resistencias, permeabilidades y capacidad portante sin olvidar el aspecto inducido de ejecución más organizada.
- h) La planeidad de la coronación del terraplén es importante a los efectos de adaptación al proyecto y, sobre todo, para poder evacuar una lluvia ocasional entre la ejecución de la última capa de terraplén y la colocación de la subbase. Igual puede decirse del caso similar entre dos capas de terraplén. Más importante que la planeidad medida por la regla de 3 m es que no haya puntos de posible acumulación de agua y que, en caso de lluvia, no se formen charcos ni en la explanada ni en los bordes para lo cual, deben disponerse las oportunas cunetas provisionales o puntos bajos de salida. En caso de lluvia fuerte sobre un terraplén compactado, el mejor remedio para continuar la construcción es esperar a que seque sin introducir tráfico alguno, ni siquiera peatonal, y reanudar la construcción cuando se encuentre en las mismas condiciones anteriores a la lluvia. En zonas muy lluviosas o cuando se prevé un lapso de tiempo grande hasta la ejecución de la subbase conviene emplear un riego de imprimación.
- i) En terrenos de grano grueso o de transición a pedraplenes, generalmente constituidos por zahorras naturales, con gravas gruesas (10-15 cm), gravillas, arenas y arcillas, la compactación suele ser relativamente sencilla de conseguir utilizando pocas pasadas de rodillo vibratorio. Sin embargo, es también relativamente difícil de comprobar la densidad en sitio, pues tanto el método de la arena como el de isótopos radioactivos, proporcionan dispersiones muy acusadas. Es mejor en muchas ocasiones utilizar el método comparativo o un método geométrico. El primero consiste en aplicar y comprobar en cada tramo el mismo sistema de compactación, o sea las mismas máquinas con iguales pasadas, velocidad, frecuencia, etc que el tramo en que se haya comprobado que el método es bueno al realizarse ensayos de placas satisfactorios. El segundo método de control geométrico consiste en nivelar después de cada

dos pasadas de los rodillos compactadores una serie de placas metálicas (200x200x8 mm) en forma de "chincheta" que se mantienen fijas al terreno por un vástago vertical (200 mm x 10 mm  $\phi$ ). La compactación se califica como adecuada cuando no se aprecia descenso de las placas (tolerancia  $\pm$  2 mm) y, por lo tanto, el terraplén tiene las características iguales al terraplén patrón ensayado con placas de carga.

- j) La comprobación de la densidad y humedad en sitio en tongadas gruesas de materiales terrosos (> 50 cm) debe ser representativos de todo el espesor por lo que las determinaciones expresadas en las pruebas de densidad en sitio y humedad en sitio deben entenderse por cada fracción de espesor de 25-35 cm o sea que en una capa gruesa (p.ej. 60 cm) deben realizarse dos determinaciones en el mismo punto (o zona muy próxima), una para zona superior de 30 cm y otra para la inferior, teniendo en cuenta que la densidad en sitio disminuye con la profundidad y la humedad aumenta con ella en terrenos arenosos y disminuye en los arcillosos (salvo la capa superficial). Los valores medios deben ser manejados teniendo en cuenta esta posibilidad de heterogeneidad y dispersión.
- k) La medida de la densidad por sonda neutrónica móvil requiere una interpretación adecuada en cuanto a su homogeneidad, por lo que sólo es conveniente utilizar este procedimiento en tajos muy grandes con tierra homogéneas. La principal preocupación ha de ser la de efectuar una correlación exacta entre los datos de humedad y densidad y los de distancia a un punto dado para localizar exactamente las zonas dudosas.
- l) Cuando el material de aportación a los terraplenes se encuentre excesivamente húmedo a su llegada al tajo y no haya podido ser seleccionado en origen en cuanto a su humedad, será extendido sin compromiso y se le volteará con grada de discos o motoniveladora hasta que por aireación y por insolación recupere la humedad adecuada. Este caso se da cuando se presenta una lluvia sobre una tongada no compactada. Los camiones en camino hacia el tajo es preferible devolverlos hacia la zona de extracción de préstamos.

## Terraplenes. Ignacio Morilla Abad

Condiciones que deben cumplir los materiales para explanadas

Tipo de Suelo	T. máx %	LL	IP	Mat. orgánica	Den Pro. Kg/dm <sup>3</sup>	CBR	Hinch. CBR	Pa 0.080 Une%	Pasa p 25 Une%	% Cemento cal	Pasa p 2 Une%	S. So <sub>3</sub> %	R <sub>7</sub> kg/cm <sub>2</sub>
0	15 25	< 40 < 65	> 0.6 LL - 9	< 2%	> 1.45	> 3							
1 ó 0 con CBR > 5	10	< 40		< 1%	> 1.75	> 5	< 2%	< 35%					
2 ó 1 con CBR > 10	8	< 30	< 10	0		> 10	0%	< 25%					
3	8	< 30	< 10	0		> 20		< 25%					
T	2/3 tongada							< 10%	< 30%				
S <sub>1</sub>	8 y ½ t.	< 35*	15*			> 5 a 7 días		< 50%*		> 2%	> 20%*	< 1%*	> 15*
S <sub>2</sub> y SC	8 y ½ t.	< 35*	< 15*	< 1%	> 1.75	> 10 a 7 días		< 50%*		> 3%	> 20%*	< 1%*	> 15*

\* No se exige con cal.

**Norma Suiza.**  
**Valores mínimos a exigir.**

Capa		Tipo de Suelo		Peso Específico aparente seco % de $\gamma_a$ máx <sup>1</sup>	Módulo $M_E$ kg/cm <sup>2</sup>	CBR	Asiento $A_h$ tras una pasada <sup>2</sup> mm
		Designación	USCS				
Capas de coronación y transición	Tráfico pesado	Gravas natur. y/o de machaqueo	GW GP	103% Standard 95% Mod. <sup>3</sup>	1.000 <sup>4</sup>		
	Tráfico ligero		GM GC	100% Standard	800 <sup>3</sup>		
Terreno	Hasta 60 cm bajo la coronación	Suelos medios y gruesos $I_p < 6\%$	GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM-SC, GC-GL, SC-CL	100% Standard	150 <sup>5</sup>	8 <sup>4</sup>	3
		Suelos coherentes y finos	ML, CL, SC-ML	100% Standard	150 <sup>4</sup>	8 <sup>4</sup>	3
		Suelos gruesos con bloques y piedras					
	Más de 60cm bajo la coronación	Suelos gruesos y medios $I_p < 6\%$ <sup>6</sup>		97% Standard			

<sup>1</sup> El % de agua de los materiales debe estar cercano al % de agua óptimo según AASHTO- Standard

<sup>2</sup> El asiento  $A_h$  está medido tras el paso de un camión con 10 t/eje.

<sup>3</sup> Estos valores son válidos cuando nos encontramos con gravas tipo II.

<sup>4</sup> Se pueden admitir valores más débiles siempre que se tenga en cuenta a la hora de dimensionar el firme.

<sup>5</sup> Estos valores son imperativos a nivel de coronación. Si no se alcanzan estos valores sobre el terreno, se deberían mejorar las capas inferiores a la misma mediante estabilizaciones o remplazamiento de los suelos o bien se deberán reforzar las capas superiores del firme.

<sup>6</sup> Índice de plasticidad.



---

**ANEXO**

**TRATAMIENTOS SUPERFICIALES**

---



## **1. Introducción**

La construcción de tratamientos superficiales es uno de los tipos de trabajos de carreteras mas difundidos por su sencillez de ejecución y economía, sin embargo, pese a su uso generalizado, y su gran importancia relativa en carreteras de segundo orden, apenas es objeto de ensayos, cuyo uso daría lugar a un apreciable aumento de su calidad, y por lo tanto, de su duración.

Es fundamental implementar un sistema de control que regule la construcción de los tratamientos superficiales, desde la extracción de los materiales hasta su colocación en el sitio. Con medidas en esta dirección, se logrará un mejor desarrollo de esta capas, para las condiciones de tránsito para las que se han diseñado.

El término Tratamiento Superficial puede comprender todo tipo de trabajo realizado con un ligante bituminoso solo, o acompañado con agregado pétreo, abarcando incluso mezclas con ambos componentes.

Con base en los componentes empleados, se pueden agrupar en:

## Tratamientos Superficiales sin agregados

- Riego de Imprimación
- Riego de Liga
- Riego Antipolvo
- Riego en negro
- Riego de curado
- Riego de Curado

## Tratamientos superficiales con agregados

- Tratamiento Superficial simple y doble
- Riego de penetración (macadam)

Los tratamientos tienen en común la propiedad de que al aplicar el ligante bituminoso a través de una emulsión, se realizan a temperatura ambiente y, dado su pequeño espesor y sobre todo su estructura, no aportan capacidad de soporte al pavimento.

Su finalidad es mejorar o conservar las características físicas y mecánicas del pavimento.

### **1.1 Objetivos de los Ensayos en los Tratamientos Superficiales**

Determinar una correcta dosificación de agregados y ligantes, y efectuar correcciones en función de una adecuada dosificación, en función del estado de soporte.

## **2. Definiciones Importantes**

### **2.1 Tratamientos Superficiales Simple y Doble**

Se define como tratamiento superficial simple la aplicación de una película continua de ligante asfáltico sobre la superficie de una carretera, seguida de la extensión y compactación de una sola capa de agregado.

El tratamiento superficial doble se define como la aplicación consecutiva de dos tratamientos superficiales simples, que son generalmente de distintas características.

Su objetivo, en ambos casos, es conseguir una superficie de rodadura dotada de una cierta rugosidad e impermeabilidad.

El ligante bituminoso desempeña la doble función de impermeabilizar la superficie y sujetar o fijar los agregados extendidos sobre la carretera.

Los agregados proporcionan la rugosidad necesaria para evitar el deslizamiento de los vehículos, es decir, las características antideslizantes, y por otra parte facilitan la evacuación de las aguas superficiales.

La textura rugosa que se obtiene da lugar a una cierta sonoridad de la rodadura, que dependerá del tamaño del agregado, pero en cualquier caso, supone un pequeño incremento, de 2 a 6 dB, el ruido total ocasionado por el tránsito.

## 2.2 Ligante

En los tratamientos superficiales simples y dobles, el ligante desempeña un papel fundamental, ya que es el único vínculo de unión entre los agregados entre sí.

El ligante empleado influye decisivamente en la calidad del tratamiento superficial. Para que ésta sea máxima el ligante debe envolver y adherirse a los agregados con la mayor facilidad posible durante la puesta en obra y retener el agregado, por desarrollo de un endurecimiento rápido, frente a la acción del tráfico. Estas suelen ser dos condiciones contrapuestas, por lo que se suelen usar aditivos a ligantes con betún residual duro, que mejoran la trabajabilidad de los mismos en un período de puesta en obra.

Los aditivos para mejorar la adhesividad y puesta en obra son:

- a) Muy convenientes con los betunes fluidificados.
- b) Convenientes con los betunes fluxados con aceites de alquitrán y con los betunes – alquitranes.
- c) Innecesarios con las emulsiones asfálticas.

Los aditivos pueden actuar sobre el ligante o los áridos.

En el primer caso se suele añadir un 0.2% a 0.3% en peso de ligante o bien en forma de solución acuosa al 10% de producto activo, impregnando la base a razón de 50 g/m<sup>2</sup> antes de aplicar el ligante.

En el segundo caso, o sea, añadiendo el aditivo a los agregados, se suele emplear una solución acuosa al 2% de aditivo para impregnar los agregados, varios días antes de su empleo.

El ligante deberá cumplir con:

- **buena adhesividad con los agregados**, las emulsiones catiónicas presentan buena adhesividad con los agregados silíceos y con la mayoría de los calizos, por lo que su empleo no suele ofrecer problemas.
- **Fluidez inicial**: que permita un fácil mojado de los agregados.
- **Rotura Rápida**: para poder desarrollar su cohesión en el menor tiempo posible.
- **Viscosidad apropiada**: en relación con el tamaño del agregado, y con las características geométricas del trazado de la carretera, para evitar escurrimientos.

## 2.3 Agregados

Dadas las condiciones de carga que deben soportar los agregados debido al tránsito, estos deben tener una resistencia adecuada que soporte el tráfico vehicular que circulará por el tratamiento superficial.

Por lo tanto se debe evitar la fragmentación del agregado. Esta fragmentación será mucho más rápida cuando la roca de donde proviene es menos dura.

### 2.3.1 Características de los Agregados

Los agregados deberán ser limpios, sólidos y resistentes, de uniformidad razonable, exentos de polvo, suciedad, arcilla u otras materias extrañas.

Las características exigidas a los agregados afectan la calidad del tratamiento superficial, en diferentes aspectos:

- a) La granulometría adecuada evita problemas de exudados y deslizamientos.
- b) La dureza y la resistencia a la fragmentación evita una superficie defectuosa y con heterogeneidad de textura.
- c) La angularidad y caras fracturadas contribuyen a evitar el deslizamiento.
- d) La forma (lajas o agujas) permite evitar exudación y deslizamientos.
- e) La limpieza de los agregados evita la falta de adhesividad y arrancamientos.



### **3. Control de Obra en Tratamientos Superficiales**

En los casos de tratamientos superficiales para regenerar carreteras desgastadas, resulta conveniente homogeneizar la superficie lo más posible para que el tratamiento superficial sea uniforme y resulte económico y de calidad adecuada.

La homogeneización puede consistir en regar con emulsión los tramos agrietados o con agregados semisuelos y engravillar las zonas lisas y con exceso de betún, compactando estas últimas enérgicamente. En el caso de no lograrse una buena homogeneización de la base conviene emplear un doble tratamiento superficial que se adapte mejor a cada zona.

#### **3.1 Almacenamiento de Emulsiones**

Se debe contar con suficientes tanques para almacenamiento de la emulsión, que serán herméticos y con posibilidades de calorifugación en caso de peligro de heladas y para limpieza.

Se debe vigilar periódicamente que en el fondo del tanque no se produzcan lodos de asfalto provocados por la sedimentación o rotura parcial de la emulsión. Cuando éstos existan, se eliminarán por la válvula de descarga, dejando el tanque limpio antes de recibir un nuevo volumen.

El almacenamiento no debe contener residuos de agua, ni de otros contaminantes.

Es fundamental evitar la mezcla de diferentes tipos y grados de emulsión en tanques.

### **3.2 Depósitos de Agregados**

Los agregados deben ser apilados en áreas que cuenten con facilidad de drenaje, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se preparará el terreno para evitar contaminaciones de tierra, vegetación, etc.
- Se procurará que la altura no sea tan excesiva para evitar segregaciones.
- Se dispondrán los caminos de circulación en el área de depósitos, separando la zona de carga de la pala para alimentación de obra, de reposición del depósito, reduciendo al mínimo la contaminación por polvo.

### **3.3 Control de Materiales**

Comprobación de las características de los materiales (agregados y emulsión), tanto en depósitos como inmediatamente antes de su puesta en obra, en relación con:

#### **1) Ligante Asfáltico**

- Determinación del contenido de agua
- Residuo por evaporación
- Penetración del residuo de destilación
- Obtención del pH
- Ensayo de adhesividad con los agregados a emplear

#### **2) Agregados**

- Granulometría
- Ensayo de Los Angeles
- Pulimiento acelerado
- Índice de Aplanamiento

- Adhesividad
- Limpieza, caras fracturadas, humedad

### 3) Control de Dosificaciones

- Ligante: Empleo de la regla, transversalmente en la calzada.
- Agregados: bandejas metálicas o de cartón en todo el ancho de la sección transversal o colocadas en forma aleatoria.

## 3.4 Secuencia Operacional

Se controlará en tiempo, la secuencia de operaciones que conforman la ejecución de cada unidad de obra.

### 3.4.1 Tratamiento Superficial Simple

- Aplicación del ligante
- Extensión del agregado
- Compactación

### 3.4.2 Tratamiento superficial Doble

- Primera aplicación del ligante
- Primera extensión del agregado
- (eventual pasada de cilindro metálico liso)
- Segunda aplicación de ligante
- Segunda extensión de agregado
- Compactación

### **3.5 Fallas y Defectos en los Tratamientos Superficiales**

Habitualmente se encuentran las siguientes fallas en los tratamientos superficiales:

#### **a) Surcos Longitudinales**

- Defectuosa aplicación del ligante por altura incorrecta de la flauta, o ligante excesivamente viscoso.
- Superposición de las juntas longitudinales de un riego de varias capas.
- Defecto en los pulverizadores o en la dosificación de agregados en las juntas.

#### **b) Peladas**

Se presentan como dosificación irregular de los agregados en zonas con exceso y otras con defecto, lo que puede deberse a:

- Superficie irregular con baches, o con bacheo mal ejecutado, o simplemente falta de barrido adecuado.
- Dosificación insuficiente de ligante
- Funcionamiento defectuoso de los pulverizadores o variación de la altura de la flauta

Rápido desgaste de los agregados, que puede deberse a:

- Agregados excesivamente blandos.
- Rotura o fragmentación de los agregados en la compactación

### c) Desprendimiento de agregados

Normalmente en la capa superficial debe existir algún exceso de agregados, pero esto, en determinados casos, es excesivo, pudiendo ser debido a:

- Tratamiento inadecuado para las condiciones de tránsito de la carretera
- Exceso de agregado, agregados sucios o falta de ligante, todo ello si se presenta individualmente después de la ejecución. En caso de que suceda pasado un cierto tiempo después de ejecutado el riego, cabe pensar en la existencia de una mala adhesividad entre el ligante y el agregado.

### d) Exudación

En tiempo cálido y bajo los efectos de la circulación pesada, los agregados tienen tendencia a incrustarse en la superficie si ésta es demasiado rica en ligante y se reblandece por el calor, mientras que el ligante sube a la superficie.

Se detecta por la presencia de manchas de ligante en la carretera, pudiendo deberse a:

- Superficie demasiado rica en ligante para la cantidad emulsión empleada.
- Cantidad alta de ligante en el tratamiento
- Ligante con exceso de fluidificantes

#### d.1) Cantidades de Ligante Correctas e Incorrectas



**Cantidad Correcta**



**Exceso de Ligante**



**Ligante Insuficiente**



## **4. Operaciones Básicas en Tratamientos Superficiales**

Las etapas mas importantes dentro de un tratamiento superficial son los siguientes:

- Aplicación del ligante
- Extensión de agregado
- Compactación

### **4.1 Aplicación del ligante**

Al aplicar el ligante se pretende que la distribución de éste sea uniforme, tanto transversal como longitudinalmente.

El objetivo de esto es obtener una película de ligante de espesor constante, que puede variar entre 0.6 y 2.5 mm, y su éxito o fracaso dependerá de:

- Equipo de puesta en obra
- Condiciones de la puesta en obra
- Experiencia o competencia personal

#### **4.1.1 Sistema de Riego de la Emulsión**

Actualmente se recomienda el uso de medios mecánicos para la aplicación del ligante.

El sistema de riego suele estar constituido por un carro tanque de almacenamiento de ligante , debidamente acondicionado, del cual se alimentan los dispositivos o pulverizadores que extienden el producto sobre la superficie a tratar.

El vehículo deberá disponer de una amplia gama de velocidades, que permita no solo poder efectuar el riego de ligantes (3-6 km/h) sino también asegurar el desplazamiento de una obra a otra, a velocidad normal de circulación sobre carreteras.

La cisterna de riego propiamente dicha suele ser de forma elíptica, y su capacidad puede variar entre 2000 y 10000 litros.

Del depósito, el ligante va a los difusores o pulverizadores. El sistema de alimentación puede realizarse por los siguientes procedimientos:

- A presión constante
- A volumen constante
- A dosificación constante

El primer sistema exige la utilización de un pequeño compresor, cuya misión, es reponer las pérdidas de altura por vaciado del tanque.

La alimentación a volumen constante es el procedimiento mas extendido, y la impulsión se efectúa mediante bomba volumétrica.

El sistema de dosificación constante es el mas moderno, y su máximo interés reside en la independencia de la dosificación con la velocidad del distribuidor, en virtud del acoplamiento de una bomba volumétrica en las ruedas motoras de la unidad tractora.

En las normas francesas, la regularidad de distribución se obtiene a partir del coeficiente r:

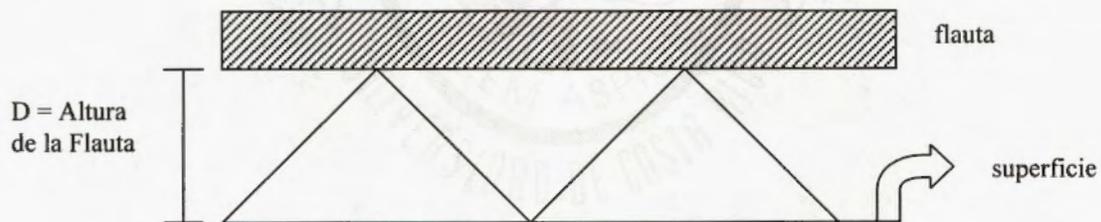
$$R = \frac{D + d}{D - d}$$

Donde D y d son las dotaciones máximas y mínimas en 10 comprobaciones, ninguna de las cuales deberá hacer dentro de los 50 m posteriores a una parada de la cisterna. El valor de dicho coeficiente deberá ser inferior a 0.20, como garantía de la regularidad de distribución mencionada.

La extensión del ligante, mediante este equipo, acepta una tolerancia del  $\pm 15\%$  en distribución transversal y  $\pm 10\%$  en distribución longitudinal.

A continuación se indican gráficamente los casos típicos de altura de la flauta distribuidora:

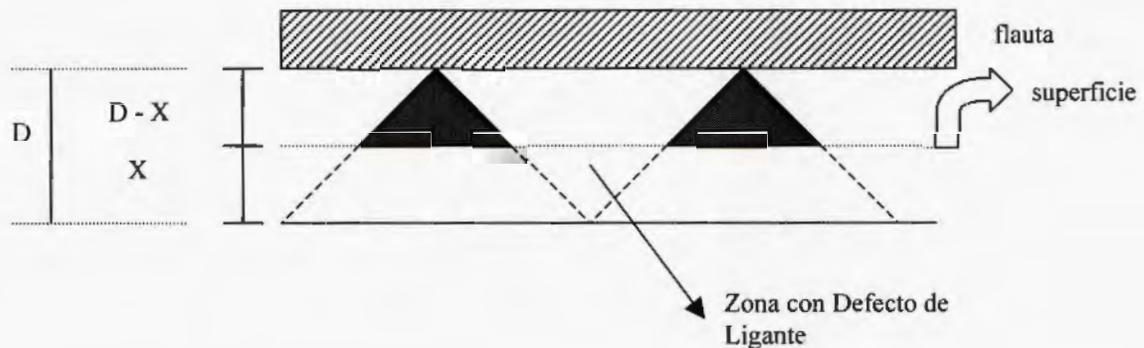
#### CASO A) Altura Correcta de la Flauta



#### CASO B): Altura Demasiado Elevada



### CASO C) Altura de la flauta Excesivamente Baja



#### 4.2 Colocación del Agregado

El agregado deberá ser colocado inmediatamente después del ligante. La distancia entre las dos operaciones no deberá sobrepasar el minuto, lo que corresponde, teniendo en cuenta las velocidades de los riegos, a una distancia comprendida entre 50 y 100 m.

Las distribuidoras de agregados normalmente utilizadas en la ejecución de tratamientos superficiales, pertenecen a los siguientes tipos:

- Montadas sobre camión
- Empujadas por camión
- Auto-propulsadas

La más sencilla consiste en el acoplamiento, sobre el basculante del camión, de un distribuidor de agregados. El volumen de éstos se regula por la abertura de la trampilla y por la velocidad del camión.

Las empujadas por camión con elementos de rodadura propios son las que se utilizan mas frecuentemente. Consisten en una tolva sobre la que caen los agregados transportados por el camión, un elemento de distribución que puede ser tornillo helicoidal o sinfín, y una abertura regulable según la dosificación deseada.

Finalmente, las autopropulsadas reciben los agregados sobre una tolva en su parte posterior, directamente de los camiones transportadores y, por medio de una cinta, se trasladan automáticamente a la tolva delantera donde caen sobre la superficie de la calzada desde una altura de unos 15 cm, distancia óptima para que al caer no salten, y obtener juntas transversales netas en las paradas.

#### **4.3 Colocación del Agregado**

La colocación deberá comenzar desde la extensión de los agregados.

Es preferible la utilización de los compactadores de neumáticos lisos, en donde la carga por rueda es del orden de 1.5 ton o más, y presiones de inflado del orden de los 7 kg/cm<sup>2</sup>.

La velocidad de compactación suele ser del orden de 8 km/h, aunque se recomienda que en las dos primeras pasadas no sobrepase 2-3 km/h.

Se deben realizar entre 3 y 5 pasadas.

Deberá suprimirse la compactación mediante rodillo metálico, pues fractura el agregado. Por esto se debe evitar el exceso de compactación.

En un tratamiento de dos capas, en la primera aplicación la compactación es suficiente con dos pasadas, y en la segunda se aumenta y completa el número de pasadas.

Luego de la compactación, se debe realizar un proceso de barrido, que tiene por objeto eliminar el exceso de gravilla.

La apertura del tránsito deberá hacerse con la precaución de que los vehículos no circulen a elevadas velocidades, lo que ocasionaría una excesiva pérdida de agregados.



## 5. Metodologías de Diseño

La dosificación consistirá primero, en la caracterización de los agregados y ligante, comprobando la envuelta y sobre toda la adhesividad, que en su caso puede llevar a tener que corregir la formulación de la emulsión, para pasar a la determinación de las cantidades adecuadas en ambos componentes.

### 5.1 Regla del Décimo

Sean:

D = Tamaño máximo de agregado (mm)

d = tamaño mínimo de agregado (mm)

$\Delta = (D + d)/2$ , tamaño medio (mm)

Q = volumen de agregados necesarios (mm)

L = cantidad de ligante asfáltico residual necesario ( $l/m^2$ )

Con esta metodología existen dos condiciones básicas, una se utiliza cuando el agregado tiene un  $\Delta$  mayor que 10 mm, y la otra, cuando  $\Delta$  es menor de 10 mm.

#### 5.1.1 $\Delta$ mayor de 10 mm

La dosificación de agregado y ligante teórico viene dada por

$$Q = 0.9 \cdot \Delta \text{ (l/m}^2\text{), y}$$

$$L = 0.10 \cdot Q \text{ (l/m}^2\text{)}$$

### 5.1.2 $\Delta$ menor de 10 mm

La dosificación de agregado y ligante teórico viene dada por

$$Q = 3 + 0.7 \cdot \Delta \text{ (l/m}^2\text{), y}$$

$$L = 0.10 \cdot Q \text{ (l/m}^2\text{)}$$

### 5.1.3 Aspectos Importantes a Considerar

Si se toma en cuenta que el ligante asfáltico empleado a través de emulsiones es capaz de retener o sujetar mayor cantidad de agregados, y que existen pérdidas, e incluso que es necesario que exista un pequeño exceso de agregados, especialmente en la segunda aplicación, se proponen las siguientes consideraciones.

Como puede observarse, estas actividades dejan un margen de actuación para tener en cuenta las condiciones concretas de cada obra, referidas al volumen de tránsito o al estado del pavimento sobre el que se realiza el tratamiento, así como las condiciones y características de los agregados empleados.

Dado que la formulación teórica va acompañada del ajuste en la obra, deberán tenerse en cuenta las siguientes reglas prácticas:

- Sobre superficies agrietadas, porosas o absorbentes, en climas fríos y tránsitos bajos, conviene aumentar la cantidad.
- Sobre superficies muy cerradas o exudadas, en climas cálidos y tránsitos altos es aconsejable disminuir la cantidad.

Los incrementos de la dosificación pueden variar entre 5 al 15% de ligante residual.

En relación con los tratamientos dobles, otras recomendaciones igualmente prácticas son:

- En tiempo cálido es conveniente aumentar la cantidad de la primera aplicación de ligante, y por tanto disminuir la cantidad de la segunda aplicación, en proporciones que pueden oscilar entre el 15% y el 25%.
- En tiempo frío, al contrario las mismas proporciones.

## 5.2 Metodología del Centro de Recherches Routires (Bélgica)

Con la utilización de la misma nomenclatura anterior, se define la siguiente formulación:

$$Q = \frac{\Delta - \Delta^2}{2} + R$$

Y luego se evalúa L:

$$L = a + b \cdot Q$$

En las que los nuevos parámetros R, a y b tienen la siguiente significación:

R: posibles pérdidas, con las variaciones

$$R = 1 \quad \text{para } \Delta = 5 \text{ mm}$$

$$R = 1.5 \quad \text{para } \Delta = 20 \text{ mm}$$

a: estado y textura de la carretera, variando entre

- a = 0            en carreteras exudadas
- a = 0.34        en carreteras normales
- a = 0.59        en carreteras porosas, secas o fisuradas

b: tipo y forma de los agregados, variando entre

- b = 0.06        agregados preenvueltos
- b = 0.07        agregados artificiales
- b = 0.09        agregados naturales

### **5.3 Metodología de la Shell**

Este método tiene su fundamento en la hipótesis de que al efectuarse la extensión del agregado, éste queda distribuido irregularmente, con un 50% de vacíos en la capa. La compactación reduce estos vacíos al 30%, y el paso del tránsito lo disminuye el 20%, quedando dichos agregados apoyados en su dimensión mayor, de forma que el espesor medio de la capa es el correspondiente a lo que se define como dimensión mínima media.

Un buen riego deberá conseguir que el ligante ocupe entre un 60-70% de vacíos.

La mecánica operativa de aplicación del método consta de las etapas que se exponen a continuación (ver nomogramas y factores):

- Determinar en el nomograma, la dimensión media mínima, mediante la recta que una el tamaño medio e índice de aplanamiento, de los agregados.

- Obtener, por suma, el factor corrector que tiene en cuenta: tránsito, estado de la superficie, tipo de agregado y condiciones climáticas.
- Con estos datos entrar en el gráfico Shell para determinar: cantidad de agregado, por la intersección de la horizontal de la dimensión media mínima, con la recta A-B (escala superior) y cantidad de ligante, por la intersección con la recta del factor corrector (escala inferior).

El gráfico Shell se muestra en la siguiente página:



**FACTORES**

Tránsito (TPD)

- 0 - 100    + 3
- 100 - 500   + 1
- 500 - 1000   0
- 1000 - 3000   - 1
- 3000 - 6000   - 2

Estado Carretero

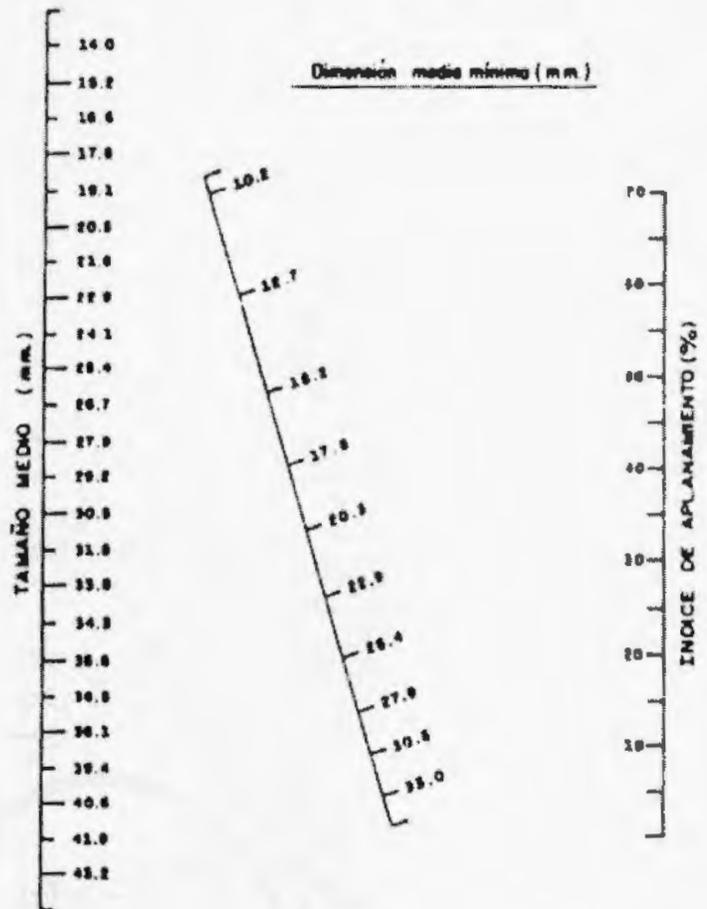
- Sin tratar       + 6
- Bitum muy pobre   + 4
- " pobre       0
- " normal       - 1
- " muy rica       - 3

Agregados

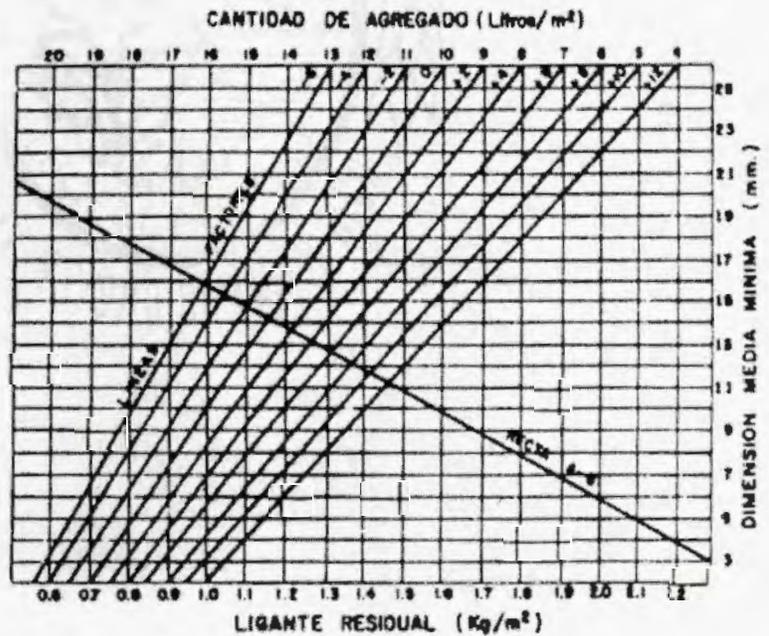
- Redondeados   + 2
- Cubicos       0
- Presmeullos   - 2

Clima

- Húmedo y frío   + 2
- Húmedo y cálido + 4
- Templado       0
- Seco y caliente   - 1
- Seco y muy cálido - 2



ABACO 1



## Método de Diseño Australiano de Tratamientos Superficiales

Es método es desarrollado por el Country Roads Board of Victoria, bajo los siguientes principales:

- Cuando una capa de agregado de profundidad es esparcida en el asfalto (la película), las partículas pueden caer fuera de rango. Los vacíos entre las partículas son aproximadamente 50%.
- El rodillo reorienta las partículas de agregado y reduce los vacíos en aproximadamente un 30%.
- Finalmente, luego de un tránsito considerable, las partículas tienden a reorientarse hacia la mayor densidad, acomodarse sobre sus partes más planas y los vacíos son nuevamente reducidos en aproximadamente 20%.

Desde que las partículas están acomodadas en su parte más plana, el espesor promedio del tratamiento es determinado por el promedio total del agregado pequeño.

Esto es llamado Dimensión Mínima promedio (ALD) del agregado.

El ALD de cualquier agregado de aproximadamente un tamaño puede ser determinado mediante la medida de un cierto número de partículas de agregado individuales usando una pantalla de aberturas.

### Diseño

Para lograr el diseño del tratamiento superficial por medio del método Australiano se aplican estos procedimientos:

- Solicitud del agregado C en  $(\text{kg}/\text{cm}^2) = M \cdot [(1 - 0.4 \cdot V) \cdot H \cdot G \cdot E]$

Donde

V = vacíos en condición de peso suelto =  $1 - (W/(1000 \cdot G))$ , en %

W = unidades de peso suelto del agregado

G = gravedad específica del agregado

H = dimensión mínima promedio (ADL) (ver tabla 1, en el cual se describe el procedimiento para obtener el Flakindex Index)

E = factor de pérdida para permitir la pérdida de cobertura, debido a las desigualdades de extensión del agregado.

M = Factor multiplicador para ser evaluado por experiencia de las condiciones locales de clima, tránsito, agregado (valor nominal 1.0)

Solicitud de emulsión asfáltica (B) en  $(l/m^2) = K \cdot [(0.4 \cdot H \cdot T \cdot V + S + A) / R]$

Donde

T = factor de tráfico (ver tabla 2)

S = factor  $(l/m^2)$  por textura la superficie (tabla 3)

A = factor de corrección por asfalto residual (según tipo de emulsión) (tabla 4)

R = factor de corrección por asfalto residual (según tipo de emulsión) (tabla 5)

K = factor multiplicador por condiciones locales evaluadas por la experiencia en cuanto a clima, tráfico y agregados.

## Método de Texas

Para realizar el diseño del Tratamiento Superficial por medio del método de Texas, deben seguirse los siguientes pasos:

- Cantidad de agregado (S)

$$S = (27 \cdot W) / Q$$

Donde

W = Peso Unitario seco suelto (lb/ft<sup>3</sup>)

G = Prueba del tablero (lb/yd<sup>2</sup>)

- Cantidad de asfalto por cuadrada de pavimento (A)

$$A = 5.61 \cdot E [1 - W/62.4G] \cdot T + V$$

Donde

E = altura del agregado recubierto por el ligante = a\*d

a = porcentaje de recubrimiento (figura 1)

d = espesor promedio de capa de agregado = 1.33\*Q/W

T = Corrección por tránsito (tabla 4)

V = Corrección por condición de superficie (tabla 5)

- Ajuste de cantidad de asfalto para emulsiones

$$A_e = A / (\% \text{ asfalto residual}) + K(A / \% \text{ asfalto residual} / 100) - A$$

Donde

K = 0.60 (primavera)

K = 0.40 (verano)

K = 0.90 (invierno)

- Ajuste de cantidad de asfalto por temperatura: debe hacerse un ajuste por temperatura de aplicación, ya que el método parte de una temperatura estándar de 60 °C.

### **Aplicación del Asfalto**

Se debe aplicar de forma uniforme, con una cantidad y a una temperatura adecuada. Además, la altura de aplicación de la barra y los ángulos de las boquillas deben estar ajustados y calibrados.

Para tales efectos, se debe controlar:

- Velocidad del distribuidor de asfalto (sf) en (ft/min) =  $9 \cdot G_t / (w \cdot R)$

Donde

$G_t$  = salida de la barra de aplicación (gal/min)

$W$  = ancho de la aplicación (pies)

$R$  = tasa de aplicación (gal/yad<sup>2</sup>)

- Longitud de distribución de asfalto ( $L_a$ ) en (pies) =  $9 \cdot T (w \cdot R)$

Donde

$T$  = cantidad de ligante o emulsión que puede ser almacenada en el distribuidor de asfalto (gal)

### **Aplicación del agregado de Cobertura**

Si el agregado se aplica en la tasa de diseño, se logrará un espesor de capa de un agregado. El asfalto será visible luego de la distribución del agregado si se utilizó

la cantidad adecuada. Si el asfalto no es visible luego de la aplicación, la razón es que se aplicó un exceso de agregado. Si se usa una cantidad baja de agregado, el equipo de distribución y los compactadores recogerán agregados fácilmente con sus llantas.

- Longitud de aplicación de la carga de una vagoneta con agregado (LR) en pies  
 $= 9 \cdot q \cdot s / w$

Donde

Q = cantidad de agregado en el camión o vagoneta (yd<sup>3</sup>)

S = yardas cuadradas de pavimento por yarda cúbica del agregado

W = ancho de la distribución

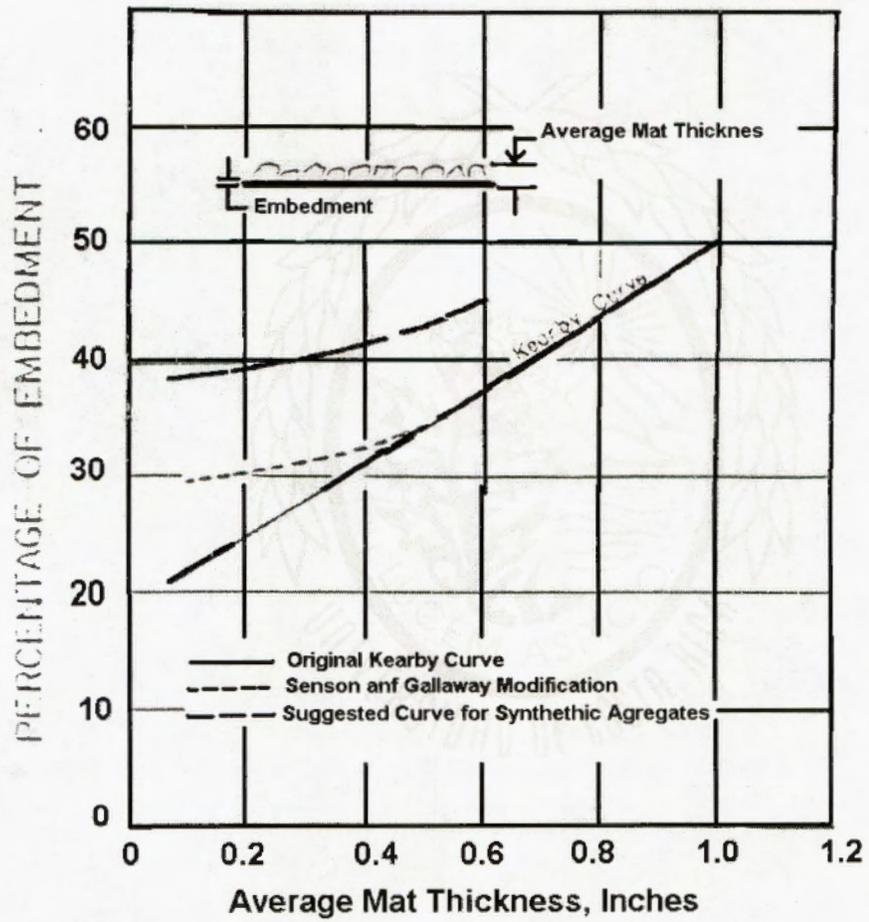


Table 7. Asphalt Application Rate -- Correction Due To Traffic

	Traffic - Vehicles Per Day Per Lane				
	Over 1,000	500 to 1,000	250 to 500	100 to 250	Under 100
Traffic Factor (T)	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20

Table 8. Asphalt Application Rate Correction Due to Existing Pavement Surface Condition

Description of Existing Surface	Asphalt Quantity Correction gal/sq. yd.
Flush asphalt surface	-0.06
Smooth, nonporous surface	-0.03
Slightly porous, slightly oxidized surface	0.00
Slightly pocked, porous, oxidized surface	+0.03
Badly pocked, porous, oxidized surface	+0.06

A = factor de corrección, litros/m<sup>2</sup> para la absorción del asfalto dentro de la piedra cubierta

B = Asfalto residual en la emulsión, expresado como un decimal. Los valores típicos son:

Emulsión Asfáltica	R
RS-1	0.58
RS-2	0.63
CRS-1	0.65
CRS-2	0.69

K = Factor de multiplicación que debe ser evaluado por la experiencia con las condiciones locales de clima, tráfico, agregado, etc, y debe tener un valor menor o mayor que 1.0.

### Cantidades de Asfalto y Agregado para Tratamientos Superficiales Simples

Carril	Tamaño Nominal del Agregado	Tamaño No	Cantidad de Agregado Kg/m <sup>2</sup>	Cantidad de Asfalto (l/m <sup>2</sup> )	Tipo y Grado del Asfalto
1	3/4 a 3/8	6	22-27	1.8-2.3	RS-2, CRS-1, CRS-2
2	1/2 a No.4	7	14-16	1.4-2.0	RS-1 RS-2, CRS-1, CRS-2
3	3/8 a No. 8	8	20-25	0.9-1.6	RS-1 RS-2, CRS-1, CRS-2
4	No. 4 a No.8	9	15-20	0.7-1.1	RS-1 RS-2, CRS-1, CRS-2
5	Arena	AASHTO M-6	10-15	1.7-0.9	RS-1 CRS-1

Estas cantidades de asfalto son incluidas para bases granulares y antiguas capas asfálticas. Si hay exceso de oxidación, poros y otros problemas en el pavimento, las cantidades y tipos de materiales deben ser variadas de acuerdo a las condiciones locales y la experiencia.

El peso específico de los agregados presentados en la tabla es basado en el agregado con una gravedad específica de 2.65. En caso de que la gravedad específica sea menor a 2.55 o mayor que 2.75, la cantidad presentada en la tabla

debe ser multiplicada por la división entre la gravedad específica del agregado  
entre 2.65



## Método para Determinar el promedio de la dimensión de la cubierta de los agregados para Tratamientos Superficiales

Este método describe un procedimiento simplificado que se usa para determinar el promedio de la mínima dimensión de cubierta del agregado para usar en una tratamiento superficial.

### METODO:

- a) El malla de análisis deber ser cargado como se describe en la parte 1.
- b) El Indice Flakiness debe ser determinado como se indica en la parte 2.
- c) El promedio dela menor dimensión debe ser determinado mediante la figura 3.

### PARTE 1: Análisis de Tamices

Tabla 1: peso de Muestra para el Análisis por Tamices.

Tamaño Nominal		Peso Mínimo de Muestra
Pulgadas	Milímetros	Gramos
2	51	20000
1 ½	38	15000
1	25	1000
¾	19	5000
5/8	16	4000
½	12.5	2500
3/8	9.8	1000
¼	6.3	750

## Determinación del Tamaño Medio

El tamaño medio es la malla teórica en mm, a través de la cual pasa el 50 del material.

## PARTE 2: Índice Flakiness

### Muestra

La muestra empleada en este método consiste en todo el agregado usado en el tamiz que está en los rangos de la siguiente tabla.

### Agregados de un Tamiz

Número de Tamiz	Rango Nominal o Mallas Estándar		Todo el Material es mayor que
	Pasando	Retenido	
E	3/4	1/2	1/2
F	5/8	3/8	3/8
G	1/2	3/8	3/8
H	3/8	1/4	1/4

## Agregados Graduados

Número de Malla	Rango Nominal de Mallas Estándar en Estados Unidos		Material		Material		Material	
			PASS	RET	PASS	RET	PASS	RET
5	1	1/2	1	3/4	3/4	1/2	-	-
6	3/4	3/8	3/4	1/2	1/2	3/8	-	-
7	1/2	No.4	1/2	3/8	3/8	1/4	-	-
8	3/8	No. 8	3/8	1/4	1/4	No. 4	-	-
56	1	3/4	1	3/4	3/4	1/2	-	-
67	3/4	No.4	3/4	1/2	1/2	3/8	3/8	1/4
68	3/4	No. 8	3/4	1/2	1/2	3/8	3/8	1/4
76	1/2	No. 8	1/2	3/8	3/8	1/4	1/4	No.4

### METODO

Cada fracción de material, se debe ser examinado partícula por partícula para determinar su habilidad para pasar a través de una determinada malla.

**FACTOR DE DESPERDICIO DE AGREGADOS**

Porcentaje de Desperdicio Permitido	Factor de Humedad, E
1	1.01
2	1.02
3	1.03
4	1.04
5	1.05
6	1.06
7	1.07
8	1.08
9	1.09
10	1.10
11	1.11
12	1.12
13	1.13
14	1.14
15	1.15

**FACTORES DE TRATAMIENTO SUPERFICIAL**

AGREGADO	Factor de Tráfico = Porcentaje (expresado como decimal) del 20% de espacio de vacíos en el agregado cubierto que va llenarse con asfalto				
	Tráfico: Vehículos por Día				
	Bajo 100	100 to 500	500 to 1,000	1,000 to 2,000	Sobre 2000
Buen Tipo de Agregado Reconocido	0.85	0.75	0.70	0.65	0.60

## 5. Síntesis de normas internacionales de tratamientos superficiales

Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica.  
Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Carreteras y Puentes. C.R. 77

El tratamiento superficial bituminoso puede consistir en la aplicación de una o más capas de sello o una capa de imprimación y una o más capas de sello, según sea especificado

Básicamente, el CR-77 indica que la norma que se expone es para un agregado cuya gravedad específica es de 2.65, y si esto no se cumple, se deben hacer correcciones proporcionales, para la dosificación, cuando los agregados utilizados en la obra tengan una gravedad mayor a 2.7 o menor a 2.60, según la siguiente fórmula:

$$\text{Peso Nuevo} = \text{Peso Tabla} * \text{Gravedad Específica Real} / 2.65$$

La tabla que determina la construcción del tratamiento superficial es la siguiente:

<b>Tabla No.1</b>				
Cantidad de Materiales por metro cuadrado (usando asfalto rebajado, cemento asfáltico, asfalto emulsionado, o alquitrán) para Tratamiento Bituminoso Superficial				
Graduación para Agregado y Secuencia de Operaciones		Designación del Tratamiento		
		TS-1	TS-2	TS-3
Primera Capa				
1) Aplicar Material Bituminoso	L	1.4	1.4	1.4
2) Distribuir Agregados				
Graduación A	Kg		28	28
Graduación B	Kg			
Graduación C	Kg	14		
Segunda Capa				

3) Aplicar material Bituminoso	L		1.6	1.6
4) Distribuir Agregados				
Graduación B	Kg		11	11
Graduación C	Kg			
<b>Tercera Capa</b>				
5) Aplicar Material Bituminoso	L			0.8
6) Distribuir Agregados				
Graduación C	Kg			6
<b>TOTALES</b>				
Material Bituminoso	L	1.4	3.0	3.8
Agregados	Kg	14	39	45

La temperatura ambiente cuando se realiza un tratamiento superficial no debe ser inferior a los 12 °C.

El equipo mínimo que debe tenerse en operación es el siguiente:

- Barredora Mecánica
- Soplador Mecánico
- Equipo de Arrastre
- Aplanadora (Tres rodillos o tándem) de 4.5 a 7 toneladas, o una aplanadora con llantas neumáticas
- Equipo esparcidor de agregado (ajustable, de modo que distribuya con exactitud las cantidades especificadas por metro cuadrado)
- Distribuidor de emulsión
- Equipo para calentar el material bituminoso.

En el caso de tratamientos superficiales múltiples, se debe usar también una motoniveladora de llantas neumáticas. El ancho mínimo del rodillo debe ser de 1,50 m y su peso total será ajustable dentro de los límites de 35 hasta 65 Kg, por cada centímetro de ancho de compactación.

El Contratista podrá utilizar si ha sido aprobado por el ingeniero, otro equipo de eficiencia comprobada, además o en lugar del equipo especificado.

## APLICACIÓN DEL MATERIAL BITUMINOSO

- Deberá ser aplicado de manera que se obtenga una distribución uniforme
- Se colocará papel de construcción sobre el camino, a una distancia suficiente detrás de las zonas finales de cada aplicación , para probar el flujo del material bituminoso a través de la boquilla, luego se quita el papel.
- La temperatura de aplicación deberá estar dentro de los límites mostrados en la Tabla No.2 según el material que se aplique. Durante todas las aplicaciones deberá protegerse las superficies de todas las estructuras y árboles cercanos en tal forma que se evite que sean salpicadas o dañadas. *No deberá descargarse los sobrantes de material bituminoso en áreas de préstamo, cunetas o lechos de riachuelos o de quebradas.*

**Tabla No.2 Temperaturas de aplicación en °C.**

CLASE Y TIPO DE MATERIAL	RIEGO		MEZCLA	
	MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO
RT-1-2-3	16	54	16	54
RT-4-5-6	19	66	29	66
RT-7-8-9	66	107	66	107
RT-10-11-12	80	120	80	120
RTCB-5-6-30	16	49	16	49
MC-30	21	63	16	63
RC,MC,SC-70	40	85	32	40
RC,MC,SC-250	60	105	52	93
RC,MC,SC-800	80	130	71	125
RC,MC,SC-3000	101	154	93	100
Todas las emulsiones	10	60	10	60
TODOS LOS CEMENTOS ASFALTICOS	177		EL MAXIMO QUE SEA NECESARIO PARA ALCANZAR VISCOSIDAD 100 s SAYBOLT-FUROL	

## **APLICACIÓN DEL AGREGADO**

- La distribución de cada capa de agregado deberá realizarse con el equipo esparcidor especificado.
- Antes de aplicar el material bituminoso se deberá disponer de suficiente agregado sellante en camiones estacionados en el camino en el sitio de trabajo
- El esparcimiento suplementario y el emparejamiento de la primera capa en tratamientos superficiales múltiples, se llevará a cabo por medio de la motoniveladora, rastra o distribuidor aprobado por el ingeniero.
- Cada capa de agregados una vez distribuida y emparejada, deberá compactarse de acuerdo a lo que ordene el ingeniero.
- El Contratista deberá proporcionar un vehículo guía con conductor para dirigir el tránsito sobre el tratamiento superficial terminado, a una velocidad máxima de 30 Km/h, durante las primeras 24 horas posteriores a la construcción del tratamiento.

## **METODO DE MEDICION**

El material bituminoso se medirá por litro y los agregados se medirán por metro cúbico.

## **BASE PARA EL PAGO**

Las cantidades de tratamiento bituminoso superficial aceptadas, determinadas según las disposiciones anteriores, serán pagadas al precio del contrato por litro para el material bituminoso y por metro cúbico para los agregados entregados en la obra, cuyo precio y pago serán la compensación total por el trabajo descrito anteriormente.

# **Síntesis de normas internacionales de tratamientos superficiales**

## **Norma Colombiana**

### **Características de los Agregados**

Los agregados deberán ser limpios, sólidos y resistentes, de uniformidad razonable, exentos de polvo, suciedad, arcilla u otras materias extrañas.

Deben proceder de trituración de piedras de cantera o grava natural, en cuyo caso deberán contener como mínimo, un 75% en peso de elementos triturados que presenten 2 o más caras fracturadas.

El coeficiente de desgaste medido por ensayo de los ángeles será inferior a 35%.

La adhesividad de los agregados según el ensayo de inmersión en agua será superior al 95%.

La limpieza, obtenida como porcentaje de elementos inferiores a 1mm, respecto a una muestra de kg, de agregados, realizada por ensayo de lavado, será inferior al 0.5%.

En ocasiones, la presencia de arcillas en los agregados es muy difícil de detectar, siendo muy perjudicial, ya que su hinchamiento, simplemente con el agua de la emulsión, impide el contacto entre los agregados y los ligantes.

En el momento de su extensión el agregado no deberá contener más de un 4% de humedad.

Las granulometrías propuestas se ajustarán a lo siguiente:

D, Tamaño Máximo (mm) d tamaño mínimo (mm) $\Delta$ , tamaño Medio (mm)	TIPOS			
	A 20/10	A 13/7	A 10/5	A 6/3
	20	13	10	6
	10	7	5	3
15	10	7.5	4.5	
TAMIZ ASTM	Porcentaje que pasa			
1	100			
$\frac{3}{4}$	90-100	100		
$\frac{1}{2}$	10-40	90-100	100	
$\frac{3}{8}$	0-15	20-55	90-100	100
$\frac{1}{4}$	-	0-15	10-40	90-100
No 4	0-5	-	0-15	20-55
No 6		0-5	-	0-15
No 8			0-5	-
No 16				0-5

## Síntesis de normas internacionales de tratamientos superficiales

Morilla Abad, Ignacio  
Control de Calidad en Obras de Carreteras.  
Asociación Técnica de Carreteras

Tipo de Control	Especificación	inalidad	Frecuencia
Caracterización del Ligante Bituminoso		scoger entre el ligante decuado para lograr la ayor adherencia entre igante y áridos y entre el onjunto de éstos y el oport base, de manera ue se obtenga la máxima esistencia a las cargas y ozamiento superficial de os vehículos.	1 vez al comienzo de los trabajos si no hay certificados fiables de la industria suministradora. 1 vez por partida si hay dudas.
Granulometría de los agregados		Obtener una granulometría lo suficientemente uniforme para que los áridos envueltos con el ligante formen una superficie uniforme en espesor y textura que impermeabilice el soporte y forme una capa de rodadura con el coeficiente de rozamiento adecuado.	1 ensayo cada 100 m <sup>3</sup> o fracción
Desgaste de Los Angeles		tilizar agregados duros y esistentes a los efectos inámicos directos de las uedas de los vehículos.	1 ensayo cada 1000 m <sup>3</sup> o fracción
Humedad de los Aridos		avorecer la adherencia de os áridos con el ligante ituminoso.	1 ensayo cada 300 m <sup>3</sup> o después de la lluvia y antes de usarlos.
Indice de Partículas Elongadas		vitatar que los áridos ormen una superficie de odadura de baja dherencia y no favorecer u rotura que es mas recuente en elementos ajosos.	1 ensayo cada 1000 m <sup>3</sup> o partida de diferente procedencia.
Coefficiente de Pulido Acelerado		ormar una capa de odadura con la suficiente esistencia al desgaste omo para que el oefficiente de rozamiento e mantenga por encima e los límites de seguridad los largo del tiempo	1 vez al comienzo de las obras (5 determinaciones) y cuando se varíe la procedencia de los agregados.

		vitando el deslizamiento e las ruedas de los vehículos por desgaste de los agregados superficiales.	
--	--	---	--

Adhesividad agregado-ligante y resistencia al desplazamiento por el agua del ligante que envuelve los áridos		Comprobar que la adhesividad del ligante a los agregados es suficiente en presencia de agua y la mezcla no se destruye por la acción de la humedad,	1 ensayo al comienzo de las obras, o bien, cada 500 m <sup>3</sup> o fracción si hay variaciones de los agregados.
Machaqueo y caras fracturadas		Lograr una mayor abrazón de los áridos, con un ángulo de rozamiento interno elevado que provoque una gran resistencia a las cargas.	1 ensayo al comienzo de las obras, o bien, cada 5000 m <sup>3</sup> o fracción.

Tipo de Control	Especificación	Finalidad	Frecuencia
Temperatura Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ 10 C</li> <li>▷ 5 C, si hay tendencia a aumentar</li> </ul>	Favorecer la colocación del ligante en la obra, una buena adherencia con los agregados y procurar la eliminación de los volátiles.	1 vez al comienzo de los trabajos
Temperatura de Aplicación del ligante		Favorecer la colocación del ligante en la obra, una buena adherencia con los agregados y procurar la eliminación de los volátiles.	1 vez al comienzo de los trabajos
Dosificación de Agregados y de Ligante		Conseguir la mejor relación agregado/ligante para obtener el coeficiente de rozamiento superficial mas alto, compatible con la mayor adherencia y envuelta de los agregados.	1 determinación cada 1000 m <sup>2</sup> en zonas representativas.

Tipo de Control	Especificación	Finalidad	Frecuencia
Comprobación de Dosificación final de ligante y agregados.	Sobre una lona	Comprobar que la dosificación de ligantes y agregados es la adecuada desde el punto de vista técnico y de medición.	1 cada 5000 m <sup>3</sup>
Nivelación y Planeidad	Las correspondientes a la base de soporte	Lograr una superficie final plana y homogénea	Perfil transversal cada 20 m, únicamente si no se ha hecho en la base.
Capacidad portante por viga Vida benkelman o placa de carga		Comprobar la resistencia de la capa y su capacidad portante a través de su deformación bajo carga de un eje de camión de 13 t, midiendo las deflexiones.	Únicamente si no se ha hecho en la base

Tipo de Control	Especificación	Finalidad	Frecuencia
Paso de un camión de Dos ejes	Peso > 20 t o Un eje > 13 t Velocidad 6-8 km/h Frenado a 40 km/h	Comprobar que los agregados no se pegan a las ruedas a una velocidad lenta ni se desprenden del soporte	1 vez al comienzo de los trabajos
Coefficiente de Friabilidad de los agregados	F < 30 (Valor indicativo)	Medir la capacidad de desgaste de los agregados por rozamiento entre sus partículas	1 cada 5000 m <sup>3</sup> o fracción
Ensayo Deval Húmedo		Complementa o Sustituye la prueba de los ángeles	1 cada 5000 m <sup>3</sup> o fracción
Medición de Coeficiente de rozamiento in situ con péndulo de fricción	CR > 0.50	Comprobar que el coeficiente de rozamiento inicial de la superficie del pavimento es el previsto en el proyecto para ese tramo.	1 cada 15000 m <sup>3</sup> o fracción
Medida de la rugosidad superficial del pavimento por el método del círculo de arena	ASTM E-965-83	Medición indirecta del coeficiente de rozamiento a través de la rugosidad	1 cada 15000 m <sup>3</sup> o fracción

## Granulometrías Uniformes Normales

Tipos						
	A 25/13	A 20/10	A 13/7	A 10/5	A 6/3	A 5/2
Tamaño Máximo	25 mm	20 mm	13 mm	10 mm	6 mm	5 mm
Tamaño Mínimo	13 mm	10 mm	7 mm	5 mm	3 mm	2 mm
Tamaño Medio	19 mm	15 mm	10 mm	7.5 mm	4.5 mm	3.5 mm
Cedazo y Tamiz	Cernido Ponderal Acumulado (%)					
40	100					
25	90-100	100				
20	20-55	90-100	100			
12.5	0-15	10-40	90-100	100		
10	-	0-15	20-55	90-100	100	
6.3	0-5		0-15	10-40	90-100	100
5		0-5	-	0-15	20-55	90-100
3.2			0-5	-	0-15	10-40
2.5				0-5	-	0-15
1.25					0-5	-
0.63						0-5

## Granulometrías Uniformes Especiales

	Tipos				
	AE 20/10	AE 13/7	AE 13/7	AE 10/5	AE 5/2
Tamaño Máximo	20 mm	13 mm	10 mm	6 mm	5 mm
Tamaño Mínimo	10 mm	7 mm	5 mm	3 mm	2 mm
Tamaño Medio	15 mm	10 mm	7.5 mm	4.5 mm	3.5 mm
Cedazo y Tamiz	Cernido Ponderal Acumulado (%)				
40	100				
20	85-100	100			
12.5	0-20	85-100	100		
10	0-7	0-30	85-100	100	
6.3		0-7	0-30	85-100	100
5	-		0-7	0-30	85-100
3.2			-	0-10	0-25
2.5	0-2	0-2	0-2		0-10
1.25					-
0.63				0-2	0-2

## Simplees Tratamientos Superficiales con Agregados de Granulometría Uniforme Normal

Agregado	Tipo	l/m <sup>2</sup>	Ligante Residual (kg/m <sup>2</sup> )			
			B 150/200	RC 4	RC 3	RC 2
			RC 5	MC 4	MC 3	MC 2
			MC 5	AQ 54	AQ 46	AQ 38
				EAR 2	EAR 2	EAR 1
				ECR 2	ECR 2	ECR 1
A 25/13		17-19	1.7-2.1	1.7-2.1		
A 20/10		12-14	1.3-1.8	1.3-1.8		
A 13/7		8-10		0.9-1.3	0.9-1.3	
A 10/5		6-8			0.7-1.1	0.7-1.1
A 6/3		5-7				0.6-0.9
A 5/2		4-6				0.5-0.75

## Simple Tratamientos Superficiales con Agregados de Granulometría Uniforme Especial

Agregado		Ligante Residual (kg/m <sup>2</sup> )			
Tipo	l/m <sup>2</sup>	B 150/200 RC 5 MC 5	RC 4 MC 4 AQ 54 EAR 2 ECR 2	RC 3 MC 3 AQ 46 EAR 2 ECR 2	RC 2 MC 2 AQ 38 EAR 1 ECR 1
A 20/10	10-14	1.1-1.4	1.1-1.4		
A 13/7	8-10		0.8-1.2	0.8-1.2	
A 10/5	6.5-8			0.75-1.1	0.75-1.1
A 6/3	5.5-7			0.65-0.85	0.65-0.85
A 5/2	4.5-5.5				0.4-0.7

## Dobles Tratamientos Superficiales con Agregados de Granulometría Uniforme Normal

Arido		Ligante Especial		
	Tipo	L/m <sup>2</sup>	Tipo	Kg/m <sup>2</sup>
1 Aplicación	A25/13	17-19	B150/200 RC5	MC5 1.7-2.1
2 Aplicación	A13/7	8-10	RC 4 RC 3 AQ 54 EAR2	MC4 MC3 AQ46 ECR 2 1.0 - 1.5
1 Aplicación	A 20/10	12-14	B 150/200 RC 5 RC 4 AQ 54 EAR2	MC 5 MC 4 ECR 2 1.3-1.8
2 Aplicación	A10/5	6-8	RC 3 RC 2 AQ 46 EAR2 ECR2	MC3 MC2 AQ38 EAR1 ECR1 0.9-1.3
1 Aplicación	A13/7	8-10	RC 4 RC 3 AQ 54 EAR2	MC4 MC3 AQ46 ECR2 0.9-1.3
2 Aplicación	A6/3	5-7	RC 2 AQ38 EAR1 EAR1	MC2 0.7-1.0

**Dobles Tratamientos Superficiales con Agregados de Granulometría Uniforme Especial**

<b>Arido</b>		<b>Ligante Especial</b>			
	Tipo	L/m <sup>2</sup>	Tipo		Kg/m <sup>2</sup>
1 Aplicación	AE20/10	10-14	B150/200		
			AQ54		
			RC5	MC5	
			RC4	MC4	
			EAR2	ECR2	1.0-1.4
2 Aplicación	AE10/5	6.5-8	RC 3	MC3	
			RC 2	MC2	
			AQ 46	AQ38	
			EAR2	ECR 2	
			EAR1	ECR 1	0.7-1.1
1 Aplicación	AE 13/7	8-10	RC 4	MC3	
			RC2	MC2	
			AQ 36	AE38	
			EAR2	ECR2	
			EAR1	ECR 1	0.8-1.2
2 Aplicación	AE6/3	5.5-7	RC 3	MC3	
			RC 2	MC2	
			AQ 36	AQ38	
			EAR2	ECR2	
			EAR1	ECR1	0.6-0.9

## Norma Francesa

### Monocapa

Ligante s y agregad os	Betún Fluidificado Kg/m <sup>2</sup> 400/600	Betún Fluxado Kg/m <sup>2</sup> 600/800    1600/2400		Betún Alquitrán Kg/m <sup>2</sup> 1200	Emulsiones Kg/m <sup>2</sup> 65%    69%		Agregados L/m <sup>2</sup>
Tamaño (mm)							
4/6	1.0	0.950	0.950	0.900	1.200	1.100	6-7
6/10	1.2	1.150	1.150	1.200	1.500	1.400	8-9
10/14		1.400	1.300	1.450		1.850	11.5-13

### Monocapa Doble Engravillado

Ligante s y agregad os	Betún Fluxado Kg/m <sup>2</sup> 1600/2400	Betún Alquitrán Kg/m <sup>2</sup> 2000	Emulsión al 69% Kg/m <sup>2</sup>	Agregados L/m <sup>2</sup>
Tamaño (mm)				
10/14-3/6	1.350	1.450	1.900	10/14, 8 a 9 4/6- 4 a 5
6/10-2/4	1.100	1.150	1.600	6/10- 6 a 7 2/4 -3 a 4

### Bicapa Tipo A

Ligantes y Agregados	Betún Fluidificado (kg/m <sup>2</sup> )		Betún fluxado (kg/m <sup>2</sup> )		Betún Alquitrán (kg/m <sup>2</sup> )		Agregados (l/m <sup>2</sup> )	
	10/14	6/10	10/14	6/10	10/14	6/10	10/14	6/10
	4/6	2/4	4/6	2/4	4/6	2/4	4/6	2/4
			1.050	0.950	1.100	1.000	9 a 11	7 a 9
			0.950	0.850	0.900	0.800	6 a 8	5 a 6
			2.000	1.800	2.000	1.800		

## **Síntesis de normas internacionales de tratamientos superficiales**

**Ministerio de Obras Públicas de Chile.  
Especificaciones Técnicas Generales.  
Manual de Carreteras. Volumen 5.**

Requisitos de los áridos para tratamientos superficiales

Ensayes	Requisitos
Desgaste de los Angeles	Max 35%
Desintegración con sulfato de sodio	Max 12% Min 95%
Adherencia método estático	Min 70%
Arido chancado	Max 10%
Lajas	Max 30%
Indice de lajas	

Granulometría de materiales para tratamientos superficiales

Tamices		TN	TN
mm	ASTM	12.5-5	10-2.5
20	¾"	100	
12.5	½"	90-100	100
10	3/8"	40-70	85-100
6.3	¼"	-	-
5	N° 4	0-15	10-30
2.5	N° 8	0-5	0-10
1.25	N° 16	-	-
0.8	N° 200	0-0.5	0-0.5

**Vigilancia de la Dosificación**

Una vez producidos al menos un 30% de los agregados a emplear y hasta 15 días antes de la construcción, el contratista deberá entregar la dosificación propuesta a la Inspección Fiscal, para ser revisada por el laboratorio encargado. La dosificación deberá validarse mediante una prueba de mínimo 100m de largo por una pista de ancho, en lugar autorizado por la Inspección Fiscal.

Temperaturas de aplicación de las emulsiones serán entre 50 y 85 °C, los cementos asfálticos y los asfaltos cortados deberán aplicarse a una temperatura adecuada para obtener una viscosidad entre 20 y 120 centistokes (10 a 60 sSF).

### **Cantidades de Asfalto a aplicar**

Tipo de Tratamiento	Cantidad de agregado (kg/m)
Simple	8-15
Doble	25-35
Triples	45-55

El asfalto debe distribuirse uniformemente, aplicando la dosis establecida con una tolerancia de  $\pm 15\%$ . La tasa de aplicación debe verificarse cada 3 000 m<sup>2</sup> o como mínimo, una vez al día.

### **Compactación**

Un rodillo neumático debe ir detrás del esparcidor de áridos, efectuando la compactación inicial con traslapes mínimos de 0.30 m., hasta cubrir el ancho total de la superficie. La faena de compactación consiste en un mínimo de tres pasadas completas del rodillo, incluida la compactación inicial.

Cuando se emplee un ligante tipo emulsión normal o emulsión modificada con elastómetro en la construcción de un tratamiento superficial, una vez finalizada la compactación de la capa de rodadura, se debe efectuar un barrido, para eliminar el árido en exceso. Posteriormente se aplicara un riego de neblina, en dosis de 0.6 kg/m<sup>2</sup> de emulsión diluida en agua 1:1, con una tolerancia de  $\pm 0.1$  kg/m<sup>2</sup>. Esta dosis será en adición a la establecida en la dosificación del tratamiento superficial. Sobre la neblina se efectuará una aplicación de polvo de roca uniformemente distribuido. Este procedimiento se aplicara únicamente para este tipo de ligante.

### **Mantenición y Apertura al Transito**

La obra puede abrirse al transito si cumple con las siguientes condiciones:

- Haber transcurrido un periodo de 2 horas después de haberse terminado las labores de compactación o de aplicación de neblina y polvo de roca a la superficie de rodadura. Además el material ligante deberá haber curado o quebrado completamente.
- La superficie deberá ser barrida, para eliminar el árido en exceso.
- Debe destinarse un vehículo piloto para dirigir el transito sobre la superficie terminada a una velocidad no mayor de 30 km/h durante las siguientes 3 horas.
- Luego de estas 3 horas, se puede prescindir del vehículo. Se debe señalizar con rótulos que indiquen el limite máximo de velocidad de 40 km/h y la presencia de gravilla suelta en el camino.

La primera capa de un TS 2 y las capas intermedias de un TS 3, pueden abrirse al transito siguiendo las disposiciones anteriores. Previo a continuar la construcción de la siguiente capa, se debe reparar cualquier daño sufrido por el tránsito. Además se debe barrer la superficie eliminando cualquier material extraño y árido en exceso.

Todo TS terminado y entregado al tránsito, debe ser barrido cada mañana durante los siguientes 4 días. Después del último barrido se debe recoger todo el material suelto de los costados de la carretera.



## Control de Rugosidad (IRI)

El control del IRI se efectúa en tramos homogéneos (una misma estructuración). Se medirá en forma continua en tramos de 200 m o fracción.

La rugosidad se medirá longitudinalmente por pista mediante un sistema perfilométrico de precisión, midiendo la elevación del perfil al milímetro y con una frecuencia igual o superior a 4 puntos por metro y ejecutando el programa del IRI. Alternativamente, este control se podrá hacer con rugosímetro tipo respuesta debidamente calibrado con algún sistema perfilométrico que cumpla con las características mencionadas anteriormente, o bien, con nivel y mira con la precisión y frecuencia señaladas.

La evaluación del IRI se hará por media móvil tomando los valores de cinco tramos consecutivos. Se entenderá que la superficie del tratamiento superficial tiene una rugosidad aceptable si todos los promedios consecutivos de cinco valores de IRI tienen un valor igual o inferior a 3.0 m/km y ninguno de los valores individuales supera 4.0 m/km. En caso de incumplimiento de esta última condición, el Contratista deberá efectuar las reparaciones necesarias para llegar a un valor de IRI bajo el límite máximo establecido. En caso contrario se aplicará una multa del 100%.

En caso de incumplimiento de la condición del promedio de cinco muestras consecutivas, se aplicará la siguiente tabla de multas sobre el valor de la superficie de rodadura:

IRI (m/km)	Multas con respecto al valor de la capa de superficie en el área afectada
3.0 < IRI < 3.3	25%
3.3 < IRI < 3.6	50%
3.6 < IRI < 4.0	75%
4.0 < IRI	100% o se repara

Si el sector homogéneo tiene una longitud inferior o igual a 800 m, solo regirá la condición de que ninguno de los valores individuales medidos supere el IRI máximo permitido, debiendo el Contratista, en caso de incumplimiento, efectuar las reparaciones necesarias para llegar a un valor de IRI bajo el límite máximo establecido. En caso contrario se aplicara una multa del 100%.



## 6. Caso de Tratamiento Superficial en Costa Rica

En este anexo se incluye el análisis de los resultados de laboratorio efectuados en dos rutas, en que un contratista efectuó en tratamiento superficial. Las rutas mencionadas son las siguientes:

- Guadalupe abajo – carrizal
- San Isidro - Fraijanes

Además de los resultados de laboratorio, se presenta el diseño de mezcla presentado por el contratista.

### 6.1 Diseño del Tratamiento Superficial Guadalupe Abajo – Carrizal

#### Diseño de capa Selladora Tipo S-2

Operación	Unidad	Cantidad
Aplicación de Material Bituminoso	Litros	1.00
Distribución de agregados Graduación B	kg	22.00
Aplicación de material bituminoso	Litros	1.70
Distribución de Agregados Graduación Tipo 2	kg	6.00

Los agregados que se utilizarían el proyecto son lo siguientes:

- Piedra Grande
- Río Toro Amarillo en Guápiles

A continuación se indican los valores de granulometría presentados por el contratista a la ingeniería de proyecto, para su aprobación.

a) Granulometría para Recubrimiento AASHTO T -27/11:

**Material Piedra**

TAMIZ	15/01/99 % PAS	ESPECIFICACION SEGÚN GRADUACION B
12.7 mm	100	100
9.5 mm	88	85-100
# 4	24	10-30
# 8	11	0-10
# 100	6	-
# 200	1	0-1

**Material Arena**

TAMIZ	15/01/99 % PAS	ESPECIFICACION SEGÚN GRADUACION B
9.5 mm	100	100
# 4	100	85-100
# 8	73	60-100
# 100	10	0-10
# 200	1	0-1

**b) Peso Unitario AASHTO T-19**

Material Piedra      1345 kg/m<sup>3</sup>  
Material Arena        1201 kg/m<sup>3</sup>

**c) Características del Material**

PRUEBA	NORMA	VALOR	ESPECIFICACION
Indice Plástico	AASHTO T – 90	NP	6.00% máx
Abrasión	AASHTO T – 96	21.0%	35.0% máx
Porcentaje de Caras Fracturadas	Dot's Test	92.0%	75.0 % mín
Pérdida por Sanidad	AASHTO T – 104	2.1%	12.0% máx
Equivalente de Arena	AASHTO T – 176	86.0%	55.0% mín

## 6.2 Resultado de los Muestreros de Tratamiento Superficial

Tipo de Agregado: Quintilla

Proyecto		Carrizal	Fraijanes
Granulometría	¾"	100	100
	½"	100	99.5
	3/8"	82.2	85.0
	No. 4	19.6	24.8
	No. 8	8.5	4.5
	No. 30	3.4	
	No. 50	2.2	0.9
	No. 100	1.3	
Caracterización Agregado Fino	No. 200	1.0	0.4
	Gbs	2.62	
	Gbsss	2.68	
	Gs	2.80	
Caracterización Agregado Grueso	% Abs	2.50	
	Gbs	2.59	2.62
	Gbsss	2.66	2.67
	Gs	2.78	2.77
	% Abs	2.60	2.17

Tipo de Agregado: Polvo - Piedra

Proyecto		Carrizal	Fraijanes
Granulometría	½"	100	
	3/8"	100	100
	No. 4	96.4	96.2
	No. 8	76.4	75.8
	No. 30	38.7	
	No. 50	20.4	23.5
	No. 100	10.6	
	No. 200	5.3	9.1
Caracterización Agregado Fino	Gbs	2.61	2.61
	Gbsss	2.68	2.67
	Gs	2.80	2.79
	% Abs	2.70	2.46

- **Colocación de Agregados**

**Agregado Grueso**

Proyecto	Guadalupe - Carrizal	San Isidro - Fraijanes
Distribución de Agregado (kg/m <sup>2</sup> )	10 417	14 873.1
	14 947	14 265.1
		13 526.2
		12 565.9
Promedio de Distribución	12 682	13 807.6
Desviación	3 203	994

**Agregado Fino**

Proyecto	Guadalupe - Carrizal	San Isidro - Fraijanes
Distribución de Agregado (kg/m <sup>2</sup> )	16 747	9 304.4
	12 044	13 429.6
	9 592	
	18 464	
Promedio de Distribución	14 212	11 367
Desviación	4 105	2917

- **Propiedades de la Emulsión Asfáltica**

Proyecto	Guadalupe - Carrizal	San Isidro - Fraijanes
Residuo por Evaporación % m/m % V/m	66.6	66
	33.4	34
Viscosidad (Saybolt Furol)	(23.03 ± 0.2) SSF	(17.0 ± 0.2) SSF
Densidad ( 25 °C ) (g/ml)	1.018	1.018

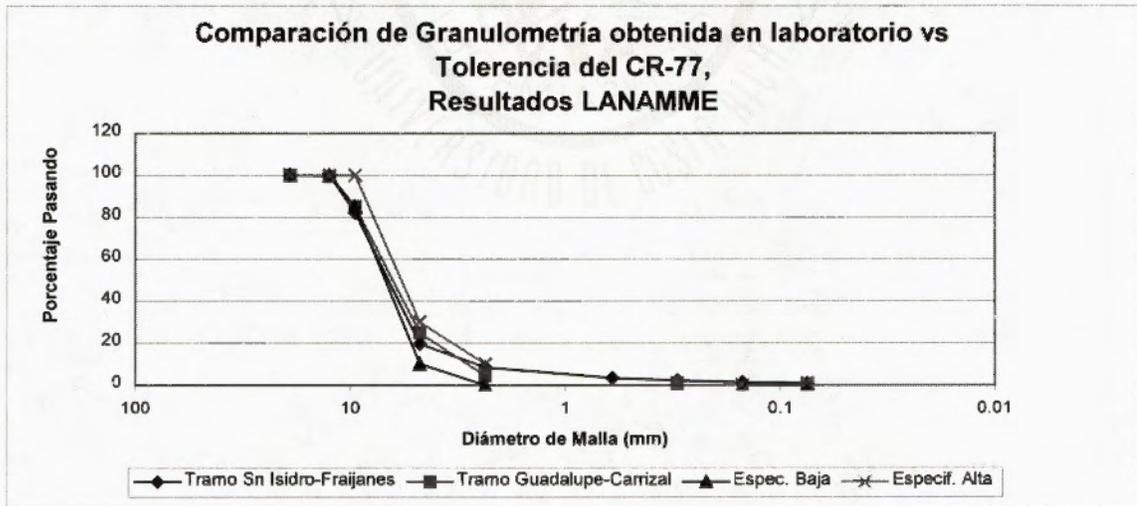
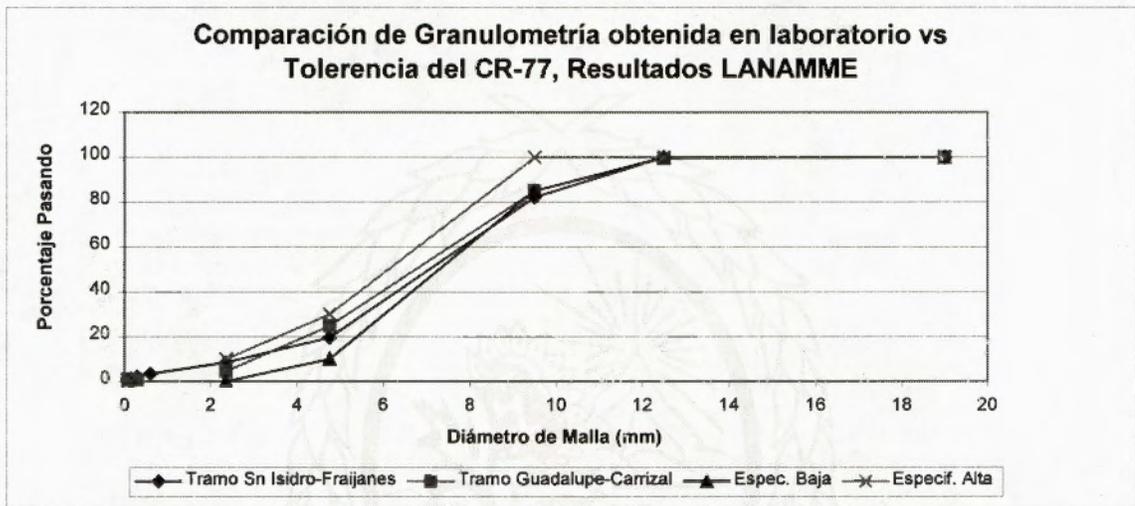
- **Distribución de la Emulsión Asfáltica**

**Capa 1**

Proyecto	Guadalupe - Carrizal	San Isidro - Fraijanes
Distribución de emulsión (kg/m <sup>2</sup> )	2 208	750.5
		603.8
		1021.2
Promedio	2 208	792
Desviación	-	212

## Comparación de Resultados de Tratamiento Superficial

Quintilla						
Malla		Diseño	Tramo		Especificación	
Nominal	(mm)		San Isidro-Fraijanes	Guadalupe-Carrizal		
1	19		100	100	100	100
½"	12.5	100	100	100	100	100
3/8"	9.5	88	82.2	85	85	100
No. 4	4.75	24	19.6	24.8	10	30
No. 8	2.36	11	8.5	4.5	0	10
No. 30	0.6		3.4			
No. 50	0.3		2.2	0.9		
No. 100	0.15	6	1.3		-	-
No. 200	0.075	1	1	0.4	0	1



---

# **Anexo**

## **Mezcla asfáltica en caliente**

---

- I. Resumen de Normas Internacionales**
- II. Análisis del control de calidad en proyectos ejecutados**



---

## I Resumen de normas internacionales

---

En esta parte del anexo se presentan las siguientes tres secciones:

- A. Síntesis de Normas por región
- B. Comparación entre normas

### **A. Síntesis de Normas por Región**

---

A continuación se presenta una síntesis de especificaciones internacionales de mezcla asfáltica en caliente. En ésta se mencionan algunos de los parámetros de calidad de la mezclas mas importantes para el control de calidad de las obras de infraestructura vial.

Las normas analizadas corresponden a los siguientes estados y países:

- State of California.  
Department of Transportation.  
Standar Specifications, 1995. Caltrans 1995.
- Florida Department of Transportation.  
Standar Specifications for Road and Bridge Construction, 1999  
Florida 1999.
- AASHTO. American Association of State Highway and Transportation Officials.  
Implementation Manual for Quality Assurance.  
Washington 1996.
- Standar Specification for Road and Bridge Construction,  
Department of transportation, New Jersey, 1989
- Standar Specifcations for Road and Bridge Construction,  
Department of Transportation, State of Georgia,  
Georgia, 1991

- Commonwealth of Puerto Rico.  
Department of Transportation and Public Works.  
Highway Authority. 1989.



## Síntesis de especificaciones para mezcla asfáltica en caliente

State of California.  
 Department of Transportation.  
 Standar Specifications, 1995. Caltrans 1995.

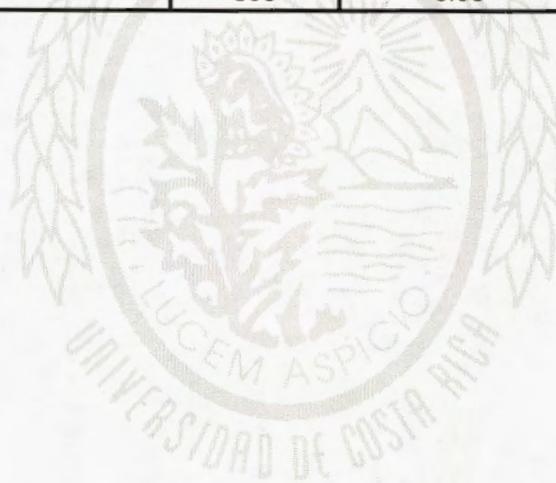
Tabla No 1: Algunos parámetros para concreto asfáltico

DESCRIPCION	Código	Valores Límites				Límite Especificación
		3/4" Máximo Grueso	3/4" Máximo Medio	1/2" Máximo Grueso	1/2" Máximo Medio	
<b>Graduación de agregados</b>						
Asfalto Tipo A y Tipo B, % Pas						
1"		100	100	100	100	
3/4"		90-100	90-100	95-100	95-100	+ 5%
3/8"		60-75	65-80	75-90	80-95	+ 6%
No.4		45-50	49-54	55-61	59-66	+ 7%
No.8		32-36	36-40	40-45	43-49	+ 5%
No.30		15-18	18-21	20-25	22-27	+ 4%
No.200		3-7	3-8	3-7	3-8	+ 2%
<b>Contenido de Asfalto</b>	<b>310</b>					+ 0.5%
<b>Compactación Relativa</b>	<b>375</b>					96%

§ **Graduación de Agregados:** Agregado Grueso es el material retenido en la Malla No.4, el Agregado Fino es el material pasando la Malla No.4. La granulometría que se utilizará en un diseño de mezcla debe ubicarse en las tolerancias indicadas en la tabla.

**Tabla No 2: Requerimientos de calidad agregados (Mezcla de asfalto)**

DESCRIPCION	Código	Mezcla Tipo	
		A	B
<b>Req. Calidad de Agregados</b>			
Porcentaje de Partículas Planas	<b>205</b>		
Agregado Grueso (Min)		90	25
Agregado Fino (Pas No.4, Ret No.8)		70	20
Indice de Los Angeles	<b>211</b>		
Pérdida a 100 rev (max)		12	
Pérdida a 500 rev (max)		45	50
Equivalente de Arena	<b>217</b>	47	42
Factor Kc (max)	<b>303</b>	1.7	1.7
Factor Kf (max)	<b>303</b>	1.7	1.7
<b>Req. Mezcla Asfáltico</b>			
Valor Estabilómetro Hveem (min)	<b>366</b>	37	35
Porcentaje de Vacíos	<b>367</b>	3-5	3-5
Hinchamiento Max. (in)	<b>305</b>	0.03	0.03



## **Síntesis de especificaciones para mezcla asfáltica en caliente**

**Standar Specification for Road and Bridge Construction,  
Department of transportation, New Jersey, 1989**

**Tabla No 3: Error de dosificación**

<b>TOLERANCIAS DE PESADO</b>	<b>PORCENTAJE</b>
Cada componente de agregado	+ 1.5
Relleno Mineral	+ 0.5
Material Bituminoso	+ 0.1
Zero Return (Agregados)	+ 0.5
Zero Return (Material Bituminoso)	+ 0.1

§ Todas las plantas serán capaces de pesar continuamente, dentro de las tolerancias especificadas, los diferentes componentes de la mezcla.

**Tabla No 4: Reducción de pago del costo de un lote por incumplimiento del contenido de vacíos. (Sección 404-2)**

<b>Promedio de 5 muestras % Vacíos</b>	<b>% Reducción por lote</b>
0-1.4	20
1.5-1.9	10
2-8	0
8.1-9	5
9.1-10	10
> 10	20

§ El porcentaje de la mezcla colocada en sitio debe estar entre un mínimo del 2% y un máximo del 8%. El cumplimiento será determinado tomando el promedio de cinco mediciones de porcentaje vacíos para cada lote producido de aproximadamente 4181 m<sup>2</sup> (5000 yd<sup>2</sup>) de área superficial de material bituminoso de espesor uniforme y de aproximadamente 8361m<sup>2</sup> (10000 yd<sup>2</sup>) de espesor

variable. El porcentaje de vacíos se determinará a partir de núcleos sometidos a las pruebas establecidas.

**Tabla No 5: Tolerancia de Prueba de Aceptación del Espesor (Sección 404-3)**

<b>Espesor especificado (in)</b>	<b>Valor límite de aceptación (in)</b>
1.5	1.25
2	1.7
2.25	1.9
3	2.6
4	3.5
4.5	3.95
5	4.4
5.5	4.85
6	5.3
> 6	Espesor específico < 0.7

§ Los requerimientos de espesor anteriores aplican sólo cuando cada componente del material bituminoso en la estructura del pavimento es de espesor uniforme. Cuando este espesor uniforme de la mezcla se especifica, el espesor total combinado de la mezcla o mezclas será medido para determinar el cumplimiento con los límites de pruebas de aceptación mostradas en la tabla anterior. Además, la capa superior será medida para determinar el cumplimiento, cuyo espesor mínimo requerido será de 1.25 in.

§ Los resultados de este chequeo de espesor mínimo en la capa superior serán usados únicamente para determinar si se debe remover o reemplazar la capa existente, y no para reducciones de pago.

§ Para el cumplimiento de los requerimientos de espesor, serán determinados lotes que consistan en aproximadamente 12 542 m<sup>2</sup> (15 000 yd<sup>2</sup>) o menos. Areas que consistan de diferentes combinaciones de mezclas bituminosas o espesores no serán incluidas en el mismo lote.

§ La aceptación de un lote por espesor será determinada por la medición del espesor de 15 núcleos, obtenidos por el ingeniero para cada lote. Cada lote será dividido en 3 secciones de aproximadamente igual área, y 5 núcleos serán sacados aleatoriamente dentro de cada sección.

§ Cuando las variaciones en el espesor total sean más del 20% del área del lote y sea menor del límite de prueba de aceptación mostrados en la tabla, el lote es INACEPTABLE y será removido o reemplazado.

§ El porcentaje de área de lote menor que el límite de aceptación ( $Q_L$ ) será calculado mediante la siguiente fórmula:

$$Q_L = \frac{\text{Promedio del espesor del lote} - \text{Espesor límite para pruebas de aceptación}}{\text{Rango promedio}}$$

donde:

**Promedio del espesor del lote:** Es el promedio de los espesores medidos y obtenidos de los 15 núcleos del lote

**Rango promedio:** Es el promedio de los tres valores de R para un lote, R es el valor de la diferencia absoluta entre el espesor menor y el mayor en cada grupo o de los 5 núcleos medidos consecutivamente.

**Tabla No 6: Reducción de Pago por Lote que Incumpla con los Requisitos de Espesor (Sección 404-4).**

QL		Porcentaje de área de lote fuera de los límites de aceptación	% Reducción por lote (Ver nota 1)
= o > que	< que		
0.36	-	0-20	Ninguno
0.29	0.36	21-25	5
0.23	0.29	26-30	10
0.17	0.23	31-35	20
0.11	0.17	36-40	50
-	0.11	>40	Ver nota 2

**Nota 1:** Los porcentajes de reducción no son aplicables cuando el término  $Q_L$  es calculado para determinar si la capa superior cumple con el mínimo espesor requerido.

**Nota 2:** Remover, reemplazar o colocar sobrecapa.

§ Cuando el valor de  $Q_L$  calculado, es menor que 0.25, indica que más del 25% de la capa superior está fuera del límite de aceptación para espesor mínimo de 1.25 in, la capa superior en ese lote será removida, reemplazada o sobrecolocada, y cualquier reducción para ese lote basado en el requerimiento de espesor total no es aplicada.

**Tabla No 7: Pruebas de Aceptación para Acabado de Superficie en Pavimentos de Hormigón (Sección 405-1).**

DESCRIPCION	No. de Pruebas				% Long. Defectuosa Medida por	Reducción
	Carril 1	Carril 2	Carril 3	Carril 4		
Pruebas de Aceptación para acabado de la superficie						
25%	1	1	2	2	0 a 13.9 14 o más	Ver Tabla 6 Probar cada ruta de llanta
100%	2	4	6	8	Todos los valores	Ver Tabla 6

**Tabla No 8: Reducción de Pago por Lote que no esté conforme con los Requisitos de Acabado Superficial (Sección 405-2)**

DESCRIPCION	% Long. Defectuosa por lote	% Reducción pago por lote
Reducción por lote a pagar no conforme con requisitos de acabado superficial	0-5	Ninguno
	5.1-11	2
	11.1-13.9	5

# Síntesis de especificaciones para mezcla asfáltica en caliente

Florida Department of Transportation.  
Standar Specifications for Road and Bridge Construction, 1999  
Florida 1999.

Tabla No 9: Requerimientos para Mezclas de Concreto Bituminoso  
(Sección 330-2)

Tipo de Mezcla	Densidad	Densidad mínima del tramo de prueba (%)	Tolerancia Superficial
S-1	x	96 Lab. Dens.	x

x: Se requiere hacer prueba.

## § Control de Densidad:

- Método de Control de Densidad Nuclear: La densidad en sitio de cada mezcla asfáltica, con excepción de las mezclas para bacheo, capas intermedias menores que 1 pulg. de espesor o tasa especificada de dosificación menor que 100lb/yd<sup>2</sup>, sobrecapas donde el mínimo espesor es menor que 1 pulg, capas de graduación abierta, se determinarán por medio del Método Backscatter de Densidad Nuclear, especificado por FM 1-T238 (Método B)
- La densidad requerida para una capa completa será mínimo de 98% del promedio de las densidades del tramo de prueba.

## § Tramos de Prueba:

- Uno o más tramos de prueba serán construidos para determinar la densidad del tramo de prueba.
- **Cualquier cambio en la composición de la mezcla requerirá la construcción de un nuevo tramo de prueba.**

- La construcción del tramo de prueba se hará como parte de una jornada normal diaria.
- La longitud del tramo de prueba será de 91.4 m (300ft), sin tomar en cuenta el ancho de la capa que esté siendo colocada.
- El tramo de prueba será construido usando la misma mezcla, el mismo equipo y los mismos procedimientos.
- Cuando la compactación del tramo de prueba se ha completado, se determinarán 10 densidades tomadas aleatoriamente dentro del tramo de prueba. El promedio de estas 10 densidades será la densidad del tramo de prueba. Para propósito de determinar el porcentaje de densidad en laboratorio, se desarrolla un factor de corrección de núcleos o por determinación de transmisión nuclear directa, cuando aplique.

#### **§ Lotes:**

- Para propósitos de aceptación y pago parcial, cada producción diaria será dividida en lotes. El tamaño estándar de lote consiste de 1524 metros lineales (5000 ft lineales) de cualquier pasada hecha por la pavimentadora sin tomar en cuenta el ancho de la pasada o el espesor de la capa. Cuando al final del día de producción o la finalización de una capa o del proyecto, un lote parcial aparece, luego el tamaño de lote será redefinido como sigue:
  - Si el lote parcial contiene uno o dos sublotes con sus respectivos resultados de pruebas, luego el previo lote de tamaño total será redefinido para incluir este lote parcial y la evaluación del lote estará basada en 6 o 7 sublotes determinados.
  - Si el lote parcial contiene 3 o 4 sublotes con sus resultados de pruebas, este lote parcial será redefinido a ser el lote completo y su evaluación estará basada en los 3 o 4 sublotes determinados.

Para el tamaño estandar de lote (1524 m.l.), las 5 densidades determinadas, una por cada sublote, se harán aleatoriamente dentro del lote. Los lugares aleatorios serán determinados por el uso de tablas de números aleatorios derivados

estadísticamente y suministrados por el Departamento. Para que el Contratista reciba el pago total por densidad, el promedio de la densidad de un lote será de mínimo el 98% de la densidad del tramo de prueba. Una vez que el promedio de densidad de un lote ha sido determinado, el Contratista no está autorizado para proporcionar la compactación adicional para elevar el promedio.

**Tabla No 10: Tabla de Pago por Densidad (Sección 330-3).**

% Densidad del Tramo de Prueba	% Pago
> 98	100
97 < x < 98	95
96 < x < 97	90
< 96	75

§ El pavimento completo será aceptado con respecto a la densidad en el lote. Pagos parciales se harán para aquellos lotes que tengan un promedio de densidad menor de 98% de la densidad del tramo de prueba, según la tabla anterior.

**Tabla No 11: Rango de Graduación Designado, Mezclas de Concreto Bituminoso (Sección 331-1)**

% Pasando por peso total de agregado	TIPO		
	S-I	S-II	S-III
3/4	100	83-98	
1/2	88-100	71-87	100
3/8	75-93	62-78	88-100
No.4	47-75	47-63	60-90
No.10	31-53	33-49	40-70
No.40	19-35	19-35	20-45
No.80	7-21	9-18	10-30
No.200	2-6	2-6	2-6

**Tabla No 12: Propiedades para Mezcla de Concreto Bituminoso  
(Sección 331-2)**

DESCRIPCION	Estabilidad Min (lbs)	Flujo (0.01 in)	% VMA Min.	% Vacíos	Contenido de Asfalto efectivo Min.
Propiedades de Diseño					
MARSHALL para Mezclas de Concreto Bituminoso					
TIPO MEZCLA, SECCION 331.1					
S-I	1500	8-14	14	3-5	5
S-II	1500	8-14	13	3-5	5
S-III	1500	8-14	15	3-7	5.5

El tamaño del lote será especificado en la tabla 6 para la mezcla bituminosa producida.

**Tabla No 13: Tolerancias para Pruebas de Control de Calidad (Sección 331-3).**

Tamaño Malla	% Pasando
1"	7
3/4"	7
1/2"	7
3/8"	7
No.4	7
No.10	5.5
No.40	4.5
No.80	3
No.200	2

§ Si el porcentaje de bitumen cae fuera del rango de 0.7 o el porcentaje pasando de cualquier malla cae fuera de los límites mostrados en la Tabla 5, el Contratista deberá hacer las correcciones necesarias. Si el resultado de dos pruebas consecutivas caen fuera de 0.7 para contenido de asfalto o excede el límite de la Tabla 5 para cualquier malla, la operación de la planta será detenida hasta que el problema sea corregido.

## § Aceptación de Mezclas

Las mezclas bituminosas serán aceptadas en la planta, con respecto a la graduación y contenido de asfalto, usando como base lote por lote.

El tamaño de lote estándar en la planta asfáltica será de 4000 ton dividido en cuatro sublotos de 1000 ton cada uno. Cuando la cantidad total de mezcla es menor de 3000 tons, el lote parcial será evaluado para el número apropiado de sublotos de  $n=1$  a  $n=3$ . Cuando la cantidad total de cualquier tipo de mezcla es menor de 500 ton, el Departamento aceptará la mezcla con base a una inspección visual. El Departamento podrá efectuar extracciones y análisis de granulometrías para propósitos de información, sin embargo, las condiciones para pago parcial no aplican.

**Tabla No 14: Tolerancia para Pruebas de Aceptación (Sección 331-5)**

Características	Tolerancia
Cont. Asf.(Extracción)	+ 0.55%
Cont. Asf.(Printout)	+ 0.15%
Pas No.4	+ 7.0%
Pas No.10	+ 5.5%
Pas No.40	+ 4.5%
Pas No.200	+ 2.0%

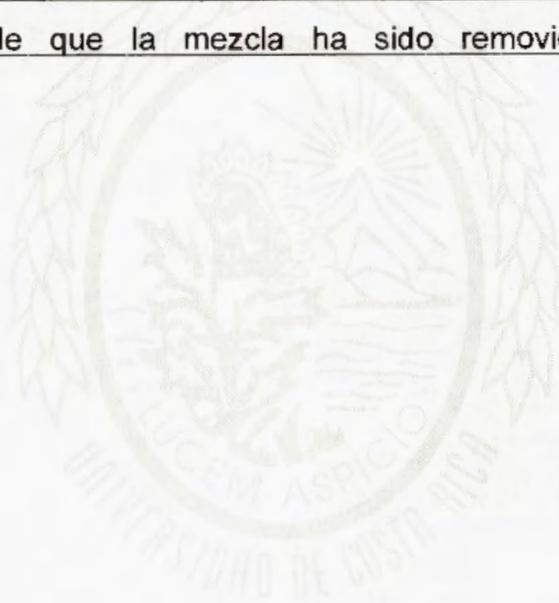
\* Tolerancias para tamaño de muestra de  $n=1$

\*\*Aplica sólo para Tipo S-I, S-II, S-III, FC-1 y FC-4.

## § Procedimientos de aceptación

El Contratista controlará todas las operaciones en manejo, preparación y mezclado de la mezcla asfáltica por lo que el porcentaje de bitumen y el porcentaje pasando las mallas No.4, 10 y 200 deberán cumplir lo aprobado en la fórmula de trabajo dentro de las tolerancias mostradas en la Tabla 6.

La aceptación de una mezcla se hará con base en los resultados de los ensayos hechos a muestras aleatorias consecutivas para cada lote. Las muestras para mezcla tomadas para ensayos de aceptación en contenido de asfalto deberán tomarse antes que la mezcla sea colocada en la tolva de almacenamiento. Muestras de mezclas para ensayos de aceptación en granulometría serán tomados después de que la mezcla ha sido removida de la tolva de almacenamiento.



**Tabla No 15: Tabla de Aceptación y Pago (Sección 331-6)**

DESCRIPCION	Promedio de las desviaciones* acumuladas de pruebas de aceptación para la Fórmula de Trabajo						
	FACTOR DE PAGO	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 4	ENSAYO 5	ENSAYO 6
Lista de Aceptación para PAGO, SECCION 331-5.2 Características	1	0.00-0.55	0.00-0.43	0.00-0.38	0.00-0.35	0.00-0.33	0.00-0.31
	0.95	0.56-0.65	0.44-0.50	0.39-0.44	0.36-0.40	0.34-0.37	0.32-0.36
	0.9	0.66-0.75	0.51-0.57	0.45-0.50	0.41-0.45	0.38-0.42	0.36-0.39
	0.8**	>0.75	>0.57	>0.50	>0.45	>0.42	>0.39
Contenido de Asfalto (Extracción)	1	0.00-0.15	0.00-0.15	0.00-0.15	0.00-0.15	0.00-0.15	0.00-0.15
	0.95	0.16-0.25	0.16-0.25	0.16-0.25	0.16-0.25	0.16-0.25	0.16-0.25
	0.9	0.26-0.35	0.26-0.35	0.26-0.35	0.26-0.35	0.26-0.35	0.26-0.35
	0.8**	>0.35	>0.35	>0.35	>0.35	>0.35	>0.35
Contenido de Asfalto (Printout)	1	0.00-0.15	0.00-0.15	0.00-0.15	0.00-0.15	0.00-0.15	0.00-0.15
	0.95	0.16-0.25	0.16-0.25	0.16-0.25	0.16-0.25	0.16-0.25	0.16-0.25
	0.9	0.26-0.35	0.26-0.35	0.26-0.35	0.26-0.35	0.26-0.35	0.26-0.35
	0.8**	>0.35	>0.35	>0.35	>0.35	>0.35	>0.35
No.4***	1	0.00-7	0.00-5.24	0.00-4.46	0.00-4.00	0.00-3.68	0.00-3.45
	0.98	7.01-8.00	5.25-5.95	4.47-5.04	4.01-4.50	3.69-4.13	3.46-3.86
	0.95	8.01-9.00	5.96-6.66	5.05-5.62	4.51-5.00	4.14-4.58	3.87-4.27
	0.9	9.01-10.00	6.67-7.36	5.63-6.20	5.01-5.50	4.59-5.02	4.28-4.67
No.10***	1	0.00-7	0.00-5.24	0.00-4.46	0.00-4.00	0.00-3.68	0.00-3.45
	0.98	7.01-8.00	5.25-5.95	4.47-5.04	4.01-4.50	3.69-4.13	3.46-3.86
	0.95	8.01-9.00	5.96-6.66	5.05-5.62	4.51-5.00	4.14-4.58	3.87-4.27
	0.9	9.01-10.00	6.67-7.36	5.63-6.20	5.01-5.50	4.59-5.02	4.28-4.67
No.40***	1	0.00-5.50	0.00-4.33	0.00-3.81	0.00-3.50	0.00-3.29	0.00-3.13
	0.98	5.51-6.50	4.34-5.04	3.82-4.39	3.51-4.00	3.30-3.74	3.14-3.54
	0.95	6.51-7.50	5.05-5.74	4.40-4.96	4.01-4.50	3.75-4.18	3.55-3.95
	0.9	7.51-8.50	5.75-6.45	4.97-5.54	4.51-5.00	4.19-4.63	3.96-4.36
No.200***	1	>8.50	>6.45	>5.54	>5.00	>4.63	>4.36
	0.98	>8.50	>6.45	>5.54	>5.00	>4.63	>4.36
	0.95	>8.50	>6.45	>5.54	>5.00	>4.63	>4.36
	0.9	>8.50	>6.45	>5.54	>5.00	>4.63	>4.36
No.40***	1	0.00-4.50	0.00-3.91	0.00-3.65	0.00-3.50	0.00-3.39	0.00-3.32
	0.98	4.51-5.50	3.92-4.62	3.66-4.23	3.51-4.00	3.40-3.84	3.33-3.72
	0.95	5.51-6.50	4.63-5.33	4.24-4.81	4.01-4.50	3.85-4.29	3.73-4.13
	0.9	6.51-7.50	5.34-6.04	4.82-5.39	4.51-5.00	4.30-4.74	4.14-4.54
No.200***	1	>7.50	>6.04	>5.39	>5.00	>4.74	>4.54
	0.98	>7.50	>6.04	>5.39	>5.00	>4.74	>4.54
	0.95	>7.50	>6.04	>5.39	>5.00	>4.74	>4.54
	0.9	>7.50	>6.04	>5.39	>5.00	>4.74	>4.54
No.200***	1	0.00-2.00	0.00-1.71	0.00-1.58	0.00-1.50	0.00-1.45	0.00-1.41
	0.95	2.01-2.40	1.72-1.99	1.59-1.81	1.51-1.70	1.46-1.63	1.42-1.57
	0.9	2.41-2.80	2.00-2.27	1.82-2.04	1.71-1.90	1.64-1.80	1.58-1.73
	0.8**	>2.80	>2.27	>2.04	>1.90	>1.80	>1.73

\* Las desviaciones son valores absolutos sin incluir los signos (+) o (-).

\*\* Si es aprobado por el Ingeniero basado en la determinación ingenieril que el material es aceptable de permanecer en el sitio, el Contratista deberá aceptar el pago parcial indicado. De otra forma, el Departamento requerirá remover y reemplazar sin costo adicional. El Contratista tiene la opción de remover y reemplazar sin costo adicional para el Departamento y hacerlo en cualquier momento.

\*\*\* Cuando se presenten dos o más reducciones de pago para estos ítemes en un lote de material, sólo la mayor reducción en pago se aplicará. **ATENCIÓN:** Esta regla aplica sólo para estos cuatro resultados de pruebas de graduaciones.

§ El pago será hecho con base en la Tabla 7 (Ensayos de Aceptación y Pago). El proceso será considerado fuera de control cuando cualquier resultado individual de un ensayo para un lote exceda el 90% del límite de factor de pago para los valores en la columna de "Ensayo 1" de la Tabla 7. Cuando esto ocurre, el lote será automáticamente terminado y el porcentaje de pago será determinado de la Tabla 7.

## Síntesis de especificaciones para mezcla asfáltica en caliente

AASHTO. American Association of State Highway and Transportation Officials. Implementation Manual for Quality Assurance. Washington 1996.

AASHTO T-27

Tabla No 16: Porcentaje Pasando por Peso Mezcla en Caliente

Malla Tabla 703-3	Capa de Rodamiento S-I
3/4"	100
1/2"	85-100
3/8"	70-90
No.4	50-70
No.8	35-50
No.30	18-29
No.50	13-23
No.100	8-16
No.200	4-10
Espesor Mínimo recomendado de capa compactada (cm)	5

# Síntesis de especificaciones para mezcla asfáltica en caliente

Standar Specifications for Road and Bridge Construction,  
Department of Transportation, State of Georgia,  
Georgia, 1991

Tabla No 17: Plan de Aceptación de Mezclas (Sección 400.07.A.1)

ESPECIFICACIONES ESTANDAR									
ESTADO DE GEORGIA, 1993									
Contenido de Asfalto y Graduación de agregados de Mezclas Superficiales									
Promedio de Desviaciones de Diseños de Mezclas									
Características	Factor Pago	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Prueba 8
Contenido de Asfalto (Extracción)	1	0-0.7	0-0.54	0-0.46	0-0.41	0-0.38	0-0.36	0-0.32	0-0.30
	0.95	0.71-0.8	0.55-0.61	0.47-0.52	0.42-0.46	0.39-0.43	0.36-0.39	0.33-0.36	0.31-0.34
	0.9	0.81-0.9	0.62-0.68	0.53-0.58	0.47-0.51	0.44-0.47	0.40-0.45	0.37-0.40	0.35-0.37
	0.8	0.91-1	0.69-0.75	0.59-0.64	0.52-0.56	0.48-0.52	0.44-0.47	0.41-0.44	0.38-0.41
	0.7	1.01-1.19	0.76-0.82	0.65-0.69	0.57-0.61	0.53-0.56	0.48-0.51	0.45-0.17	0.42-0.44
0.5	1.20-1.40	0.83-0.85	0.7-0.72	0.62-0.64	0.57-0.59	0.52-0.55	0.18-0.51	0.45-0.48	
Contenido de Asfalto (Printout)	1	0-0.3	0-0.29	0-0.22	0-0.18	0-0.16	0-0.14	0-0.13	0-0.13
	0.95	0.31-0.34	0.27-0.29	0.23-0.25	0.19-0.20	0.17-0.18	0.15-0.16	0.14-0.15	0.14-0.15
	0.9	0.35-0.38	0.3-0.33	0.26-0.28	0.21-0.23	0.19-0.21	0.17-0.19	0.16-0.18	0.16-0.17
	0.8	0.39-0.42	0.34-0.36	0.29-0.31	0.24-0.25	0.22-0.23	0.20-0.21	0.19-0.20	0.18-0.19
	0.7	0.43-0.46	0.37-0.40	0.32-0.34	0.26-0.28	0.24-0.26	0.22-0.24	0.21-0.22	0.20-0.21
0.5	0.47-0.5	0.41-0.46	0.35-0.40	0.29-0.34	0.27-0.34	0.25-0.28	0.23-0.25	0.22-0.23	
3/8"	1	0-9	0-6.6	0-5.6	0-5	0-4.6	0-4.2	0-3.9	0-3.6
	0.98	9.1-10	6.7-7.5	5.7-6.3	5.1-5.6	4.7-5.2	4.3-4.7	4-4.4	3.7-4.1
	0.95	10.1-11.9	7.6-8.4	6.4-7	5.7-6.3	5.3-5.8	4.8-5.3	4.5-5	4.2-4.6
	0.9	12-13	8.5-9.3	7.1-7.7	6.4-6.9	5.9-6.3	5.4-5.8	5.1-5.4	4.7-5
	0.85	13.1-14	9.4-10.2	7.8-8.6	7-7.6	6.4-6.9	5.9-6.3	5.5-5.9	5.1-5.5
'B"Mod,"E"	0.8	14.1-14.5	10.3-10.5	8.7-8.9	7.7-8	7-7.5	6.4-6.8	6-6.4	5.6-6
	1	0-9	0-6.7	0-5.7	0-5.2	0-4.8	0-4.1	0-4.1	0-3.8
	0.98	9.1-10	6.8-7.6	5.8-6.3	5.3-5.8	4.9-5.4	4.2-4.6	4.2-4.6	3.9-4.3
	0.95	10.1-11.9	7.7-8.5	6.4-6.9	5.9-6.4	5.5-5.9	4.7-5	4.7-5	4.4-4.7
	0.9	12-13	8.6-9.4	7-7.5	6.5-7	6-6.5	5.1-5.5	5.1-5.5	4.8-5.1
0.85	13.1-14	9.5-10.2	7.6-8	7.1-7.6	6.6-7	5.6-5.9	5.6-5.9	5.2-5.5	
0.8	14.1-14.5	10.3-10.5	8.1-8.3	7.7-8	7.1-7.5	6-6.4	6-6.4	5.6-5.9	
No.4	1	0-7	0-5.6	0-4.8	0-4.3	0-4	0-3.4	0-3.4	0-3.2
	0.98	7.1-8	5.7-6.3	4.9-5.4	4.4-4.8	4.1-4.5	3.5-3.8	3.5-3.8	3.3-3.6
	0.95	8.1-9	6.4-7	5.5-6	4.9-5.3	4.6-4.9	3.9-4.2	3.9-4.2	3.7-3.9
	0.9	9.1-10.9	7.1-7.7	6.1-6.6	5.1-5.8	5-5.4	4.3-4.6	4.3-4.6	4-4.3
	0.85	11-12	7.8-8.5	6.7-7.2	5.9-6.1	5.5-5.8	4.7-5	4.7-5	4.4-4.6
0.75	12.1-12.5	8.6-8.8	7.3-7.5	6.5-6.8	5.59-6.3	5.1-5.3	5.1-5.3	4.7-4.9	
Todas las Mezclas excepto "D"	1	0-7	0-5.6	0-4.8	0-4.3	0-4	0-3.4	0-3.4	0-3.2
	0.98	7.1-8	5.7-6.3	4.9-5.4	4.4-4.8	4.1-4.5	3.5-3.8	3.5-3.8	3.3-3.6
	0.95	8.1-9	6.4-7	5.5-6	4.9-5.3	4.6-4.9	3.9-4.2	3.9-4.2	3.7-3.9
	0.9	9.1-10.9	7.1-7.7	6.1-6.6	5.1-5.8	5-5.4	4.3-4.6	4.3-4.6	4-4.3
	0.85	11-12	7.8-8.5	6.7-7.2	5.9-6.1	5.5-5.8	4.7-5	4.7-5	4.4-4.6
0.75	12.1-12.5	8.6-8.8	7.3-7.5	6.5-6.8	5.59-6.3	5.1-5.3	5.1-5.3	4.7-4.9	

## **§ Planes de Aceptación:**

### **A. Graduación y Contenido de Asfalto**

Las mezclas serán aleatoriamente muestreadas y probadas por el Ingeniero para la base de aceptación de un lote.

Un lote consistirá del número de toneladas de concreto asfáltico producido y colocado cada día de producción, sin embargo, si esta producción es menos de 500 toneladas, pueden ser incorporadas en el siguiente día de producción.

La Tabla 1 será usada para determinar la aceptación de todas las mezclas para superficie y la Tabla 3 será usada para determinar la aceptación de todas mezclas para capas internas. Las muestras para un lote de aceptación serán tomadas aleatoriamente. Menos del número de muestras especificadas serán tomadas, la aceptación se basará en el promedio de las desviaciones para la fórmula de trabajo del número de pruebas realizadas.

Si el promedio de la desviación de la fórmula de trabajo de las pruebas de aceptación del lote para una malla en particular, mallas o el contenido de asfalto excede las tolerancias establecidas en el plan de aceptación y si el Ingeniero determina que el material no necesita ser removido y reemplazado, el lote puede ser aceptado con un Precio Unitario ajustado y determinado por el Ingeniero.

Si el Ingeniero determina que el material no es aceptable para ser dejado en sitio, los materiales deberán ser removidos y reemplazados por cuenta del Contratista.

El factor de pago será determinado usando el promedio de las desviaciones de la fórmula de trabajo de las pruebas individuales en cada lote. Cualquier ajuste de factor de pago estará basado en el control de mallas y en el contenido de asfalto.

En Contratos por 1000 ton o menos de concreto asfáltico de cualquier tipo, la mezcla será aceptada por el 100% de pago en precio unitario del concreto asfáltico que cumpla lo siguiente:

1. Los requerimientos mínimos para el factor de pago de 1.00 para contenido de asfalto y un factor de pago de 0.90 para graduación en la Tabla 1 o Tabla 3 , cualquiera que sea aplicable.
2. Los requerimientos mínimos para un factor de pago de 0.90 en la Tabla 2.

#### **B. Compactación:**

La compactación de la mezcla determinada por GDT-39 o GDT-59, será aceptada en lotes definidos en el inciso A y deberán estar dentro de las fronteras del mismo lote como mezcla de aceptación. El promedio de la densidad del pavimento colocado dentro de cada lote será calculado por el promedio de los resultados de 5 pruebas seleccionadas aleatoriamente dentro del lote.

Si el promedio de la densidad del pavimento colocado dentro de cualquier lote no es igual o excede 97.5% de la densidad de diseño, y el Ingeniero determina que el material no necesita ser removido o reemplazado, el lote podrá ser aceptado a un precio unitario de pago ajustado, para ese lote se determinará multiplicando el precio unitario del Contrato por el factor de pago ajustado mostrado en la siguiente Tabla de Aceptación para Compactación:

**Tabla No 18: Tabla de Aceptación y Pago por Compactación (Sección 400.07.B.1)**

<b>Factor de Pago</b>	<b>% Densidad de Diseño</b> (Promedio de 5 pruebas)	<b>% Densidad de Diseño</b> (Promedio de 10 pruebas)
1	>97.5	>97.5
0.97	97-97.4	97.1-97.4
0.95	96.5-96.9	96-7-97
0.9	95.5-96.4	96-96.6
0.8	93.1-95.4	94.5-95.9
0.7	91.5-93.3	93.1-94.4
0.5	90-91.4	92-93





# Síntesis de especificaciones para mezcla asfáltica en caliente

Commonwealth of Puerto Rico.  
Department of Transportation and Public Works.  
Highway Authority. 1989.

## ESPECIFICACIONES ESTANDAR 401

### PUERTO RICO

Tabla No 20: Tabla de Pago para Contenido de Asfalto (Sección 401-5.02)

Desviación en Contenido de Asfalto del Valor de Diseño	Porcentaje de Reducción en precio Unitario
+ 0.4 %	0
+ 0.41 a 0.44%	3
+ 0.45 a 0.48%	6
+ 0.49 a 0.52%	10
> + 0.52%	Ver Art.2.07b y d

- § El pavimento será considerado deficiente en contenido de asfalto, graduación del agregado o densidad de compactación y será pagado aplicando un factor de reducción en el precio, de acuerdo a la Tabla 1, Tabla 2 y Tabla 3.

**Tabla No 21: Reducción en Precio Unitario por Graduación de Agregados  
(Sección 401-5.02)**

Mezcla caliente	Desviación en	Porcentaje de
Tamaño Malla	% Pas. Del Valor de Diseño	Reducción en Precio Unit.
3/4" B-1	$\pm 5.0$	0
L-1	+ 5.1 a 5.5	2
3/8" B-2	$\bar{-}$ + 5.6 a 6.0	4
L-2	$\bar{-}$ + 6.1 a 6.5	7
S-1	$\bar{-}$ + 6.6 a 7.0	10
3/8" S-2	más de $\bar{-}$ + 7.0	Ver Art.2.07c y d
No. 4	$\bar{-}$ + 5.0	0
	+ 5.1 a 5.5	2
	$\bar{-}$ + 5.6 a 6.0	4
	$\bar{-}$ + 6.1 a 6.5	7
	$\bar{-}$ + 6.6 a 7.0	10
	más de $\bar{-}$ + 7.0	Ver Art.2.07c y d
No.30	$\bar{-}$ + 4.0	0
	+ 4.1 a 4.5	2
	$\bar{-}$ + 4.6 a 5.0	4
	$\bar{-}$ + 5.1 a 5.5	7
	$\bar{-}$ + 5.6 a 6.0	10
	más de $\bar{-}$ + 6.0	Ver Art.2.07c y d
No.100	$\bar{-}$ + 3.0	0
	+ 3.1 a 3.3	3
	$\bar{-}$ + 3.4 a 3.6	6
	$\bar{-}$ + 3.7 a 3.8	10
	más de $\bar{-}$ + 3.8	Ver Art.2.07c y d

§ Si el agregado es deficiente en más de una malla, las reducciones en precio unitario por agregado deficiente será aplicado con base en la deducción mayor.

**Tabla No 22: Reducción en Precio Unitario por Densidad (Sección 401-5.02)**

% de Densidad lograda en Laboratorio	Porcentaje de Reducción en Precio Unit.
> 97	0
96 a 96.9	3
95 a 95.9	6
94 a 94.9	9
93 a 93.9	12
92 a 92.9	15
< 92	Ver Art. 2.07e

**Tabla No 23: Parámetros de Diseño Marshall**

Parametro	Valor	
Estabilidad (lbs)	1200	50 golpes
	1500	75 golpes
	3500	Otras mezclas
	4500	B-1, L-1
Flujo (25 mm)	8 - 16	
Estabilidad retenida	> 75%	
% Vacíos	4 - 9	B-1, L-1
	3 - 5	Otras mezclas
Polvo/asfalto	< 1.2	
VMA	Mínimo % de Vacíos	
1/2	14	
3/4	14	
1	13	
1 1/2	12	

**Tabla No 24: Tolerancias de la Mezcla**

<b>Parámetro</b>	<b>Tolerancia</b>
No. 4 y mallas mayores	+ 7 %
No.8 a No.100	+ 4 %
No.200	+ 2 %
Contenido Asfalto	+ 0.4 %
Temperatura mezcla	+ 6.6°C



## **B. Comparación entre Normas**

---

En esta sección del resumen de normas internacionales, se hace una comparación global entre los parámetros de control de calidad de mezcla asfáltica en que coinciden las diferentes normas.

Debido a las diferencias existentes entre las especificaciones de cada país se impide una comparación de mayores dimensiones.

También se incluye una comparación de las normas de rugosidad de la carretera para distintos países, entre ellos:

### **A. IRI**

- Chile
- España, Andalucía
- Estados Unidos
- Gran Bretaña

### **B. Coeficiente de Rozamiento Transversal**

- Bélgica
- Gran Bretaña
- Países Bajos
- Estados Unidos
- Francia
- Suiza
- Polonia
- California

### C. Coeficiente de Rozamiento Longitudinal

- Italia
- Alemania
- Japón
- Países bajos
- URSS
- Gran Bretaña





Tabla N° 25: Comparación General de Parámetros

Región	COSTA RICA	CHILE	PUERTO RICO	CALIFORNIA	FP-96	SUPERPAVE(2)	FLORIDA	ESPAÑA
Parámetro	1978	1997	1989	1995	1996	1996	1991	1989
<b>% Pas por peso total de agregado (1)</b>								
<b>MEZCLA DENSA</b>	25.4 mm				100	100	100	100
	19 mm	100	100	100	95-100	97-100	90-100	100
	12.5 mm	90-100	80-100	85-100	-	76-88	-	88-100
	9.5 mm	70-90	70-90	70-90	65-80	-	-	75-93
	No.4	50-70	50-70	50-70	49-54	49-59	-	47-75
	No.8	30-40	35-50	35-50	36-40	36-45	23-49 (34.6-34.6)	-
	No.10	-	-	-	-	-	(22.3-28.3)	31-53
	No.30	12-22	18-29	18-29	18-21	20-28	(16.7-20.7)	-
	No.40	-	-	-	-	-	-	19-35
	No.50	10-20	13-23	13-23	-	-	(13.7-13.7)	-
	No.80	-	-	-	-	-	-	7-21
	No.100	5-13	8-16	8-16	-	-	-	-
No.200	3-8	4-10	4-10	3-8	3-7	2-8	2-6	
<b>ESTABILIDAD (Kg)</b>	> 800		> 680		820			> 750
<b>FLUJO (1/100)</b>	20-40		20-40		20-35			
<b>% VACIOS</b>	3-5	3-5	3-5	3-5	3-5			4-8
<b>VMA (min)</b>	> 12		14		14			14

(1) La graduación de agregados corresponde a tamaños máximos de 19mm.

(2) La graduación SUPERPAVE define una zona de restricción (valores entre paréntesis)

**Tabla N° 26: Tolerancia para Pruebas de Control de Calidad**

Tamaño de Malla	Tolerancia % PASANDO		
	FLORIDA	PUERTO RICO	CALIFORNIA
25 mm	7	7	-
19 mm	7	7	5
12.5 mm	7	7	-
9.5 mm	7	7	6
No.4	7	7	7
No.8	-	4	5
No.10	5.5	4	-
No.30	-	-	4
No.40	7.5	4	-
No.80	3	4	-
No.100	-	4	-
No.200	2	2	2

**Tabla N° 37: Porcentaje de Pago por Compactación**

PUERTO RICO		FLORIDA		GEORGIA	
% Densidad (Laboratorio)	% PAGO	% Densidad (tramo de prueba)	% PAGO	% Dens.(5 pruebas) (Diseño)	% PAGO
> 97	100	> 98	100	> 97.5	100
96 a 96.9	97	97 < x < 98	95	97 a 97.4	97
95 a 95.6	94	96 < x < 97	90	96.5 a 96.9	95
94 a 94.9	91	< 96	75	95.5 a 96.4	90
93 a 93.9	88			93.1 a 95.4	80
92 a 92.9	85			91.5 a 93.3	70
< 92	rechazar			90 a 91.4	50

**Tabla N° 28: Valores de IRI de Diferentes Países.**

(IRI en m/km)

<b>CHILE</b>	<b>IRI</b>
Pav. Nuevos	2
Máximo	3.5
Carret.SecundARIA	4

<b>ANDALUCIA, ESPAÑA</b>	<b>Porcentaje tramo con IRI menor</b>		
Tipo de capa	50%	80%	100%
Rodadura	1.5	2	2.5
Base	2.5	3.5	4.5
Subbasae	3.5	5	6.5

<b>EEUU</b>	<b>IRI</b>
Carreteras principales	2.8 - 3.5
Carreteras secundarias	3.15 - 3.8

<b>GRAN BRETAÑA</b>	<b>IRI</b>
carreteras principales	2.9 - 3.5
Carreteras con pav. provisional	3.2 - 3.85

**Tabla N° 29: Valores de CRT de Diferentes Países**

CRT y CRL en mm

BELGICA	CRT
Autopistas y carreteras con más de 4 carriles (Vel. 80km/h)	0.45
Resto de las carreteras	0.45-0.50

GRAN BRETAÑA	CRT
Sitios peligrosos	0.55-0.75
Menor peligro	0.35-0.45

PAISES BAJOS	
Clasificación del pav.	CRT
peligroso	0.36
muy liso	0.36-0.40
liso	0.41-0.45
bastante liso	0.46-0.50
medio antiderrapante	0.51-0.55
antiderrapante	0.56-0.70
muy antiderrapante	0.7

EEUU	CRT
Zonas difíciles	0.55
Zonas fáciles	0.4

FRANCIA	CRT
Adherencia débil	< 0.50
Adherencia mediana	0.50-0.60
Adherencia satisfactoria	0.60-0.70
Adherencia excelente	> 0.70

SUIZA	CRT deseable	CRT min
Vel < 80 km/h	0.55	0.5
Vel > 80 km/h	0.6	0.55
Zonas difíciles (curvas de radio < 150m, pend. > 8%, cruces, puentes)	0.65	0.6

Continuación Tabla N° 30

POLONIA				
Clasificación global	Clasificación detallada	CRL	CRT	
Superficie				
Mala	Peligrosa	< 0.25		
	Muy deslizante	0.25 - 0.30		
	Deslizante	0.31 - 0.35	< 0.40	< 0.55
	Poco deslizante	0.36 - 0.40		
Satisfactoria (Aceptable)	Ligeramente deslizante	0.41 - 0.45	0.41 - 0.50	0.55 - 0.65
	Relativamente rugosa	0.46 - 0.50		
Buena	Rugosa	0.51 - 0.60	0.51 - 0.60	0.66 - 0.75
Excelente	Muy rugosa	> 0.61	> 0.61	> 0.75

ESTADO DE CALIFORNIA			
ZONA	CARACTERISTICAS	VELOCIDAD ENSAYO	CRT
A	Sitios difíciles. Glorietas, curvas de menos de 150m de radio en carreteras principales. Pendientes superiores al 5%. Zonas de proximidad a cruces y semáforos	50 km/h	0.55
	Sitios medios. Autopistas o carreteras principales. Vel < 95 km/h	50 km/h	0.5
		80 km/h	0.45
B	Carreteras con más de 2000 vehículos/día y zonas Urbanas	50 km/h	0.5
C	Sitios fáciles. Carreteras rectas con pendientes ligeras, sin intersecciones y tráfico sin problemas.	50 km/h	0.4

**Tabla Nº 31: Valores de CRL de Diferentes Países**

ITALIA	CRL
1 año después de las obras (min)	0.55
Después de un año	0.45

ALEMANIA	CRL
Vel. 40 km/h	0.42
Vel. 60 km/h	0.33
Vel. 80 km/h	0.26

JAPON	CRL
Aceptable	> 0.35
Puede abrirse al tráfico, pero hay que reparar en caso de accidente	0.28 - 0.35
Rechazable	< 0.28

PAISES BAJOS	CRL
Pavimentos nuevos	> 0.51
Máximo	0.56

URSS (1977)			
CONDICIONES	SECCION TIPO DE LA CARRETERA	CRL	
		INICIAL	FINAL
Vel 60 km/h			
Fácil	Curvas con un radio min. 1000m y en pendiente < 3% elementos de sección transversal estrictamente de acuerdo con el tipo de la carretera, arceles reforzados intersecciones a desnivel.	0.45	0.35
Difícil	Curvas horizontales con un radio entre 250 y 1000 m, en pendientes ascendentes y descendentes, pend. De 3 a 6%, tramos del camino con violentos estrechamientos.	0.45	0.4
Peligrosa	Menor visibilidad que la de proyecto, pendientes ascendentes y descendentes que excedan a las del proyecto, áreas de intersecciones a nivel y cruces a desnivel con caminos de enlace.	0.6	0.5

**Tabla N° 32: Coeficiente de Rozamiento Transversal (CRT) exigidos en Gran Bretaña en Función del Índice de Riesgo**

LUGARES	DEFINICION	INDICE DE RIESGO
Muy difíciles	Acceso a semáforos en carreteras con velocidades límite de más de 65 km/h. Accesos a semáforos, cruces de peatones y otros puntos parecidos en vías arteriales urbanas. Accesos a peajes en autopistas.	5 - 9
Difíciles	Accesos a intersecciones importantes en carreteras con más de 250 vehículos pesados por carril y día. Intersecciones giratorias y sus accesos. Curvas de radio menor a 150 m con velocidad límite superior a 65 km/h. Pendientes superiores al 5% de más de 100mde longitud.	4 - 7
Medios	Secciones rectas normales de autopistas, carreteras nacionales y otras con más de 250 vehículos pesados por carril y día.	2 - 5
Fáciles	Secciones rectas de carreteras con tráfico ligero	

INDICE DE RIESGO	CRT mínimo
9	0.75
8	0.7
7	0.65
6	0.6
5	0.55
4	0.5
3	0.45
2	0.4
1	0.35

---

# Anexo

---



## 1. Fuente de materiales

Los agregados que son destinados a la producción de mezcla asfáltica, sea cual sea su procedencia, deben pasar por un riguroso proceso de experimentación, que incluye los siguientes ensayos de laboratorio:

**Tabla 1.1. Características y pruebas en los agregados para mezclas asfálticas en caliente, según la NAPA.**

Características	Significado	Prueba
Dureza	Resistencia a la abrasión y degradación; calidad de las partículas	ASTM C 131 ASTM C 535
Sanidad	Resistencia al congelamiento y al deshielo; húmedo y seco	ASTM C 88 AASHTO T 103
Forma de las partículas y textura de la superficie	Fricción interna de la estructura mineral, resistencia al deslizamiento; compactación; estabilidad de la mezcla	ASTM D 3398 ASTM D 4791 ASTM C 1252
Resistencia al pulido	Resistencia al deslizamiento y al desgaste superficial	ASTM D 3319 ASTM E 303 ASTM E 660 ASTM D 3042
Durabilidad	Resistencia al efecto de la erosión y al intemperismo.	ASTM D 3744

Resistencia al desnudamiento	Resistencia al efecto del agua. Desprendimiento de partículas, fisuras, pérdida de capacidad estructura (módulo resiliente).	ASTM D 1664 NCHRP 246; 274 AASHTO T 283 ASTM D 1075 AASHTO T 182
Gravedad específica y absorción de agua	Cálculos para diseño de mezcla; durabilidad, uniformidad de los agregados.	ASTM C 127 ASTM C 128
Graduación y tamaño	Resistencia de la mezcla, estabilidad, trabajabilidad, resistencia a la fatiga, resistencia a la fractura, durabilidad, permeabilidad, vacíos, compactabilidad y resistencia a la deformación permanente (roderas).	ASTM D 2041 ASTM D 4469
Composición mineral	Mojabilidad, porosidad, sensibilidad al efecto del agua, durabilidad a largo plazo.	ASTM C 117 ASTM C 136 y C 702 AASHTO T 30
		ASTM C 294 ASTM C 295
Limpieza y sustancias contaminantes	Resistencia a la erosión y efectos del agua.	ASTM C 117 y D 422 ASTM C 123 ASTM C 142 ASTM D 2419 ASTM D 4318

Fuente: Hot Mix Asphalt Materilas, Mixture Design and Construction, NAPA, pag 137

- Tipo de roca, caracterizándola geológica, fisico-mecánica y petrográficamente.
- Espesores.

- Buzamiento.

En caso de utilizarse material proveniente de un río, es necesario realizar esta misma caracterización periódicamente. Además se debe incluir una granulometría del río.

## **2. Quebrador**

Las características físicas de un agregado, como la resistencia a la abrasión, son determinadas en primera instancia por las propiedades de la roca de la cual procede. Sin embargo, el proceso de explotación en el quebrador puede afectar significativamente la calidad del agregado, por la eliminación de capas de roca débil y por el efecto de quebrado en la forma de la partícula y graduación del agregado.

Casi todas las canteras tienen una capa de material que debe ser eliminado de la roca sana original. La sobrecarga consiste típicamente de suelo y roca descompuesta. La línea de demarcación entre la roca sana y la alterada, a veces es difícil de establecer.

### **2.1 Operaciones en la cantera**

El propósito básico de una operación de cantera es remover la roca sana existente por voladuras y posteriormente utilizar una serie de quebradores, pulverizadores, y unidades de tamizaje para separar los materiales en un suficiente número de componentes para producir los materiales de construcción deseados para la mezcla asfáltica. También es preferible que la producción de agregado quebrado es esencialmente de forma cúbica evitando la producción de partículas planas o elongadas.

En el proceso primario se emplea un quebrador de mandíbula y en el secundario, un quebrador cónico. Las unidades de quebrado se seleccionan en función de los siguientes propósitos:

1. Producir el tamaño y la forma de agregado deseado, a partir del material.
2. Tener suficiente capacidad para manejar las demandas máximas de agregados.
3. Minimizar los atascamientos y los taponamientos.
4. Manejo seguro del material que no se quiebra, como acero.
5. Requiere un personal mínimo
6. Satisface los requerimientos de agregado sin la necesidad de etapas de quebrado adicional y equipo auxiliar.
7. Proveer menor demanda de energía por tonelada producida.
8. Resiste el deterioro de la abrasión.

La sobrecapa de suelo debe eliminarse y lavarse, antes de iniciar la operación de extracción de la roca de la cantera. Luego de la extracción de la roca, se debe prestar atención en las rocas más degradadas en grietas o en otras ubicaciones, debido a que esta se rompe en tamaños más pequeños que deben eliminarse antes del triturado mediante un tamizado. El resto de material pasa al quebrador primario en donde se quiebra en un tamaño manejable para los quebradores posteriores. Es necesario un sistema de cribado para separar el material en los diferentes tamaños requeridos y para separar las partículas de mayor tamaño a que se deben reintegrar al quebrador.

En el proceso de quebrado es muy importante que las propiedades finales del producto sean uniformes. Se requiere que la roca madre de donde se alimenta el quebrador sea uniforme en sus propiedades físicas como absorción y gravedad específica. Si la roca proviene de diferentes lugares, las propiedades pueden variar produciendo problemas en mantener una relación de vacíos consistente en

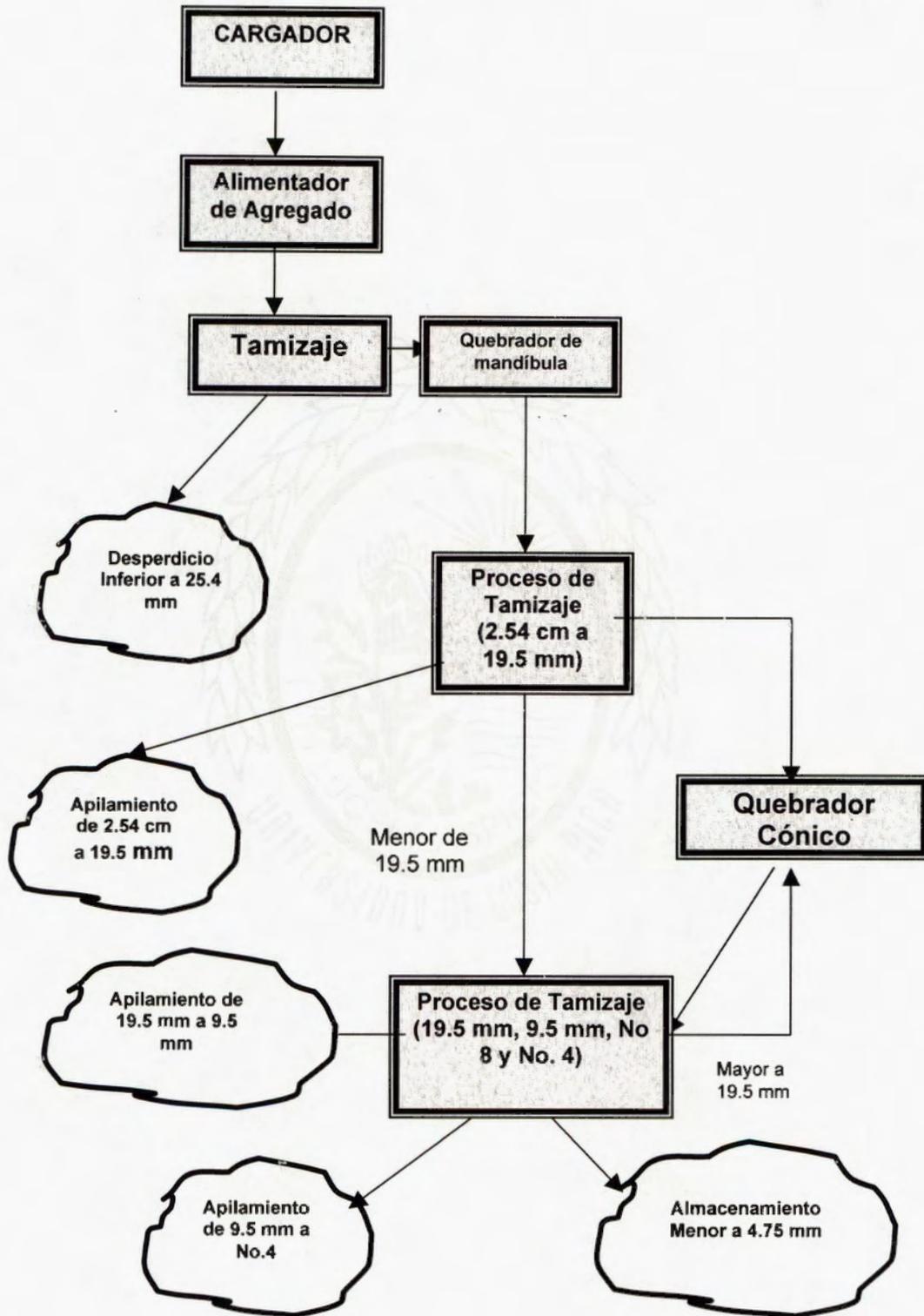
la mezcla. La cantidad de material que alimenta al quebrador debe mantenerse constante, un sobreflujo de material resulta en un producto final con una graduación más fina.

El proceso de reducción de la roca involucra cuatro mecanismos:

- Impacto
- Fricción
- Cortante
- Compresión

El impacto se desarrolla debido al golpe de un objeto puntiagudo mediante la fuerza gravitacional o impacto dinámico. La fricción genera la reducción de la roca mediante el contacto con dos superficies más duras. El cortante ocurre como resultado de una acción de partir o recortar. Usualmente el cortante se relaciona con otro mecanismo, como el impacto o la compresión. La compresión se refiere a la reducción mediante fuerzas compresivas entre dos superficies. Los rompedores de mandíbula emplean fuerzas de compresión y son el sistema más eficiente para reducir partículas de grandes dimensiones de roca muy dura y abrasiva.

Figura 2.1: Proceso Simplificado de Quebrado y tamizado para tamaño máximo de 25.4 mm



Se debe realizar un control en la producción para:

- Establecer los ensayos y su frecuencia
- Certificado de calidad de la producción
- Pesaje

### **3. Apilamientos en planta**

- Número de apilamientos
- Forma de los apilamientos
- Volumen de cada apilamiento

Los apilamientos de forma cónica tienden a segregar las partículas y los de gran tamaño suelen dar como resultado granulometrías más dispersas.

Los materiales se apilan por separado según sus diferentes tamaños, antes de incorporarlos a una planta de asfalto. Esto reduce la probabilidad de segregación, porque el material de cada pila tiene tamaño más uniforme.

Las técnicas mostradas en los siguientes cuadros permiten la uniformidad del material y reducen significativamente la segregación de los apilamientos de material.

Cuando se construyen los apilamientos, el material debe tener un control permitido en cuanto a:

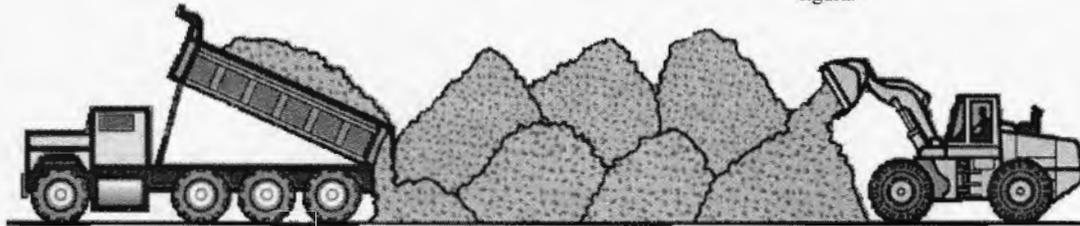
- Granulometría
- Gravedad específica (Gbs)
- Absorción
- Humedad

**Figura 3.1: Forma correcta para construir apilamientos**

**Forme varios apilamientos pequeños**

Descargue el agregado en cantidades no mayores que la que lleva un camión

Forme apilamientos que permanezcan en su lugar, según se muestra en esta figura.



**Forme apilamientos en capas**

Utilice capas horizontales



Tractor y banda transportadora

Utilice capas en pendiente

Pendientes menores a 3:1

No descargue pendiente abajo

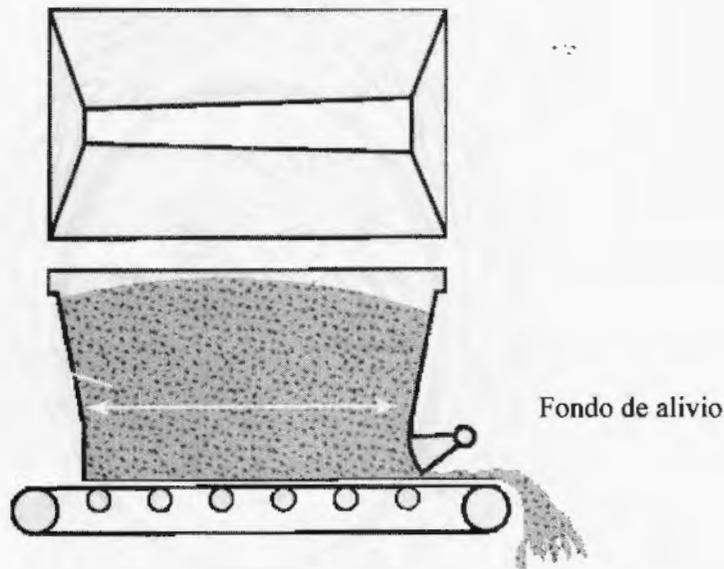


Fuente: Segregación, causas y soluciones, pág 6, ASTEC

## 4. Tolvas

Cuando se producen obstrucciones en las tolvas, resulta en una alimentación no uniforme y se pueden generar problemas de segregación. Es importante utilizar un fondo con alivio que propicie una alimentación más uniforme del material por la abertura de la tolva de alimentación.

**Figura 4.1: Tolva con fondo de alivio**



Fuente: Segregación, causas y soluciones, pág 7, ASTEC

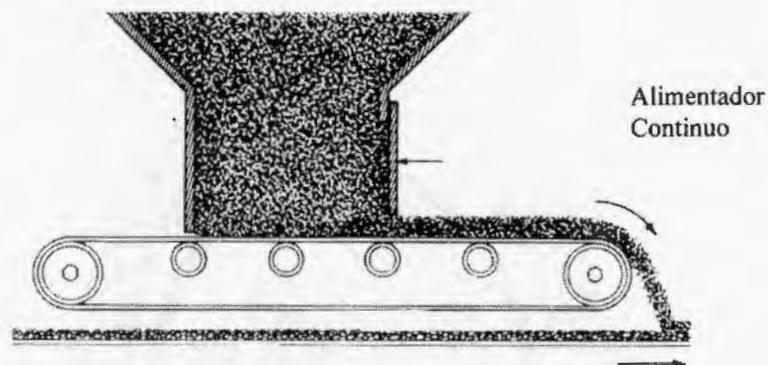
### 4.1 Tipos de alimentadores y controles

Los alimentadores de agregado se ubican en las cercanías de los apilamientos. Su función es garantizar un flujo de agregado uniforme. Las unidades alimentadoras tienen controles que pueden ser manipulados para producir un flujo

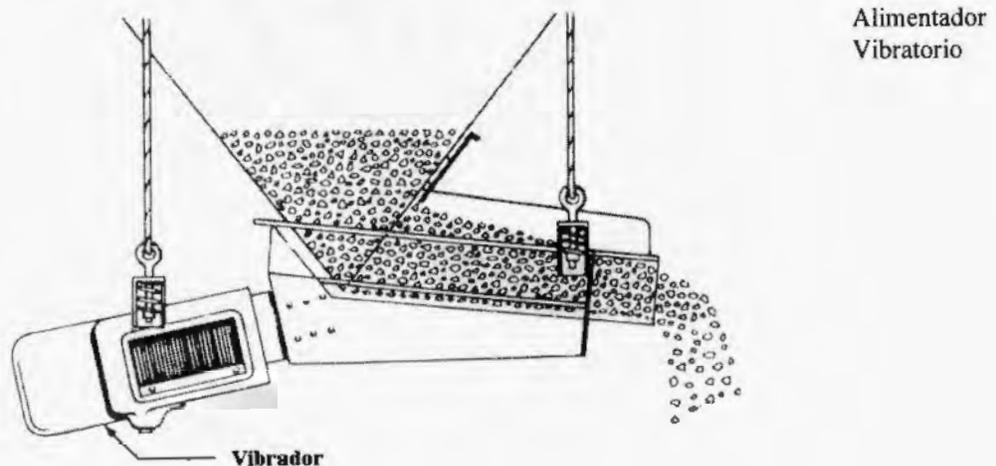
uniforme a la banda transportadora. Hay muchos tipos de alimentadores, incluyendo los continuos, los vibratorios y los de delantal.

Para una uniforme salida de la mezcla, la entrada de los materiales debe ser cuidadosamente determinada. La importancia del alimentador es suplir las cantidades exactas de agregado de acuerdo con el diseño de mezcla vigente.

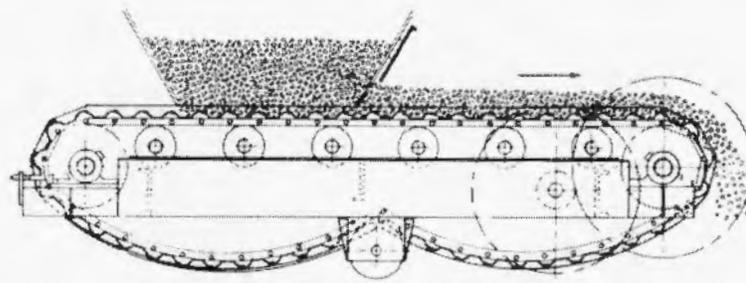
**Figura 4.2: Tipos de alimentadores**



Fuente: The Asphalt Handbook, Asphalt Institute, pág 182



Fuente: The Asphalt Handbook, Asphalt Institute, pág 182



Alimentador  
de Delantal

Fuente: The Asphalt Handbook, Asphalt Institute, pág 183

En esta etapa del proceso debe mantenerse un control en los siguientes parámetros:

- Granulometría
- Porcentaje de Humedad
- Uniformidad de salida de la tolva
- Llenado de las tolvas

El llenado de las tolvas debe ser permanente para reducir problemas de falta de uniformidad en el flujo de descarga y reducir cualquier posibilidad de segregación por esto.

## 5. Almacenamiento del asfalto

El almacenamiento del asfalto en las instalaciones debe ser lo suficiente para mantener uniforme la operación de producción durante el funcionamiento de la planta.

El almacenamiento del asfalto debe contar con un dispositivo para que la cantidad de material remanente en el tanque pueda ser determinada en cualquier momento. Los tanques deben estar equipados con un termómetro que posea un dispositivo de registro cuya capacidad sea al menos de 24 horas, ya sea en un gráfico directamente o una computadora.

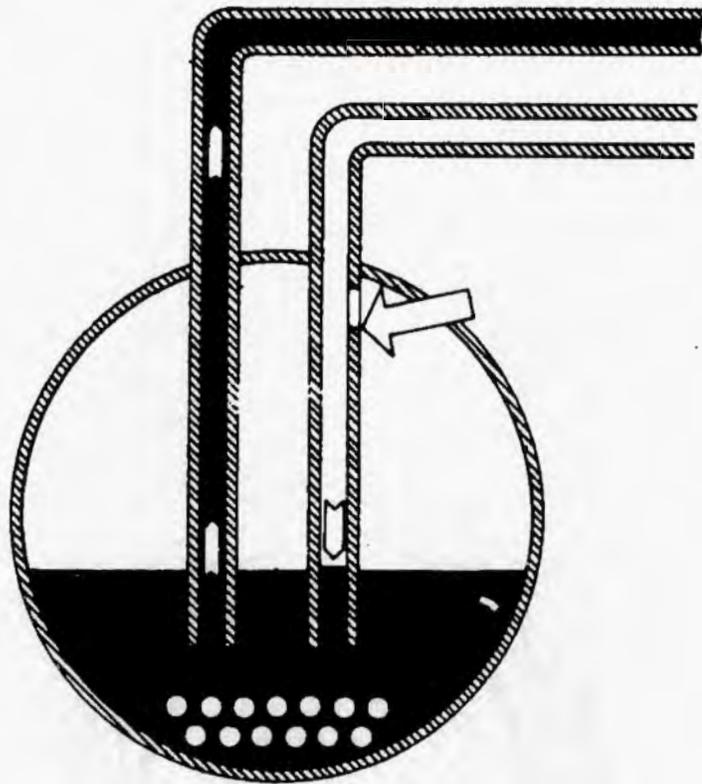
### **5.1 Calentamiento del asfalto y circulación**

El asfalto debe estar lo suficientemente fluido para moverse a través de las líneas de alimentación y de retorno. En ese momento debe ser calentado. El calentamiento debe ser generado por circulación de corriente o aceite caliente en el tanque.

Todos los tanques de almacenamiento, líneas de transferencia, bombas y dispositivos de peso deben tener espirales de calentamiento para mantener el asfalto a la temperatura adecuada.

Las líneas que descargan en el tanque de almacenamiento deben ser sumergidas abajo del nivel del asfalto todo el tiempo, para prevenir la oxidación del ligante.

**Figura 5.1: Sistema de carga/descarga del asfalto**



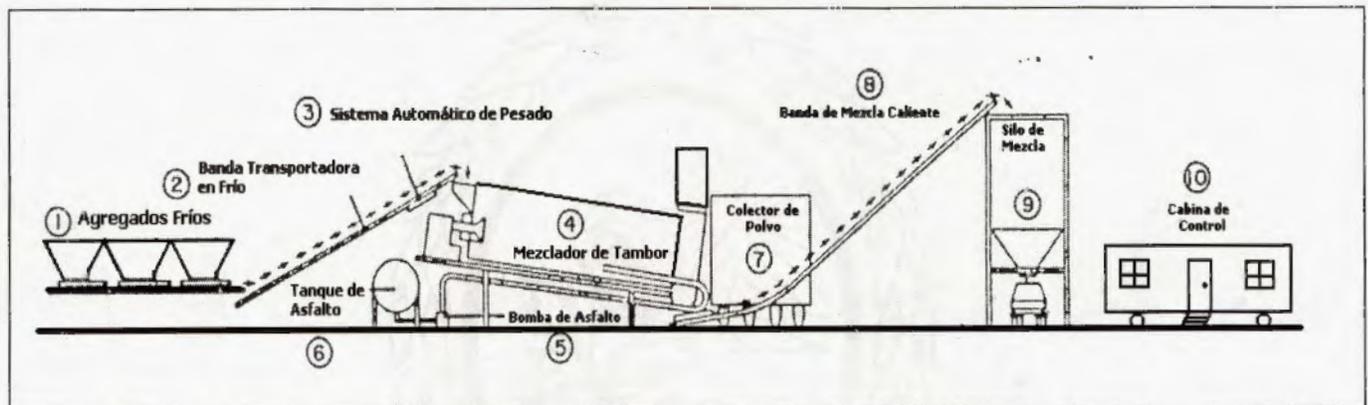
Fuente: The Asphalt Handbook, pág 190

## **6. Plantas Continuas**

La figura 6.1 muestra las instalaciones de una planta asfáltica continua. De acuerdo con lo mostrado, los agregados son llevados desde los apilamientos hacia las tolvas. El número de tolvas depende del número de agregados utilizados en el diseño de mezcla. La mayoría de las plantas usualmente utilizan entre 4 y 5 tolvas. En algunas plantas, las tolvas tienen un vibrador, el cual permite un flujo de agregado constante a la salida de la tolva, la cual está ubicada en la parte inferior. En esta salida también hay una compuerta, a la cual se le puede ajustar su abertura, y así poder dejar pasar la cantidad adecuada de agregado. Este agregado es llevado hasta el secador por medio de una banda transportadora, a la cual se le puede variar su velocidad, lo cual también ayuda a regular la cantidad

de agregado que sale de cada tolva y así poder cumplir con la graduación que especifica la fórmula de trabajo. Esta banda transportadora posee un sistema de pesado automático, el cual envía información al cuarto de control y determina la cantidad de material y humedad que va ingresando en el mezclador de tambor. La corrección del peso debido a la presencia de humedad se lleva a cabo determinando el contenido de humedad en el apilamiento o en el agregado que va en el transportador y ese dato se alimenta en la computadora del cuarto de control y así obtener datos del peso del agregado preciso.

**Figura 6.1: Planta asfáltica continua**



Fuente: Hot Mix Asphalt Materials, Design and Construction, NAPA, pág 314

### 6.1 Tambor mezclador

El agregado entra en el tambor y empieza a moverse hacia abajo, por la inclinación del tambor, debido por la acción de la gravedad. Sin considerar la variable humedad, el tiempo en que los agregados están en el tambor depende de su longitud, del ángulo de inclinación, de la velocidad de rotación y del tamaño del agregado.

Habitualmente los tambores utilizan la relación 4:1 en cuanto a su longitud y ancho. El diámetro del tambo es el primer elemento de diseño que afecta la velocidad de la producción. En la siguiente tabla se muestra como afecta el diámetro del tambor la producción:

**Tabla 6.1: Tasa de producción de mezcla asfáltica para distintos porcentajes de humedad**

Tipo de Tambor Mezclador	Diámetro del Tambor (m)	Volumen máximo (metros cúbicos por minuto)	Tasa de Producción para Varios Porcentajes de Humedad, Toneladas por Hora (*)					
			3	4	5	6	8	10
Flujo Paralelo	6	794	286	233	196	169	131	106
	7	1092	390	318	267	230	178	145
	8	1419	511	416	350	301	234	190
	9	1802	648	528	444	382	297	240
	10	2227	802	654	550	473	367	298
Contraflujo	6	794	322	262	221	190	148	119
	7	1092	439	358	301	259	200	163
	8	1419	575	468	394	339	263	214
	9	1802	730	595	500	430	334	270
	10	2227	903	736	619	533	413	336

Fuente: Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction, NAPA, pag 319

(\*) 1 tonelada = 1364 kg

(\*\*) Cuando los agregados son porosos y se encuentran en un alto nivel de saturación (alto contenido de humedad), la producción horario se ve afectada por el proceso adicional de secado que requieren los agregados.

Las paletas de mezclado son de metal y están diseñadas para el control del movimiento de los agregados cuando pasan por el tambor. El **primer grupo** de paletas es configurado a un ángulo de paso relativo a la longitud del tambor para poner los agregados abajo en el tambor y lejos de la llama. Si los agregados penetran la llama cerca del punto de entrada, puede ocurrir el fenómeno de llama intermitente, lo cual causa la combustión ineficiente y por consiguiente algo del combustible quedará sin quemar y será absorbido por los agregados. Capas delgadas de combustible no quemado, pueden ocasionar la reducción de la adhesividad entre los agregados y el cemento asfáltico.

El **segundo grupo** de paletas levanta los agregados y los hace pasar a través de la cabeza de gases calientes, debido al movimiento de rotación del tambor. En este punto del proceso, se inicia el secado de los agregados.

Las **paletas de mezclado** están localizados justamente después de la mitad del tambor. Están diseñados para levantar el agregado con el cemento asfáltico, mezclándolos por la acción de giro.

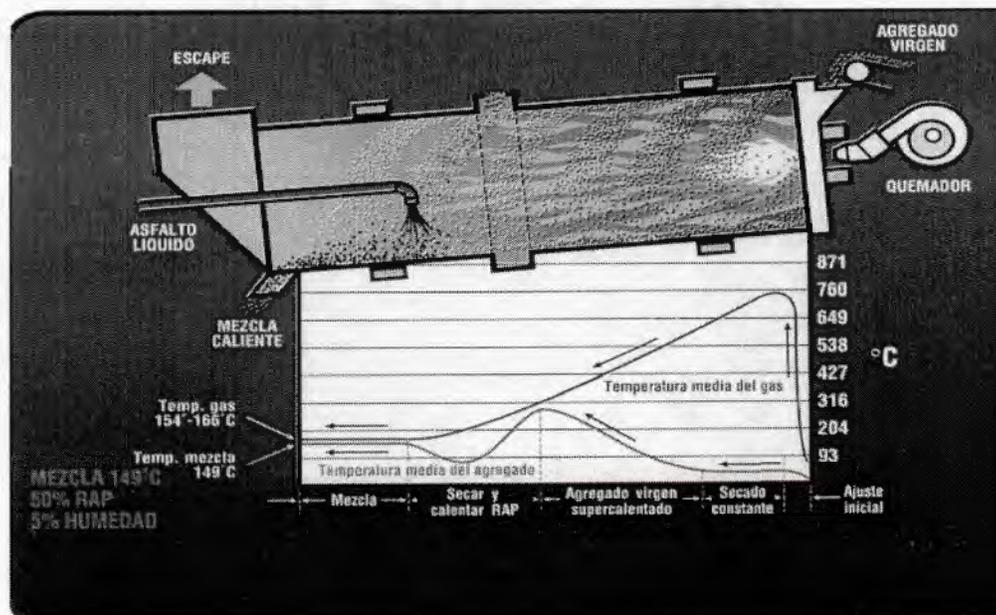
### 6.1.1 Tipos de tambor mezclador

El tipo de tambor mezclador está definido por la forma en que se acercan los agregados al quemador. Según esto, existen los dos tipos básicos de tambor mezclador, que se describen a continuación:

#### 6.1.1.1 Tambor mezclador de flujo paralelo

En este tipo de tambor, la entrada de los agregados se hace directamente en el punto en donde se ubica el quemador, como se muestra en la figura 6.2. En este diagrama, se incluye el diagrama de temperaturas típico de un tambor de esta clase.

Figura 6.2: Tambor mezclador de flujo paralelo

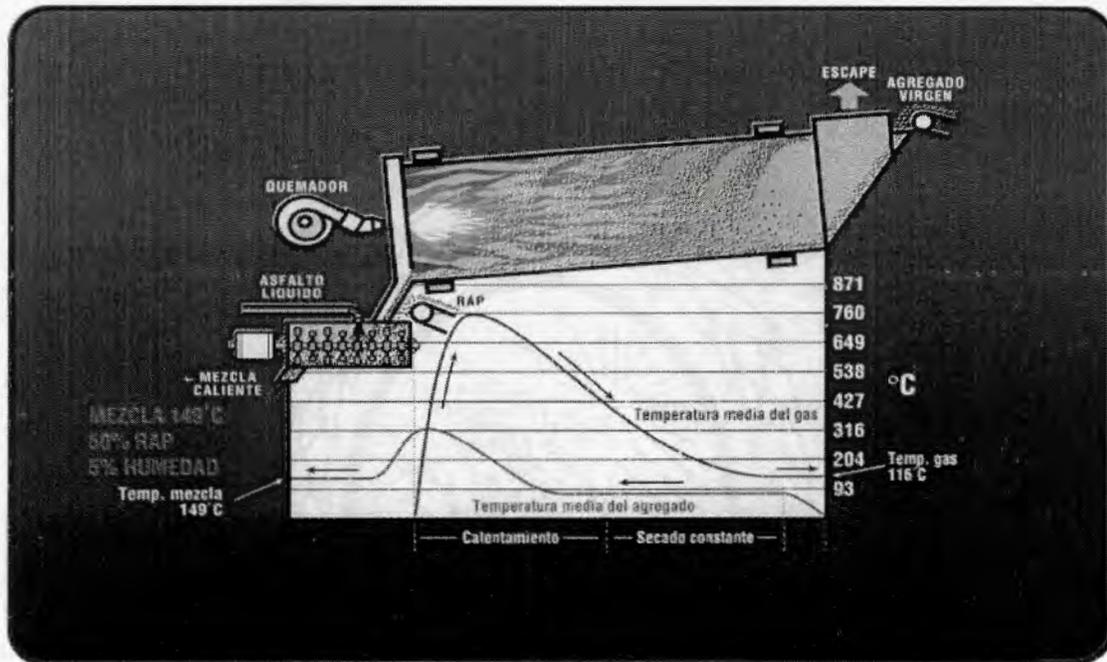


Fuente: Folleto Contenido de Asfalto, ASTEC

### 6.1.1.2 Tambor mezclador de contraflujo

En este tipo de tambor mezclador los agregados entran por un extremo al mismo, en el punto opuesto a la ubicación del quemador, como se indica en la figura 6.3:

Figura 6.3: Tambor mezclador de contraflujo



Fuente: Folleto Contenido de Asfalto, ASTEC

## 6.2. Quemadores

Es importante entender como opera el proceso de combustión porque es un factor muy importante desde el punto de vista de costo y eficiencia. El combustible es quemado para proveer la energía calórica para evaporar el agua de los agregados y lleva la mezcla a la temperatura de mezclado.

En los quemadores de aire forzado, el 100% del aire es atrapado adentro del quemador. El aire es forzado a través de un área restringida, hasta un punto en el cual se suministra el combustible.

Otro tipo de quemador utilizado es el reclutador de aire. Este, tiene un dispositivo que se encuentra en el lado final del quemador y toma de ahí el 79% del aire que se utilizará para la combustión.

El tipo de quemador que se utiliza en la producción de mezcla asfáltica en caliente incluye ambos tipos de quemadores, para formar así un híbrido. En la mayoría de los casos, el 70% del aire es inducido y el 30% es forzado.

Para minimizar el costo de la producción de cada tonelada de mezcla asfáltica, el operador debe concentrarse en los factores que afectan los costos de energía. Estos factores incluyen la humedad del agregado y escapes en la corriente de aire en cualquier lugar entre el sistema de retorno de finos y el quemador.

### 6.3 Proceso de secado y calentamiento

En la figura 6.4, se indica cual es el proceso básico de entrada del aire en un quemador.

Figura 6.4: Alimentación de aire en el quemador

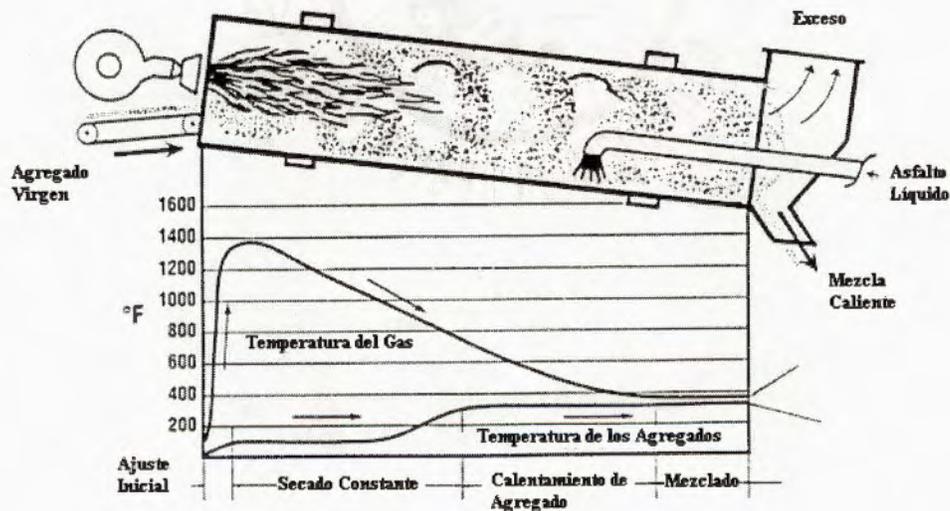


Según el tipo de alma del quemador la temperatura excede los 1371 °C y como el aire inducido empieza a fluir alrededor de la flama su temperatura se incrementa rápidamente hasta cerca de los 760 °C. A esta temperatura se secan los agregados.

El perfil de temperatura del agregado tiene tres componentes. La primera zona, el ajuste inicial, el agregado es calentado hasta cerca de los 38 °C, pero a un punto en el cual empieza a evaporar el agua de la parte superior de los agregados. La segunda zona, **secado constante**, es la zona en la cual ocurre mayor evaporación del agua, y en la cual el agregado es calentado entre 82 y 93 °C.

La tercera zona, el agregado se calienta a temperaturas más altas, es la zona en donde se lleva al agregado a la temperatura de mezclado. Cerca del final de la tercera zona es en donde se bombea el asfalto y se mezcla con el agregado caliente.

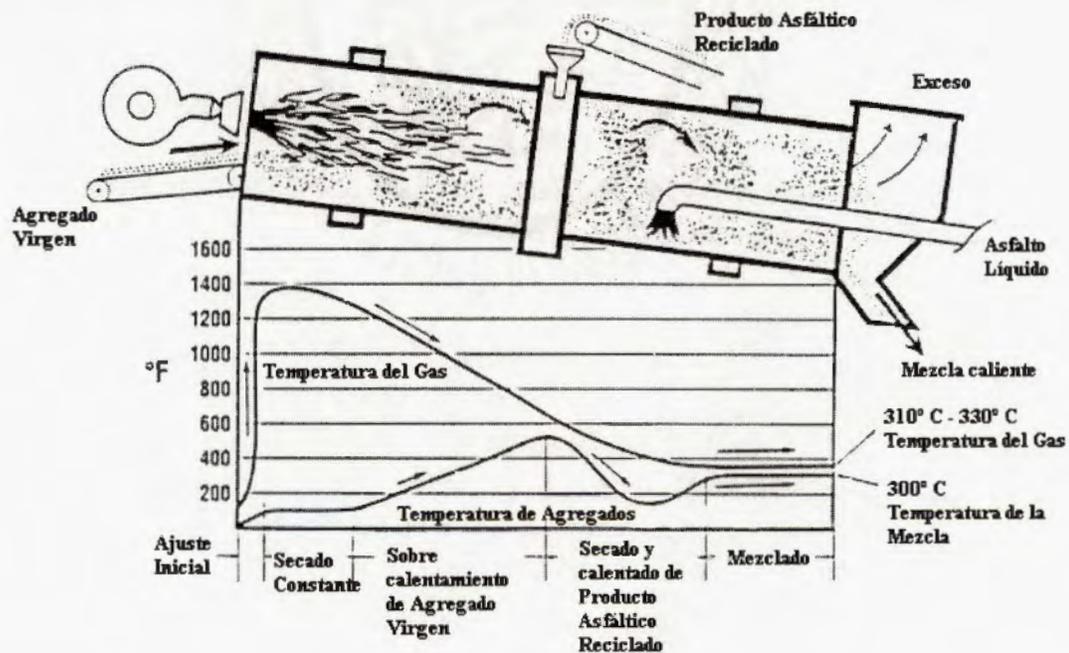
**Figura 6.5: Diagrama de temperaturas en quemador**



El perfil de temperatura de la columna de aire aumenta rápidamente desde cerca de los 760 °C y entonces decrece hasta la temperatura en la cual se transfiere el calor en el tambor. En la zona de mezclado, las temperaturas del agregado y de la columna de gases difiere entre 6 a 17 °C. Una eficiente operación de la mezcla asfáltica en caliente debe generar una diferencia máxima entre la temperatura de descarga de la mezcla y la de la columna de gases menor o igual a los 25 °C.

Si la planta tiene sistema de reciclado, el perfil de temperatura es bastante diferente con la zona de secado constante, mucho más pequeña. El agregado virgen es mantenido en la zona caliente del tambor y es supercalentado a una temperatura de cerca de 260 °C. Paletas de mezclado son ubicadas en la parte central para incrementar el tiempo de mezclado del agregado en la primera mitad del tambor. El agregado supercalentado es utilizado para calentar el 50% del RAP y desarrolla un perfil de temperatura como el que se indica a continuación.

**Figura 6.6: Diagrama de temperaturas en quemador en sistema RAP**



La transferencia del calor dentro del tambor ocurre mediante tres procesos distintos:

- Convección
- Conducción
- Radiación

#### **6.4. Inyección del cemento asfáltico**

El ligante asfáltico es introducido en la parte de atrás del tambor. El diámetro de la tubería de la bomba ronda entre los 5 y los 10 cm. El asfalto es bombeado dentro del tambor en su parte inferior y no mediante un spray de boquilla.

#### **6.5 Sistema alimentador de finos**

El filler mineral es manejado por la planta de mezcla asfáltica en caliente por un silo vertical. El filler fluye hacia fuera del silo por gravedad dentro de un alimentador en la parte inferior del mismo.

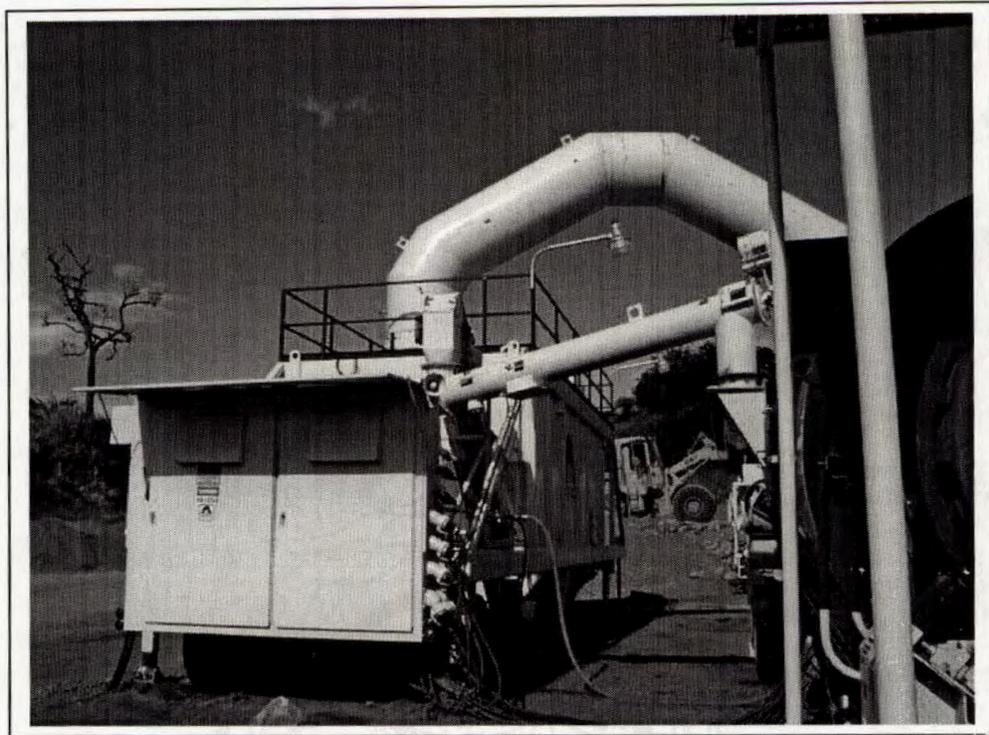
Existen los siguientes tipos de filler:

- natural
- de aportación (procedente de trituración de agregados)
- cemento
- cal

El filler mineral puede ser descargado en la parte superior o inferior del punto de descarga del cemento asfáltico.

En adición a los fillers comerciales, los finos del sistema de retorno pueden ser re-alimentados con sistemas de control de polución. El sistema de retorno se llena con filtros a través de los cuales se da el flujo de los materiales. El material recolectado por la cámara de finos es aceptable para el retorno al tambor de mezclado.

**Fotografía 6.1: Sistema de retorno de finos**



Fuente: Planta de constructora de carreteras costarricense

yyyyy

## **7. Plantas de bache**

En la figura 7.1, se muestran los componentes de una planta asfáltica tipo bache.

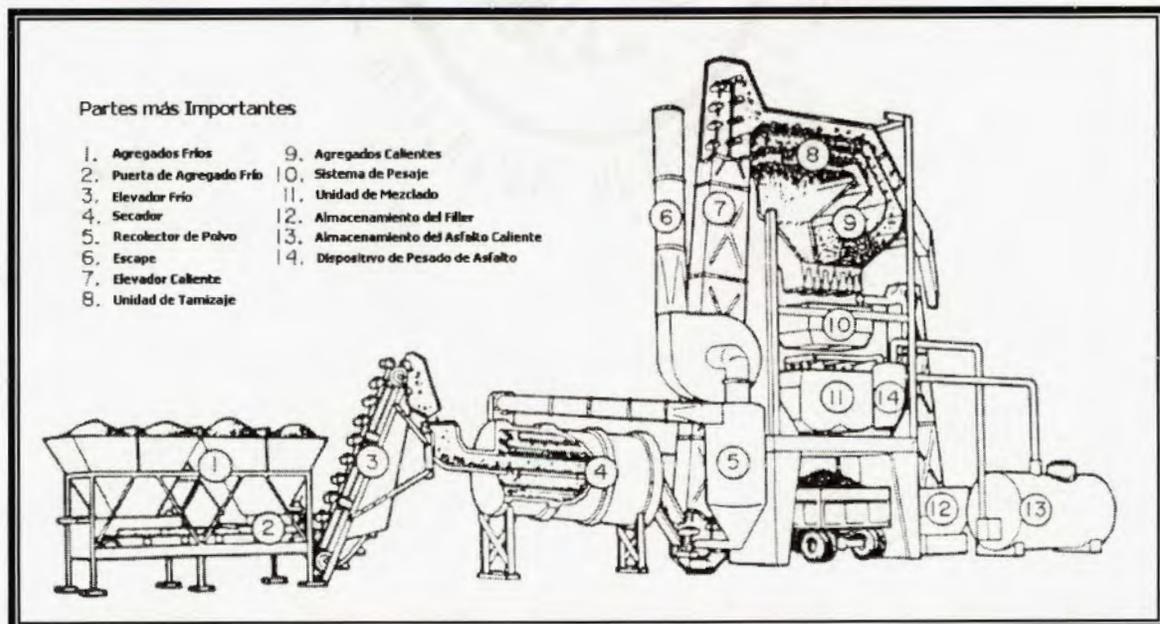
En este tipo de plantas, las tolvas de agregados fríos, con su sistema de compuertas de abertura ajustable, así como el sistema de transporte de los agregados (bandas y elevadores), son similares a los de las plantas asfálticas continuas.yyy

La primera diferencia se presenta en que las plantas continuas tienen un sistema automático de pesado, ubicado en el transportador de agregados fríos provenientes de las tolvas. El material es alimentado por el transportador dentro del secador.

El diseño del secador de una planta asfáltica de bache es de **tipo contraflujo**, es decir, los agregados se mueven dentro del tambor secador en sentido contrario al de los gases de escape (se mueven hacia la llama). El secador tiene un quemador que provee la energía calórica necesaria para evaporar la humedad en los agregados y elevarles la temperatura hasta la temperatura de descarga, la cual oscila entre 140 y 150 °C. Los agregados calientes salen del secador y se llevan hasta la parte alta de la torre de la planta mediante un elevador de cangilones cerrado. Los gases calientes que salen del secador, que también llevan polvo, son conducidos a través de un sistema recolector de polvo, para así poder cumplir con los requerimientos en materia de control de emisiones al ambiente. El polvo recolectado es retornado hacia el elevador de cangilones o un silo de filler y así es reintroducido dentro de la mezcla asfáltica caliente en la forma que se requiera.

La torre de la planta asfáltica contiene una serie de componentes que tamizan, almacenan, dosifican por peso, mezclan y descargan la mezcla asfáltica en las vagonetas o en un silo de almacenamiento.

**Figura 7.1: Esquema de funcionamiento de una planta de bache**



Fuente: Hot Mix Asphalt Materials, Design and Construction, NAPA, pág 317

El gráfico anterior muestra las principales partes de una planta de bache.

Los agregados calientes que vienen en el elevador de cangilones son descargados en unas mallas vibratorias, que están diseñadas para separar los agregados en un número de tamaños determinados, que luego se ubican en tolvas de material caliente. Estos agregados se mezclan en determinadas cantidades para producir la mezcla asfáltica. El material se separa utilizando las mallas vibratorias, en las cuales, el de mayor tamaño que no cumple, se saca de la torre. Los demás tamaños de agregados son almacenados en las tolvas de la torre (tolvas para material caliente).

El sistema de control que dosifica los agregados calientes provenientes de las tolvas, utiliza una caja de pesado que está montada sobre un juego de romanas. Estos agregados calientes se introducen al tambor y se les agrega el cemento asfáltico caliente en forma de spray. Este cemento asfáltico previamente ha sido pesado mediante un mecanismo similar al que se utiliza para los agregados calientes.

El tambor secador se diseña de tal forma en que se cubran los agregados con el cemento asfáltico de la forma más rápida y eficiente.

Una vez terminado este proceso, la mezcla asfáltica caliente se descarga directamente en las vagonetas o sino es transferido a un silo de almacenamiento.

### **7.1 Secador de agregado**

Típicamente los secadores de agregado en las plantas de bache son de **contador de flujo**, por ejemplo, el agregado entra frío en el secador en el lado opuesto del quemador y fluye en oposición a la columna de gas.

La temperatura de la columna debe ser mayor que el punto de rocío si el sistema de control de polución incluye un sistema de retorno de finos.

El secador también está equipado con paletas longitudinales de mezclado las cuales levantan el material y lo tiran en cascada a través de la columna de gases caliente. La temperatura de los agregados en el secador es el primer factor que determina la temperatura de la mezcla.

## 7.2 Quemador

Los quemadores de plantas de bache tienen características similares a los de las plantas de flujo continuo.

**Fotografía 7.1 Quemador de planta asfáltica**



Fuente: Planta de Constructora Sánchez - Carvajal

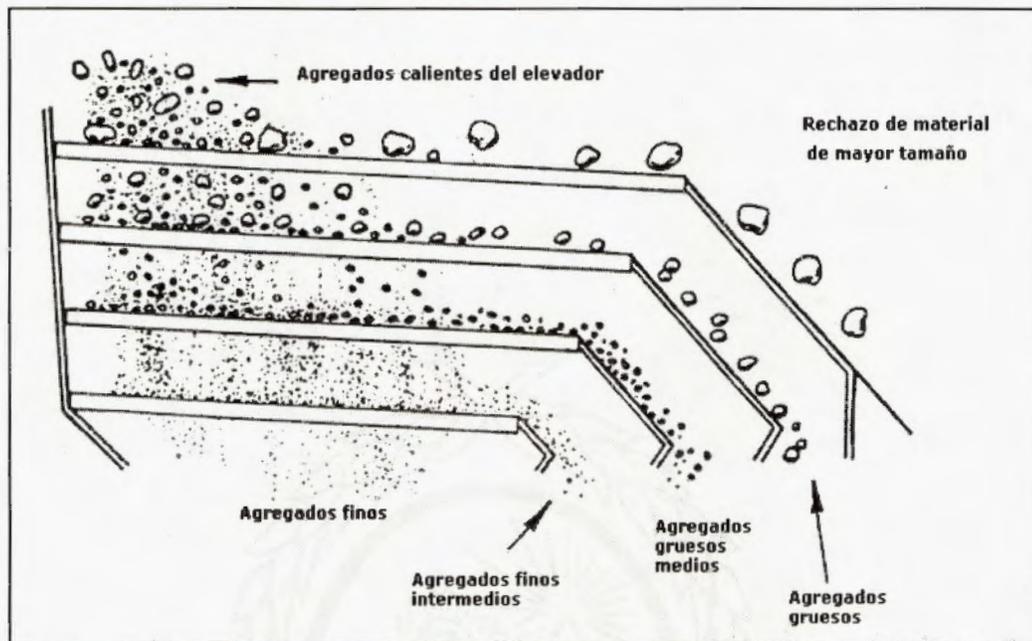
### **7.3 Cámara de tamizaje vibratorio**

Los agregados calientes son descargados en la zona de pantallas calientes vibradoras. En la primer pantalla ocurre el tamizado de los materiales, y en cada pantalla se presenta un proceso similar. También en esta área se pueden agregar dos tipos de material más: Filler y productos asfálticos para reciclado.

El área superficial de las pantallas calientes debe ser balanceada con la salida del secador, las proporciones del alimentador de agregado frío y la capacidad del mezclador. Si los materiales del alimentador de agregados están fuera de proporción con la cantidad de material requerida de cada uno de los tamaños, entonces algunos cajones pueden estar sobrecargados y otros infra-cargados. Los problemas que genera la mala proporción de agregados pueden producir el rechazos grandes de alguno de los diferentes tamaños de agregados. Debe procurarse un buen balance de la curva granulométrica con los agregados de apilamientos para evitar que el rechazo de alguno de los tamaños sea mu alto y por tanto el proceso pierda eficiencia.

Los cajones calientes deben ser largos para almacenar suficiente material que permita al mezclador operar en toda su capacidad. Tubos de sobreflujo deben ser ubicados en cada uno de los cajones para ayudar a eliminar el exceso de material en sus correspondientes tamaño máximo.

**Figura 7.2 : Cámara de tamizaje de planta continua**



Fuente: Hot Mix Asphalt Materials, Design and Construction, NAPA, pág 329

#### **7.4 Mezclador**

El mezclador está diseñado para mezclar el material lo suficiente para cubrir completamente el agregado con cemento asfáltico. El tiempo de mezcla tiene que ser el mas pequeño posible, de modo que se cumpla la función anterior. El tiempo del período de mezclado lo indica la norma AASHTO T195 o ASTM D2489.

Consiste en dos cámaras de mezclado, mangas de conteo-rotacional con palas al final, para hacer la función de mezclado. Las palas están configuradas para proveer la máxima eficiencia en el mezclado. El tamaño del lote debe ser consistente con la tasa de cubrimiento del agregado con el ligante.

## **7.5 Sistema de control de calidad del aire**

Las unidades de secado e implementos del tambor contienen una pequeña cantidad de polvo en la columna de gas. La cantidad de polvo es función de la cantidad de material y peso que está siendo secado, la velocidad del aire de secado, y en el caso de algunas mezcladoras de tambor, la presencia de cemento asfáltico que cubre las partículas pequeñas y las mantenga en el tambor y fuera de la columna de gas.

## **7.6 Colectores secos primarios**

Hay dos sistemas de colectores primarios actualmente en uso, la *caja eliminadora* y el *colector centrífugo*.

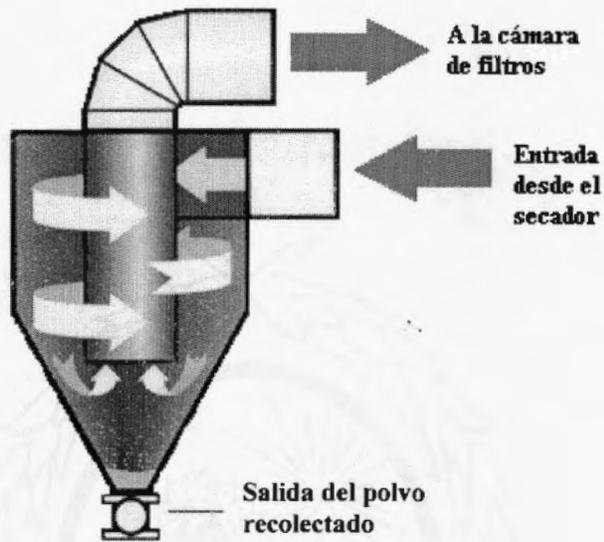
La caja eliminadora es simplemente una extensión de la cámara de secado en donde el incremento del área implica una disminución de la velocidad de los gases. Con la reducción de la velocidad, las partículas de mayor tamaño y acumuladas en la parte inferior del quemador lo cual se puede utilizar para las partículas de polvo para ser concentradas en un punto central. Este material puede ser eliminado o reinsertado en el mezcla asfáltica.

El colector centrífugo tiene una entrada tangencial la cual fuerza el polvo más pesado hacia afuera de la pared donde se viene hacia abajo, y se ubica en el fondo del secador y puede ser desechado o reinsertado en la mezcla asfáltica en caliente.

Lo que queda de la columna de gases se dirige hacia el equipo de control remanente de polución.

Figura 7.3

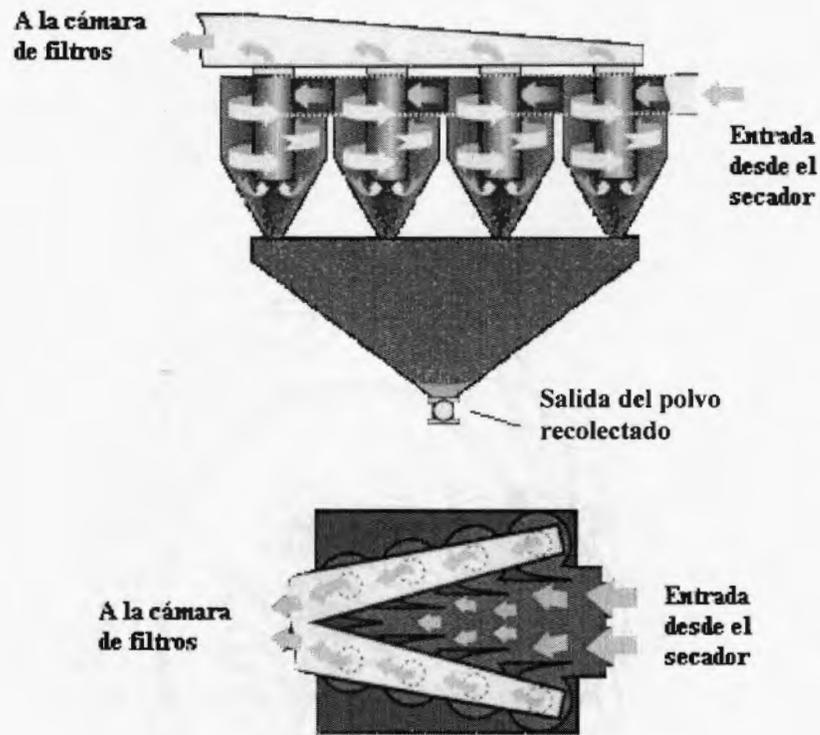
### Colector de Polvo de Ciclón Único



Fuente: Folleto Control de finos, ASTEC

Figura 7.4:

### Colector de Conos Múltiples



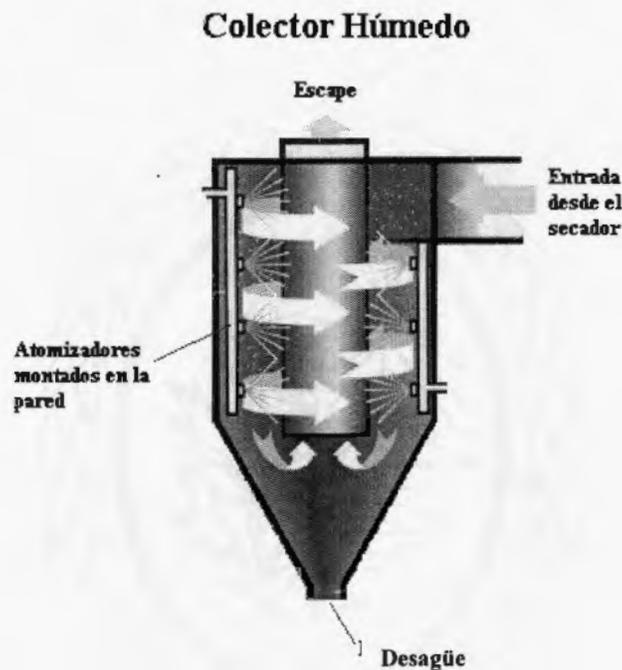
Fuente: Folleto Control de finos, ASTEC

### 7.7 Colectores húmedos

Los colectores húmedos operan según el principio de que la columna de polvo puede ser forzada a caer del aire por el incremento del peso de las partículas de polvo, mediante la adición de pequeñas gotas de agua. Para minimizar la cantidad de agua que se va a utilizar y aumentar la concentración de partículas de polvo se reduce el área del ducto de trabajo.

Existen también estanques separadores, que separan el polvo del agua y reducen el volumen total del agua a emplear por re-circulación. Típicamente los colectores tienen varios estanques en los que el agua se va limpiando del polvo conforme pasa de un lado a otro.

**Figura 7.5: Colector húmedo**



Fuente: Folleto Control de finos, ASTEC

### **7.8 Cámara de filtros (Retorno de finos)**

Los sistemas de retorno de finos son muy eficientes y pueden remover cerca del 99% del polvo contenido en la columna de gases. Los principios operacionales del sistema de retorno de finos son muy simples. La carcasa externa del tambor no gira.

La nube de gases y polvo son separados por un filtro que atrapa el polvo en un lado pero que permite pasar el aire limpio. El tamaño del sistema de retorno de finos depende del volumen de aire que va a filtrar. Típicamente un sistema de retorno de finos consta de 300 a 800 bolsas separadoras.

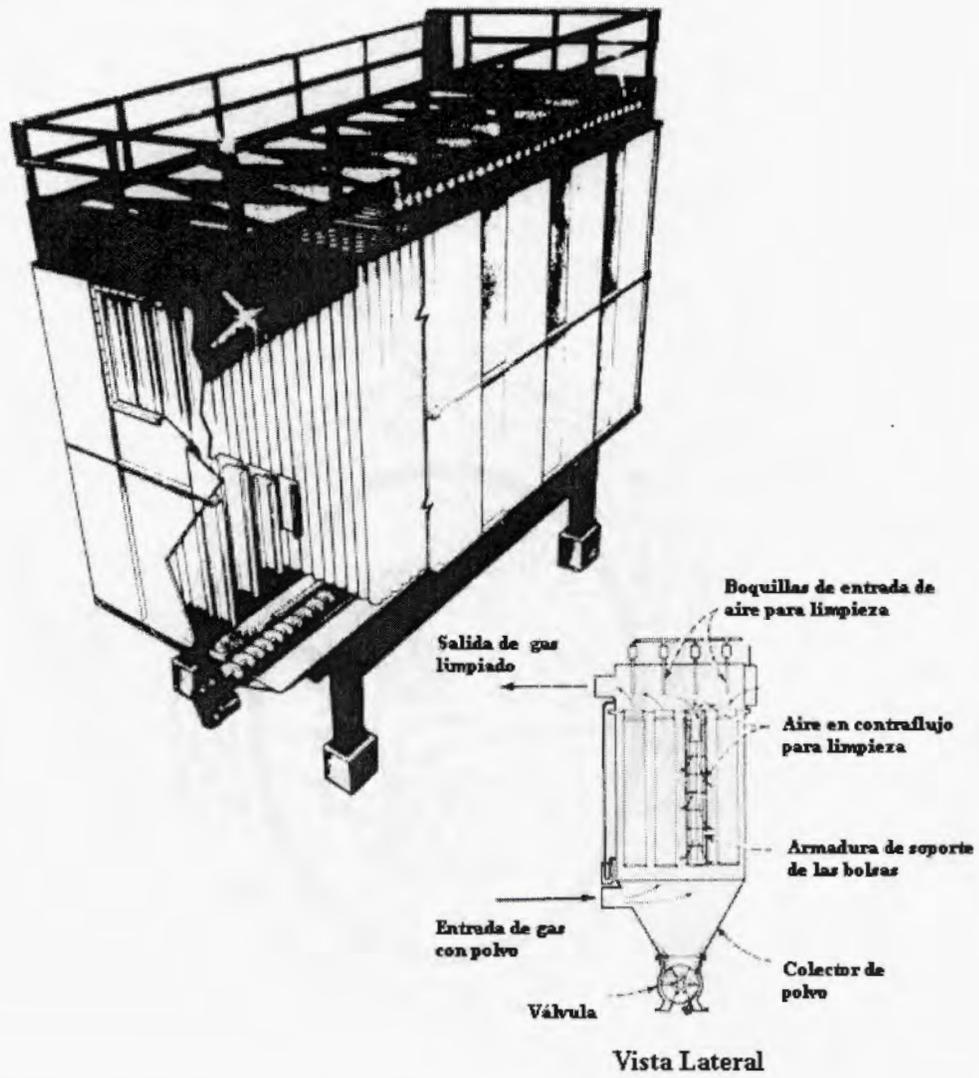
La columna de gases es quebrada a través del ducto de trabajo del colector primario al frente del primer set de bolsas de filtro. Conforme pasa a través del proceso, las partículas de polvo son atrapadas en la parte de afuera, y el aire limpio continua hasta que es eliminado hacia la parte exterior.

Las partículas de polvo en la parte exterior de las bolsas van construyendo un conglomerado de partículas. Como este conglomerado está acumulándose en la parte exterior de las bolsas, impide que pase el aire y detiene el proceso de clarificación del aire, por lo tanto, periódicamente debe eliminarse este conglomerado.

El proceso anterior es acompañado habitualmente por el agitado de las bolsas, lo cual se hace generalmente con un compresor de aire. El proceso mencionado se puede ajustar dependiendo de dos mecanismos accionadores: indicadores de tiempo y sensores de presión. Los indicadores de tiempo ajustan el tiempo y los sensores de presión agitan cuando la presión sobre la bolsa lleva a cierto valor.

La eficiencia del colector de finos es afectada por distintos factores. Si ha sido ajustado correctamente y se le ha dado un mantenimiento apropiado, el parámetro operativo más importante es la presión en las bolsas. La presión es una medida de la resistencia al flujo a través de las bolsas.

Figura 7.6: Cámara de filtros



Fuente: The Asphalt Handbook, Asphalt Institute, pág 186

## 8. Propuesta de control de calidad y requerimientos del laboratorio de planta

### 8.1 Personal de control de calidad del contratista

La cantidad de personal requerido para efectuar el control de calidad de una planta asfáltica varía de empresa a empresa, según la forma como se diseñan los procesos y la variabilidad de éstos, todo en función de la producción. El personal de control de calidad se convierte en el brazo técnico que debe asegurar a la compañía el cumplimiento permanente de los estándares de la calidad.

**Tabla 8.1: Número de personas asignadas al control de calidad de acuerdo con la producción de la empresa (\*)**

Producción	hasta 1500 ton/día	Producción entre 1500 y 3000 ton/día	Producción sobre 3000 ton/día
Tipo de Trabajador	<ul style="list-style-type: none"><li>• Técnico de Control de Calidad</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Asistente de Control de Calidad</li><li>• Técnico de Control de Calidad</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Asistente de Control de Calidad</li><li>• Técnico de Control de Calidad</li><li>• Supervisor de Control de Calidad</li></ul>
Número	1 a 2	3 a 4	5 o mas

(\*) Estos son números que sirven de referencia, pues finalmente hay que adecuarlo a cada empresa y proceso constructivo.

Los técnicos deben ser capaces de desarrollar todos los ensayos de laboratorio que son requeridos para el control de calidad. Además, debe saber realizar las pruebas rutinarias del control de calidad de la mezcla asfáltica en caliente.

También el técnico debe ser capaz de realizar diseños de mezcla asfáltica y evaluar nuevas fuentes de material.

Algunas ventajas de un programa de control de calidad son las siguientes:

1. Asegura la calidad de la materia prima con que se va a iniciar el proceso de producción.
2. Asegura la calidad de cada una de las etapas del proceso de producción.
3. Asegura el cumplimiento de las especificaciones contractuales.
4. Permite el cobro oportuno del 100% de la producción , sin reducción de precio.
5. Evita demoras en la ejecución de los proyectos.
6. Implica un uso eficiente de los recursos destinados a la producción.

### **8.1.1 Descripción de las funciones del personal**

#### **8.1.1.1 Superintendente de la planta**

El superintendente de planta es el responsable por tomar las medidas que sean necesarias para corregir los procedimientos operativos que afectan la calidad. Es el responsable por lo siguiente:

1. Asegurarse que se cumple con los requerimientos de calidad de la materia prima (agregados, asfaltos aditivos)
2. Llevar un manejo, técnicamente correcto, de los apilamientos (carga, descarga y control de humedad)
3. Apoyarse en el laboratorio de planta y mantener bajo control todas las etapas del proceso.
4. Supervisar que todo el sistema de mezclado funcione y esté bajo control permanente: temperaturas, alimentación de tolvas, dosificación en panel de control, dosificación de bandas de alimentación, control de humedad)

5. Constatar visualmente y por medio de resultados de laboratorio, la calidad de la mezcla que se está produciendo.
6. mantener bajo control el sistema de pesaje y despacho de la mezcla.
7. Brindar toda la información requerida por el ingeniero Supervisor de la planta y por el funcionario responsable del aseguramiento de la calidad.

#### **8.1.1.2 Supervisor de control de calidad**

El supervisor de control de calidad deberá ser capaz de desarrollar todas las pruebas y cálculos requeridos para producir la información de la fórmula de trabajo, estar familiarizado con los procedimientos estándar y las especificaciones de la mezcla asfáltica en caliente, y debe ser capaz de establecer los procedimientos de prueba, interpretarlos y presentar los resultados, y debe supervisar el trabajo de laboratorio y del personal de control de calidad de campo. También debe verificar el cumplimiento de las especificaciones, y hacer los ajustes necesarios para mantener la mezcla dentro de las tolerancias, y es el responsable por el entrenamiento de los técnicos de campo.

Debe asegurarse de que se realicen todos los ensayos que el plan de calidad de la empresa para cada una de las etapas del proceso.

#### **Requisitos del supervisor de control de calidad**

La persona aceptada para esta posición debe ser elegible por haber adquirido entrenamiento respectivo de control de calidad de plantas asfálticas, incluyendo la construcción y actualización de los gráficos de control.

Debe tenerse en cuenta que este funcionario asumen responsabilidades muy relevantes y es pieza clave en el esquema de aseguramiento de la calidad de la

empresa. Por tanto, Su capacitación y nivel académico debe estar en concordancia con estas exigencias.

### **8.1.2 Técnico de control de calidad**

El técnico de control de calidad debe desarrollar todas las pruebas de control de calidad requeridos por el control de calidad. Deberá muestrear y evaluar los materiales que provienen de la fuente de agregados, monitorear el almacenamiento de los agregados en los apilamientos, ajustar los alimentadores de agregado para ajustarlos a lo que requiere el proceso de producción y realizar todos los ensayos que requiere el control de calidad del proceso, tanto para los agregados como para la mezcla.

#### **Requisitos del técnico de control de calidad:**

Este funcionario es un técnico de laboratorio que debe tener la capacitación suficiente que le permite la ejecución correcta de las siguientes actividades en un laboratorio:

1. Revisar que todo el equipo se encuentre en perfectas condiciones para realizar los ensayos.
2. Mantener en orden y con la limpieza que se requiere en un laboratorio.
3. mantener ordenadamente toda la papelería e información manejada.
4. Realizar correctamente los muestreos.
5. Realizar correctamente los ensayos de caracterización de agregados para mezclas asfálticas.
6. Llevar a cabo los ensayos que se requieren para un diseño de mezcla.
7. Realizar todos los ensayos de control de calidad de la mezcla asfáltica.

### **8.1.3 Operador de planta**

El operador de planta debe tener conocimiento de los siguientes aspectos:

1. Funcionamiento general del proceso de producción.
2. Conocimiento de las partes que conforman la planta y las características de cada unidad como parte de todo el proceso de producción.
3. Del diseño de mezcla, la fórmula de trabajo y de cómo afectan las diferentes partes del proceso y la dosificación de los componentes, la calidad de la mezcla.
4. La sensibilidad de las principales parámetros respecto a la calidad de la mezcla: temperatura, humedad, contenido de asfalto, granulometría, etc.
5. Los parámetros con los que se determina la uniformidad y se controla la calidad de la mezcla.
6. Los detalles operativos de la central de control para la operación de la planta.
7. Del sistema de mantenimiento de la planta.

### **8.1.4 Inspector del comprador**

El inspector del comprador debe conocer y verificar la ejecución del control de calidad de la empresa expendedora de la mezcla asfáltica. Las funciones específicas de este inspector están en función del esquema de control de calidad y pago de obra con que se ejecute el proyecto.

## **8.2 Programa de entrenamiento para el control de calidad**

Hay varias formas en las cuales una persona puede recibir entrenamiento en el control de calidad de la mezcla asfáltica. Ninguna de estas reemplaza la experiencia en el trabajo, la cual es la experiencia de entrenamiento más

frecuente. Sin embargo, el entrenamiento en el trabajo puede ser limitante, pues no siempre abarca todos los temas que debe confrontar un técnico.

El entrenamiento mediante clases formales y el estudio hacen capaz al técnico promedio de acelerar su experiencia y su capacidad para abordar un mayor rango de problemas.

### **8.2.1 Elementos de un programa de entrenamiento**

Los siguientes son los ensayos que debe dominar un técnico de laboratorio de pavimentos:

- Conceptos básicos de muestreo aleatorio
- Humedad del agregado
- Equivalente de arena
- Límites de Atterberg
- Gravedad específica y absorción
- Durabilidad
- Muestreo del agregado
- Ensayos de granulometría
- Temperatura de la mezcla asfáltica en caliente
- Pruebas para determinar el contenido de asfalto
- Compactación de especímenes de laboratorio
- Gravedad específica bruta
- Gravedad específica máxima teórica
- Desarrollo de la fórmula de trabajo de la mezcla y diseño de mezcla
- Control de los alimentadores de agregado
- Operaciones de planta y manejo del panel de control
- Ensayos Marshall (estabilidad y flujo)
- Ensayos de durabilidad de la mezcla (resistencia retenida y Tensión diametral retenida)

- Reportes y registros de resultados

### **8.3 Ensayos de Rutina para el Control de Calidad en los laboratorios de campo**

Los laboratorios de campo deben ser equipados para desarrollar pruebas a diario y semanalmente, o cuando se requieren resultados casi inmediatamente en el control de calidad del proceso.

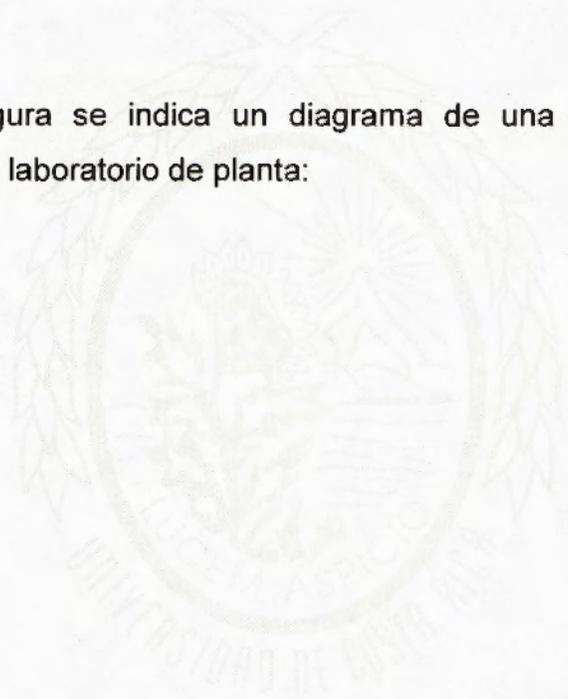
Las pruebas mínimas que se deben realizar en el laboratorio de campo son las siguientes:

1. Muestreo aleatorio de los materiales de construcción (ASTM D3635)
2. Muestreo de materiales bituminosos (AASHTO T40, ASTM D140)
3. Muestreo de muestras bituminosas (AASHTO 168, ASTM D979)
4. Muestreo de agregados (AASHTO T2, ASTM D75)
5. Contenido de humedad de los agregados por secado (AASHTO T 255, ASTM C566)
6. Análisis granulométrico de agregado fino y grueso (AASHTO T27, ASTM C136)
7. Material más fino que la malla No. 200 por lavado (ASTM T11, ASTM C117)
8. Gravedad específica y absorción de agregado grueso (ASTM T85, ASTM C 127)
9. Gravedad específica y absorción del agregado fino (AASHTO T84, ASTM C128)
10. Gravedad específica máxima del material bituminoso (AASHTO T209, ASTM D2041)
11. Preparación de las mezclas compactadas.
  - a. Resistencia al flujo plástico utilizando el aparato Marshall (AASHTO T245, ASTM D1559)
  - b. Preparación de especímenes de mezclas bituminosas por el compactador giratorio de cortante (ASTM D4013), si se diseña por Superpave.

12. Espesor de especímenes bituminosos compactados. (ASTM D3549)
13. Gravedad específica de mezclas bituminosas compactados usando especímenes con superficie saturada seca. (AASHTO T166, ASTM D2726)
14. Extracción del bitumen
15. Análisis mecánico del agregado extraído (AASHTO T30)
16. Humedad o destilados volátiles en las mezclas bituminosas (AASHTO T110, ASTM 1461)

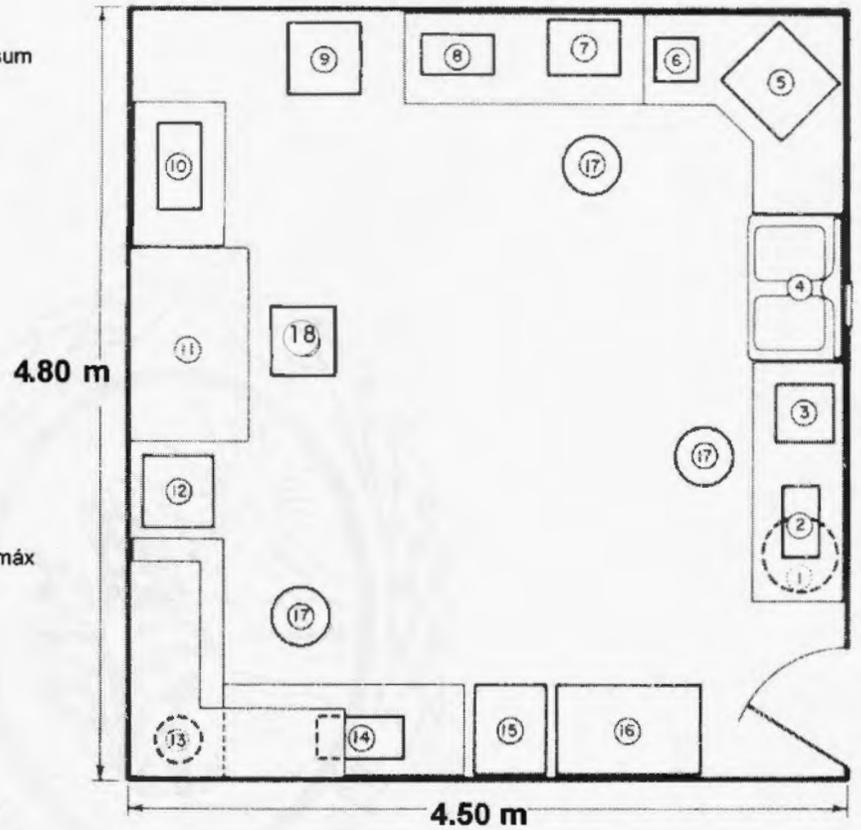
La norma que indica el proceso de certificación de un laboratorio es la ASTM D-3666.

En la siguiente figura se indica un diagrama de una posible distribución y equipamiento de un laboratorio de planta:



**Figura 8.1: Requerimientos de distribución mínimos de un laboratorio de campo**

- 1 Basurero
- 2 Balanza analítica para medir peso sum
- 3 Aparatos de extracción de Asfalto
- 4 Fregadero
- 5 Horno
- 6 Horno de ignición
- 7 Baño de agua caliente
- 8 Máquina de estabilidad
- 9 Compactador giratorio
- 10 Moldeador de pastillas Marshall
- 11 Escritorio
- 12 Agitador para ensayo de densidad máx
- 13 Baño de gravedad específica
- 14 Balanza analítica
- 15 Agitador de muestras
- 16 Separador de muestras
- 17 Banco para sentarse
- 18 Silla



#### **8.4 Algunas disposiciones respecto al control de calidad en plantas asfálticas**

- Inspección de plantas de mezclado bituminoso (ASTM D290, AASHTO T172)
- Especificación de plantas de mezclado en caliente (ASTM D995, AASHTO M156)
- Práctica para el sistema de control de calidad para la inspección y ensayos para mezclas bituminosas (ASTM D4561)
- Práctica para agencias evaluación y calificación de ensayos e inspección de mezclas bituminosas. (ASTM D3666)

#### **9. Diseño de la fórmula de trabajo en planta**

Es responsabilidad del vendedor de mezcla asfáltica proponer y suministrar a la Administración la fórmula de trabajo en planta para su aprobación.

##### **9.1 El diseño de mezcla**

- i. El diseño de mezcla es un informe profesional que debe tener el formato de un reporte de esta naturaleza (índice, empastado, páginas numeradas, etc.), debe presentarse suscrito por el profesional responsable de dicho informe, y tiene que cumplir con los requerimientos que para tal propósito establece la Administración.
- ii. **Definición de "diseño de mezcla":** Consiste en la fórmula de proporcionamiento de los diferentes componentes de la materia prima y los aditivos con que se va a producir la mezcla asfáltica del proyecto.
- iii. **Definición de fórmula de trabajo.** Una vez que el diseño de mezcla está debidamente aceptado por parte de la Administración, de inmediato, el

Contratista debe reproducir esa fórmula en su planta de producción de mezcla, y en el caso de que el proporcionamiento de los materiales especificados en el diseño de mezcla no se alcance a reproducir en la planta, pueden realizarse pequeños ajustes, en cuyo caso, deben producirse distintas tongadas de mezcla con diferentes contenidos de asfalto y nuevamente construir las curvas del diseño, con mezcla de la planta, según el método especificado, para dicho diseño de mezcla. En este caso, necesariamente el porcentaje óptimo ajustado para el asfalto, debe quedar entre dos puntos de contenido de asfalto verificados en la planta, por tanto, no se puede extrapolar el óptimo de asfalto en las curvas de diseño ajustadas en la planta. Este diseño "ajustado" en la planta debe presentarse a consideración de la Administración para su aceptación antes de iniciar la producción.

- iv. Previo a iniciar el proceso de producción, una vez ajustado el diseño de la mezcla en la planta se obtiene la fórmula definitiva de trabajo, o lo que es lo mismo, el diseño con que finalmente se va a producir la mezcla para el proyecto. Para efectos de determinar el nivel de calidad del proceso productivo, este diseño de mezcla final y definitivo será el único elemento de contraste de los parámetros de calidad para pago de obra. Es claro que este ajuste se hace previo a iniciar el proceso de producción de la mezcla asfáltica, y como se indicó anteriormente, en esta fase previa se obtiene el diseño de mezcla definitivo. Si el Contratista no realiza el ajuste previo del diseño de mezcla, regirá para efectos de contraste de los parámetros de calidad para pago de obra, el diseño de mezcla de laboratorio que fue aceptado.
- v. Posteriormente a esta fase previa al inicio del proceso productivo, cualquier cambio de proporcionamiento de materiales o asfalto que haga el Contratista, no modificará el diseño de mezcla ya aceptado, y como se indicó en el punto anterior, será ese diseño contra el cual se contrastarán los parámetros de calidad para pago.

- vi. El Contratista tiene la potestad de cambiar su diseño de mezcla, en cuyo caso, debe hacer el trámite completo ante la Administración, para someter a consideración un nuevo diseño de mezcla.
- vii. El Contratista debe tener debidamente aceptado su diseño de mezcla, previo a iniciar la producción. Aunque la Administración emita la aceptación del diseño presentado por el Contratista, éste seguirá siendo el único responsable por la calidad de la producción y del propio diseño de mezcla.
- viii. El informe del diseño de mezcla debe incluir todos los ensayos de laboratorio realizados en los quebradores, así como en los apilamientos de agregados, debidamente analizados estadísticamente, como fundamento de soporte de la granulometría y de los parámetros de aceptación que se especifican en el diseño de mezcla.
- ix. En el informe de diseño de mezcla el Contratista debe indicar la norma utilizada en cada ensayo y los valores individuales obtenidos en los ensayos para cada espécimen.
- x. El diseño de mezcla queda aceptado para las fuentes de agregados que específicamente estaban indicadas en la solicitud, por tanto, éste no aplica si se cambian una o más fuentes de agregados.
- xi. Con el diseño de mezcla deben presentarse todos los resultados de los ensayos que demuestren que la materia prima y la mezcla como tal, cumplen con todos los parámetros de aceptación especificados.

El método de diseño Marshall es el procedimiento más utilizado. Este procedimiento requiere como mínimo:

- a) Preparación de la mezcla en un rango de contenidos de asfalto
- b) Compactar los especímenes mediante procedimientos estándar
- c) Evaluar los especímenes por densidad, contenido de vacíos, estabilidad, flujo, en el caso del método Marshall.
- d) Determinar el contenido de asfalto óptimo.

e) Comparación de las características de la mezcla con los requerimientos de la especificación.

La siguiente es la lista de parámetros que se determinan en el ensayo Marshall:

- Estabilidad
- Flujo
- Vacíos
- Gravedad específica bruta de la mezcla

Si se tiene el valor de la densidad máxima teórica, la gravedad específica de los agregados, se pueden obtener adicionalmente:

- Vacíos en el agregado mineral (VMA)
- Vacíos llenos de asfalto

Si además se conoce el contenido de asfalto de la mezcla, también se puede obtener:

- Relación polvo/asfalto efectivo

## **10. Operaciones de transporte**

Dos de las más críticas operaciones en el sitio de trabajo son el transporte de la mezcla asfáltica al sitio y las operaciones de colocación. El transporte es crítico porque incide directamente en el costo del proyecto y la calidad de la mezcla asfáltica en caliente.

El transporte incluye la porción del proyecto en la cual se relaciona el número de camiones que van a enviarse al sitio y la capacidad colocadora de las pavimentadoras y las condiciones climáticas.

Este factor debe relacionarse también con la longitud del proyecto, tiempos de espera en la planta, el tiempo de pesado, el tiempo en que se cubre la mezcla asfáltica en caliente con un cobertor en la góndola, el promedio de velocidad de la vagoneta, etc.

### **10.1 Procedimientos de carga de las vagonetas**

La góndola de la vagoneta debe ser limpiada minuciosamente antes de uso, para evitar que quede impregnada de algún material contaminante, además, debe convertirse en una práctica obligada el recubrimiento de la parte inferior de la góndola con un lubricante para evitar adherencias de la mezcla. La parte superior debe cubrirse con un maneado. Debe mantenerse especial cuidado de que la góndola no contenga diesel o cualquier otro tipo de similar de solvente.

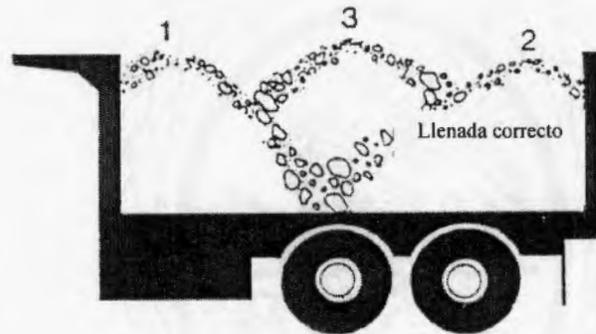
El uso de lubricantes adecuados favorece la no adherencia de la mezcla en el camión y el enfriamiento de la mezcla.

Cuando se carga la góndola de la vagoneta, deben utilizarse múltiples vertedores para minimizar la segregación causada por los agregados de mayor tamaño que ruedan hacia abajo del cono de material. Lo ocurre típicamente en la segregación de materiales se muestra en la figura 10.1. Cuando se carga la góndola con un único vertedor, se puede producir una severa segregación. En la parte b) de esta figura, se indica que al hacer dos o tres montículos en el orden indicado, se reduce considerablemente la segregación.

**Figura 10.1: Formas de cargar una vagoneta con mezcla asfáltica**



**a) Cargado en mediante vertido simple, el cual produce segregación alrededor de todos los extremos de la góndola del camión.**



**b) Cargado mediante vertido múltiple, el cual minimiza las áreas segregadas dentro de la góndola del camión.**

Fuente: Hot Mix Asphalt, Mixture Design and Construction

## **10.2 Protección durante un viaje largo**

Siempre la mezcla asfáltica en caliente debe tener una cubierta que la proteja de enfriamiento excesivo y evite la formación de una pasta en la superficie. La cubierta protectora debe estar bien amarrada en la vagoneta, para evitar que quede aire en contacto con la superficie de la mezcla asfáltica en caliente. Esto produce oxidación.

## **10.3 Factores que afectan el ciclo de la vagoneta**

El ciclo de una vagoneta consta de los diferentes segmentos de acarreo de mezcla asfáltica, desde el sitio de producción hasta el lugar de colocación, incluido el retorno.

Un silo de almacenamiento se utiliza para disminuir el tiempo que tarda cargándose la vagoneta y también para reducir el tiempo que debe hacer fila para ser cargado. Hay muchos elementos de un silo que deben ser diseñados muy cuidadosamente para prevenir la segregación antes de descargar la mezcla en el silo o descargar la mezcla en el camión.

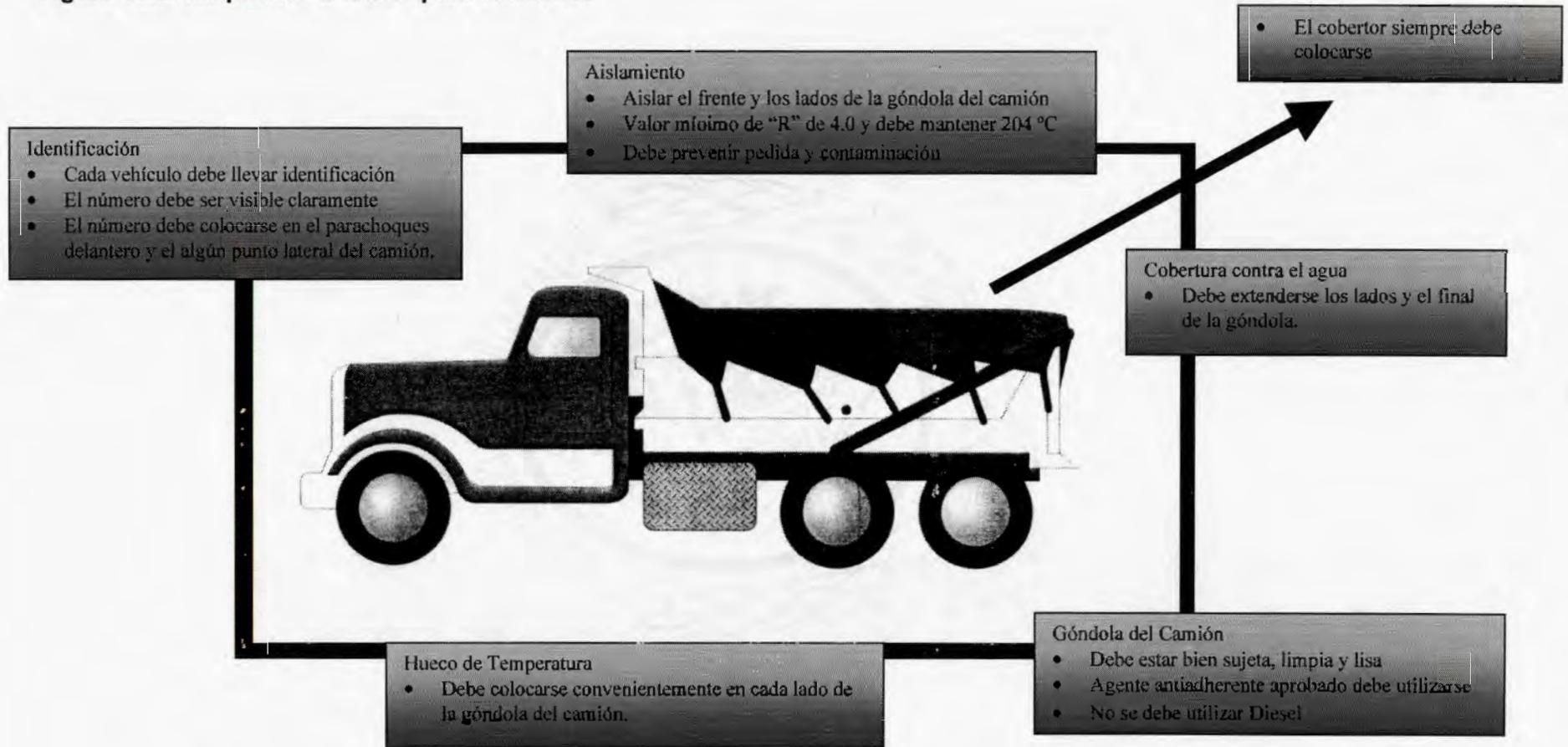
Los propósitos básicos de un silo son los siguientes:

1. Reemplazar temporalmente las góndolas de los camiones, como un sitio de almacenaje de mezcla asfáltica en caliente.
2. Permitirle a la planta de mezcla asfáltica facilidades para continuar la operación cuando los camiones no están preparados para la descarga.
3. en el caso de plantas tipo bache, permitirle a cada bache ser pesado uniformemente y al tamaño óptimo.
4. Proveer un almacenamiento temporal para la mezcla.

5. Permitir el inicio de la producción antes del arribo de las vagonetas.
6. Acomodar apropiadamente la descarga de la mezcla en el vehículo para maximizar el pago en cada viaje.
7. Almacenar de forma apropiada y eficiente, la producción de una planta continua.,



Figura 10.2: Requisitos básicos para camiones



# Requisitos Básicos para Camiones

