

NOTA IMPORTANTE:

La entidad sólo puede hacer uso de esta norma para si misma, por lo que este documento NO puede ser reproducido, ni almacenado, ni transmitido, en forma electrónica, fotocopia, grabación o cualquier otra tecnología, fuera de su propio marco.

ININ/ Oficina Nacional de Normalización

NORMA CUBANA

NC

261: 2005

**DETERMINACION DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO
EMPLEANDO EL EQUIPO MARSHALL**

**Determination of optimum asphalt content using the
Marshall Apparatus**

ICS: 75.140

1. Edición Abril 2005
REPRODUCCIÓN PROHIBIDA

Oficina Nacional de Normalización Calle E No. 261 Vedado, Ciudad de La Habana.
Cuba. Teléfono: 830-0835 Fax: (537) 836-8048 Correo electrónico: nc@ncnorma.cu



Cuban National Bureau of Standards

NC 261: 2005

Prefacio

La Oficina Nacional de Normalización (NC), es el Organismo Nacional de Normalización de la República de Cuba que representa al país ante las Organizaciones Internacionales y Regionales de Normalización.

La elaboración de las Normas Cubanas y otros documentos se realiza generalmente a través de los Comités Técnicos de Normalización. Su aprobación es competencia de la Oficina Nacional de Normalización y se basa en las evidencias del consenso.

Esta Norma Cubana:

- Ha sido elaborada por el NC/CTN 21 Carreteras en la que se encuentran representadas las siguientes entidades:
 - Ministerio del Transporte
 - Ministerio de la Construcción
 - Ministerio de Educación Superior
 - Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionarias
 - Poder Popular de Ciudad de la Habana
 - Oficina Nacional de Normalización

© NC, 2005

Todos los derechos reservados. A menos que se especifique, ninguna parte de esta publicación podrá ser reproducida o utilizada en alguna forma o por medios electrónicos o mecánicos, incluyendo las fotocopias, fotografías y microfilmes, sin el permiso escrito previo de:

Oficina Nacional de Normalización (NC)

Calle E No. 261, Vedado, Ciudad de La Habana, Habana 4, Cuba.

Impreso en Cuba

Índice

0. Introducción.....	4
1. Objeto.....	5
2. Referencias normativas.....	5
3. Términos y definiciones.....	5
4. Requisitos previos.....	6
5. Equipos y Herramientas.....	6
6. Preparación de las mezclas.....	8
7. Compactación de las probetas.....	9
8. Determinación de la Estabilidad y la Deformación.....	10
9. Determinación de la Densidad aparente de las probetas.....	11
10. Determinación de los parámetros volumétricos.....	13
11. Resultados.....	15
12. Determinación del contenido óptimo de asfalto.....	15
13. Ensayos complementarios.....	15
Anexo A (Informativo) Procedimiento para determinar la densidad relativa de los áridos en aceite de parafina.....	17
Anexo B (Informativo) Procedimiento para determinar la pérdida de estabilidad por inmersión en agua.....	20
Anexo C Informativo) Determinación de la pérdida por desgaste en mezclas asfálticas por medio del ensayo Cántabro.....	22
Anexo D (Informativo Ejemplo para determinar el contenido óptimo de asfalto.....	23
Anexo E (Informativo) Procedimiento para el control de la Estabilidad y Densidad en obra.....	26
Bibliografía.....	27

0 Introducción

La presente norma agrupa todos los cálculos y procedimientos de ensayos necesarios para el proyecto y dosificación de las mezclas asfálticas en Cuba, siguiendo los criterios internacionales establecidos en las normas de consulta referenciadas y los resultados obtenidos de la experiencia e investigaciones nacionales, como por ejemplo, la inclusión de la absorción de asfalto en los cálculos de los parámetros volumétricos dado las características absorbentes de los áridos cubanos donde aproximadamente el 50% de las canteras a nivel nacional superan los máximos de absorción admisibles.

Este proyecto de norma recoge además los criterios internacionales relacionados con la necesidad de complementar los resultados obtenidos con el método Marshall a través de otros ensayos adicionales, que se referencian con las normas internacionales que los respaldan, hasta tanto no se realicen las normas nacionales.

DETERMINACION DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO EMPLEANDO EL EQUIPO MARSHALL

1 Objeto

Esta Norma Cubana establece la determinación del contenido óptimo de asfalto para mezclas asfálticas en caliente, con una granulometría determinada de sus áridos y cuyo tamaño no exceda de 25,4 mm.

El método puede emplearse tanto para el diseño, como para el control en obra de mezclas asfálticas.

2 Referencias Normativas

Los siguientes documentos de referencia son indispensables para la aplicación de este documento. Para las referencias fechadas solo es aplicable la edición citada.

NC 54-223:85 Materiales y productos de la construcción. Hormigón asfáltico caliente. Especificaciones de calidad.

EN 12697-22:2003. Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 22: Wheel tracking.

ASTM D 1074-96:2000. Test Method for Compressive Strength of Bituminous Mixtures.

ASTM D 1075-96:2000. Standard test method for effect of water on compressive strength of compacted bituminous mixtures.

EN 12697-12:2003. Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 12: Determination of the water sensitivity of bituminous specimens.

UNE-EN 12697-23:2003. Mezclas bituminosas. Método de ensayo para mezcla bituminosa en caliente. Determinación de la resistencia a la tracción indirecta de probetas bituminosas.

3 Términos y definiciones

A los fines de este documento se aplican los términos y las definiciones siguientes:

3.1 Estabilidad Marshall:

Carga máxima resistida por la probeta a 60⁰C, definida según el tipo de prensa utilizado y multiplicada por el factor de corrección correspondiente.

3.2 Deformación Marshall:

Disminución del diámetro que experimenta una probeta desde el comienzo de la carga hasta el instante de su rotura.

3.3 Densidad Aparente

Relación, a una temperatura especificada, entre la masa en el aire de un volumen dado de un material permeable y la masa, a la misma temperatura, de un volumen igual de agua destilada.

3.4 Parámetros Volumétricos

Volúmenes absolutos de sólidos, huecos, asfalto y sus relaciones existentes en la mezcla asfáltica compactada.

3.5 Peso específico corriente

Considera el peso del árido seco en el aire y el volumen de la parte sólida y de los poros impermeables y permeables.

3.6 Peso Específico Efectivo

Peso específico aparente de un árido determinado por inmersión en un medio líquido dado (asfalto o un equivalente).

3.7 Asfalto Efectivo

Parte del asfalto total contenido en una mezcla, que no ha sido absorbido por los áridos.

3.8 Densidad Máxima teórica de las muestras compactadas

Densidad que se obtendría si al compactar una mezcla asfáltica se consiguiera una masa formada por áridos y ligante en la que no existieran huecos.

3.9 Porcentaje de huecos en los áridos compactados

Los huecos en los áridos compactados representan la diferencia entre el volumen aparente de la mezcla compactada y el volumen teórico ocupado por los áridos compactados en dicha mezcla.

3.10 Porcentaje de huecos en la mezcla compactada

Los huecos de una mezcla compactada representan la diferencia entre el volumen aparente de la mezcla y el volumen teórico ocupado por el asfalto y los áridos.

4 Requisitos previos

El método comienza con la preparación de probetas confeccionadas con la mezcla asfáltica, que tienen una altura patrón de 63,5 mm y diámetro de 102 mm, pero previamente a esta operación es necesario:

- 4.1** Que los materiales se hayan ensayado para saber si cumplen las especificaciones.
- 4.2** Que se hayan dosificado los distintos tamaños de áridos con objeto de que la granulometría total cumpla los requisitos de las especificaciones o proyectos de mezclas.
- 4.3** Que se haya determinado el peso específico corriente de los áridos y el peso específico del filler y del asfalto, para emplearlo en los cálculos de Densidades y huecos, así como el peso específico de la parafina.

5 Equipos y Herramientas.

5.1 Plancha de calentamiento eléctrico de 70 x 30 cm o Estufa con control termostático para calentar los áridos, asfalto, moldes.

5.2 Mezclador Mecánico

5.3 Molde de compactación, compuesto de una placa de base, molde y extensión El molde propiamente dicho tiene un diámetro interior de 102 mm y una altura de 7.62 cm aproximadamente, la placa de base y la extensión están previstas de forma que puedan colocarse en cualquier extremo del molde propiamente dicho.

5.4 Pedestal de compactación, compuesto de una base de madera, (sección transversal mínima de 15 cm x 15 cm) cubierto con una placa metálica de 2,5 cm, apoyada en una losa rígida sobre el suelo.

5.5 Martillo de compactación, compuesto de una cara de compactación circular de 9.85 cm de diámetro y un peso de 4.54 Kg preparado para obtener una altura de caída de 45,72 cm.

5.6 Dispositivo de fijación del molde (collar), compuesto de un dispositivo de tensión con muelle para retener el molde de compactación en su sitio sobre el pedestal de compactación.

5.7 Baño de inmersión de unos 14 litros de capacidad para enfriar las muestras compactadas antes de extraerlas del molde.

5.8 Gato de expulsión, compuesto de un gato hidráulico o mecánico y un pistón impulsor para hacer salir la muestra compactada del molde.

5.9 Equipo Marshall, consistente en un dispositivo de ensayo accionado eléctricamente y proyectado para aplicar cargas a las probetas a través de mordazas semicirculares con una velocidad de deformación constante de 5.08 mm/minuto.

La máquina comprende un anillo de carga calibrado para determinar la carga aplicada, las mordazas, a través de las cuales se aplica la carga a la probeta y un medidor de deformación para medirla en el momento en que se produce la carga máxima.

5.10 Baño de agua caliente, controlado manual o termostáticamente para una temperatura de $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, de dimensiones interiores aproximadas de 32 cm x 42 cm x 12 cm o mayores.

5.11 Termómetro que permita medir temperaturas comprendidas entre $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5.12 Balanza con capacidad de 20 Kg y sensibilidad 1g para pesar los áridos y el asfalto.

5.13 Bandejas metálicas de 30 cm x 45 cm y 10 cm de profundidad y bandejas metálicas de 50 cm de diámetro y 12 cm de altura.

Moldes de probetas normalizadas de 64 mm de altura y 102 mm de diámetro.

5.14 Recipiente con vertedero de aproximadamente 4 litros de capacidad, para calentar y distribuir el asfalto.

5.15 Cuchara grande para mezclar.

5.16 Guantes para manejar los productos calientes.

5.17 Espátula.

5.18 Creyón de marcar, para identificar las probetas.

5.19 Parafina, pinzas y frazadas.

6 Preparación de las mezclas

Se prepara una serie de probetas con una mezcla de áridos de una composición y granulometría determinada y diferentes contenidos de asfalto. Para ello se varía el contenido de asfalto de la mezcla de medio en medio por ciento, realizando tantas mezclas como sean necesarios para definir el rango de trabajo, de manera que como mínimo se tengan dos contenidos de asfalto por encima y dos por debajo del óptimo estimado (P).

6.1 Para comenzar se hace una estimación del contenido óptimo de asfalto por cualquiera de los procedimientos teóricos establecidos al respecto, pudiendo emplearse la siguiente formula:

$$S = \frac{0.17A + 0.33B + 2.30C + 12D + 13F}{100}$$

$$P = 3.75 * S^{\frac{1}{5}}$$

Donde:

A = % de áridos mayores de 10 mm;

B = % de áridos entre 5 - 10 mm;

C = % de áridos entre 0.3 - 5 mm;

D = % de áridos entre 0.075 - 0.3 mm;

F = % de áridos menores de 0.075 mm;

S = Superficie específica de los áridos combinados (m^2/kg);

P = % asfalto teórico referido al total de áridos.

Una vez determinado el rango de asfalto para trabajar, se confeccionan 6 probetas como mínimo para cada contenido de asfalto: tres probetas para el ensayo de estabilidad- deformación y tres probetas para el ensayo densidad- huecos. Por ejemplo, el estudio de una mezcla asfáltica para una serie de probetas con 6 contenidos de asfalto diferentes, exige la confección de 36 probetas como mínimo. Cada probeta necesita normalmente unos 1200 g de áridos y por ello la cantidad mínima de mezcla de áridos será de unos 44 kg y es suficiente emplear 8 litros de asfalto.

6.2 Fijada previamente la composición en porcentaje de cada árido para obtener la granulometría total de la mezcla que se desea, se calcula el peso necesario de cada uno de ellos para realizar la amasada de cada probeta, de 1200 g a 1300 g, en principio. Después de compactar la primera probeta se mide su altura, que será de $63,5 \pm 3.2$ mm.

Si estuviera fuera de los límites se ajusta el peso de la mezcla por medio de la siguiente formula:

$$P_n = \frac{63.5 * P_{me}}{A_p}$$

P_n =Peso necesario (g).

P_{me} =Peso de la mezcla empleada (g).

A_p = Altura obtenida en la probeta (mm).

Las probetas tendrán un diámetro de 101.6 ± 0.25 mm con una altura de 63.5 ± 3.2 mm.

6.3 Se preparan 6 bandejas, como mínimo, por cada porcentaje de asfalto en las cuales se agrega cada fracción de árido necesarios para cada probeta, previamente secado y enfriado para obtener su peso, y se colocan en la estufa a temperatura de $170^\circ C$ a $190^\circ C$.

6.4 Se calienta también el asfalto necesario dentro de un recipiente adecuado sobre la plancha de calentamiento, baño de aceite, a una temperatura comprendida entre $145^\circ C$ y $160^\circ C$.

No se mantendrá el asfalto a esa temperatura más de una hora y no se empleará asfalto recalentado. El asfalto dentro de recipiente se agita frecuentemente para evitar los sobre calentamientos locales.

6.5 Se tara el recipiente donde se va a elaborar la mezcla, se le añaden los áridos previamente preparados y calentados a 170 °C - 190 °C. Se agita la mezcla de áridos y se forma un cráter en el centro.

6.6 Se coloca el recipiente con los áridos en la balanza marcando el peso total (Tara + Peso árido + peso asfalto). Se añade entonces la cantidad necesaria de asfalto, determinándose la cantidad del mismo por diferencia de peso. En este momento la temperatura de los áridos estará comprendida entre 140 °C y 155 °C y en todo caso de ser algo inferior, aumentar la del asfalto en un rango de 5 °C a 10°C.

6.7 Se mezclan vigorosamente los áridos con el asfalto, mecánicamente o a mano, tan rápidamente como sea posible, hasta conseguir una mezcla de composición homogénea.

6.8 Al terminar la operación de mezclado, la temperatura de la mezcla dispuesta para la compactación no será inferior a 120 °C. En caso de ser más baja se desecha la amasada. Con objeto de obtener resultados más uniformes, y sobre todo en el proyecto de dosificaciones, es conveniente mantener lo más exactamente posible una misma temperatura de la mezcla de 125 ± 5 °C para las distintas amasadas, en el momento de la compactación. En ningún caso la muestra será recalentada.

6.9 Si se trabaja con mezcladora mecánica en dependencia de su capacidad, se puede mezclar el total de áridos y asfalto correspondiente a las seis probetas por cada contenido de asfalto, realizándose el cuarteo y pesado de la mezcla en las porciones correspondientes a la conformación de las probetas (1200 g). Las porciones de mezcla así preparadas se introducen en una estufa a 125 ± 5 °C para evitar su pérdida de calor mientras se realiza la compactación de las probetas.

7 Compactación de las probetas

7.1 Antes de preparar la mezcla el conjunto del molde y la base de la masa de compactación se limpian y se calientan a una temperatura entre 100 °C y 150 °C, colocándolos sobre una plancha eléctrica, en una estufa o bien sumergiéndolo en un baño de agua hirviendo.

7.2 Colocando el molde de compactación caliente sobre la base de compactación, se coloca un disco de papel de filtro o de estraza de 10 cm de diámetro sobre la superficie de la base del molde.

7.3 Se echa dentro del molde la mezcla recién amasada, a la temperatura correcta, evitando las segregaciones de material y distribuyendo bien la mezcla dentro del molde por medio de una espátula, dando al final una forma redondeada a la superficie.

7.4 En estas condiciones se le aplica el número de golpes especificados con la masa. La masa del molde y de la masa se mantendrán paralelas mientras se aplican los golpes, para lo cual la varilla guía ha de mantenerse vertical.

7.5 Después de apisonar la primera cara se desmonta el collar, se invierte el molde con la probeta, se vuelve a poner el collar y se aplican los golpes por la otra cara.

7.6 Se aplican 50 golpes por cada cara en la compactación de mezclas proyectadas para tráfico ligero, para tráfico medio a pesado se emplean 75 golpes por cara. Se puede utilizar otra cantidad de golpes de acuerdo a las características de los áridos y el requerimiento de los

diferentes parámetros de la mezcla, equipos de obra y condiciones de tráfico. Las definiciones del tipo de tráfico se corresponden con la establecida en la NC 54:223.

7.7 Terminada la compactación se desmonta el collar, la base y se sumerge el molde con la probeta en un cubo con agua a temperatura ambiente, como mínimo, durante 2 minutos.

7.8 Una vez a temperatura ambiente, se saca la muestra del molde por medio del gato extractor colocando cuidadosamente la probeta sobre una superficie lisa y suave hasta que se ensayen. Se numeran las probetas o se identifican por cualquier otro método.

7.9 Se dejan enfriar a temperatura ambiente, serán ensayados en tiempo no inferior de 12 horas, recomendándose ensayar a las 24 horas.

8 Determinación de la Estabilidad y la Deformación

8.1 Se sumergen las probetas en un baño de agua a 60 ± 5 °C durante un tiempo entre 20 minutos y 30 minutos, antes del ensayo.

8.2 Se limpian perfectamente las superficies interiores de las mordazas de rotura y se engrasan las varillas de guía con una película de aceite de manera que la mordaza superior se deslice libremente.

8.3 Se saca entonces la probeta del baño y se seca cuidadosamente su superficie con un paño. Se coloca centrada sobre la mordaza inferior, se monta entonces la mordaza superior, y el conjunto se sitúa centrado en la prensa. El medidor de la deformación se coloca en su posición cero.

8.4 Se aplica entonces la carga a la probeta sobre su superficie lateral empleando el equipo Marshall, a una velocidad constante de 50.8 mm/min. hasta que se produzca la rotura. El punto de rotura viene definido por la carga máxima obtenida.

8.5 Si la probeta tiene una altura diferente a 63,5 mm, el valor de la lectura de carga obtenido debe ser corregido por altura, según los factores mostrados en la tabla 1.

La estabilidad Marshall viene dada por la formula:

$$E = Q * Fc * k.$$

Donde:

Q = Lectura del anillo dinamométrico.

Fc = Factor de corrección por altura.

K= Constante del anillo (kg/mm o kN/mm)

8.6 Mientras el ensayo de estabilidad está en progreso, mantener el defórmetro firmemente en la posición sobre la varilla guía y anotar la lectura de deformación en el instante en que se obtenga la carga máxima. La carga máxima se considera tiene lugar en el instante de producirse la primera parada o máximo instantáneo observado en el comparador del anillo dinamométrico.

8.7 Todo el proceso de ensayo de estabilidad y deformación que comienza al sacar la probeta del baño de agua debe ser completado en un periodo de 30 segundos.

8.8 Teniendo en cuenta que la Estabilidad y la Deformación son muy susceptibles a los cambios de temperaturas a que se ensayaron, y al método seguido para elaborar las probetas, debe eliminarse del cálculo del promedio de las tres probetas correspondiente a un mismo contenido de asfalto, aquel valor que se aparte más o menos el 10 % del valor medio del conjunto, calculándose una nueva media para aquellos casos en que se hayan desechado algunos valores.

Tabla 1 — Factor de corrección por altura

Volumen de la muestra en cm ³	Espesor (cm)	Factor de corrección	Volumen de la muestra en cm ³	Espesor (cm)	Factor de corrección
200-213	2.54	5.56	421-431	5.24	1.39
214-225	2.69	5.00	432-443	5.40	1.32
226-237	2.86	4.55	444-456	5.56	1.25
238-250	3.02	4.17	457-470	5.72	1.19
251-264	3.18	3.85	471-482	5.87	1.14
265-276	3.33	3.57	483-495	6.03	1.09
277-289	3.49	3.33	496-508	6.19	1.04
290-301	3.65	3.03	509-522	6.35	1.06
302-316	3.81	2.78	523-535	6.51	0.96
317-328	3.97	2.5	536-546	6.67	0.93
329-340	4.13	2.27	547-559	6.83	0.89
341-353	4.29	2.08	560-573	6.99	0.86
354-367	4.45	1.92	574-585	7.15	0.83
368-379	4.6	1.79	586-598	7.30	0.81
380-392	4.76	1.67	599-610	7.46	0.78
393-405	4.92	1.56	611-625	7.62	0.76
406-420	5.08	1.47			

9 Determinación de la densidad aparente de las probetas

La densidad aparente de una probeta asfáltica compactada se determina a partir de la masa de la probeta y de su volumen. El volumen de la probeta se obtiene a partir de la relación de su masa en el aire y su masa en el agua.

La densidad del agua a 25 °C debe ser 997.1 kg/m³. Para otras temperaturas la densidad del agua debe ser $(997.1 * K)$ kg/m³ (ver tabla 2)

Tabla 2 — Densidad del agua según la temperatura

Temperatura del agua °C	Factor de corrección K	Densidad del agua kg/m ³	Temperatura del agua °C	Factor de corrección K	Densidad del agua kg/m ³
10	1.0027	999.8	20	1.0012	998.3
11	1.0026	999.7	21	1.0010	998.1
12	1.0025	999.6	22	1.0007	997.8
13	1.0023	999.4	23	1.0005	997.6
14	1.0022	999.3	24	1.0003	997.4
15	1.0021	999.2	25	1.0000	997.1
16	1.0019	999.0	26	0.9997	996.8
17	1.0017	998.8	27	0.9995	996.6
18	1.0016	998.7	28	0.9992	996.3
19	1.0014	998.5	29	0.9989	996.0
20	1.0012	998.3	30	0.9986	995.7

9.1 La densidad aparente de las probetas se puede realizar tan pronto como las probetas recién compactadas se han enfriado a la temperatura ambiente. Es posible determinarla por tres métodos diferentes.

9.1.1 Procedimiento de la muestra impermeabilizada

El material utilizado para impermeabilizar la probeta puede ser parafina, emulsión de látex, etc. El procedimiento que se siga no debe causar daños a la probeta. Es muy importante que el material impermeabilizante cubra exactamente la probeta, incluyendo los huecos que tecnológicamente formen parte de su volumen, al aplicar el material impermeabilizante se debe evitar que se formen huecos adicionales entre el material impermeabilizante y la probeta.

Se pesa la muestra en el aire, a temperatura ambiente para obtener su masa y se designa este valor por A. Se recubre a continuación toda la superficie de la muestra con una capa del material impermeabilizante, de espesor suficiente para asegurar el cierre de todos los huecos superficiales (si se emplea parafina se utilizará a una temperatura de 58 °C). La muestra recubierta se deja enfriar al aire durante unos treinta minutos y se determina su masa. Se designa este valor por D. Posteriormente se determina la masa de la muestra impermeabilizada en el agua, sumergiéndola dentro del cestillo que para este fin lleva la balanza y se designa este valor por E.

La densidad del material impermeabilizante, a la temperatura de ensayo, se debe conocer con una aproximación de 0.010 g/cm³. Se designa este valor por F.

La densidad relativa se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$Da = \frac{A}{\left(\frac{D-E}{\delta}\right) - \left(\frac{D-A}{F}\right)}$$

Donde:

Da = Densidad Relativa aparente de la mezcla.

δ = Densidad del agua según la tabla 2.

9.1.2 Procedimiento con la muestra saturada y superficie seca.

Este método se emplea cuando la textura superficial de las probetas es cerrada e impermeable. Se pesa la muestra a temperatura ambiente al aire para obtener su masa y se designa este valor

por A. Se sumerge la muestra en el baño de agua a 25° C durante 4 o 5 minutos y se determina a continuación su masa sumergida, suspendiéndola del dispositivo que para este fin debe llevar la balanza y se designa este valor por C. Se seca a continuación rápidamente la superficie de la muestra con un paño absorbente, hasta eliminar la película superficial de agua, y se pesa inmediatamente después en el aire. Se designa este valor por B.

La densidad relativa se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$Da = \frac{A}{B - C} * \delta$$

9.1.3 Procedimiento por medida geométrica del volumen aparente

Este método se aplica a probetas con superficie cerrada y lisa, cuando sus dimensiones pueden ser medidas con precisión. Se pesa la muestra a temperatura ambiente al aire para obtener su masa y se designa este valor por A. Con el pie de Rey o calibrador se efectúan 4 medidas, según los planos de dos diámetros perpendiculares, de la altura de la muestra. Se promedian los cuatro valores obtenidos y se designa el resultado por h. Como diámetro de la muestra se toma el valor del diámetro nominal del molde en que se fabricó la probeta y el resultado de promediar el valor obtenido en dos mediciones sobre los diámetros perpendiculares si es el caso de testigo extraído del pavimento. Se designa por d.

La densidad relativa se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$Da = \frac{A}{\pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 * h}$$

9.2 Densidad aparente corregida de las probetas

Los valores medios de la densidad relativa aparente de las probetas obtenidas en el ensayo, se plotean en un gráfico de Densidad vs. Porcentaje de asfalto, y tomando como referencia los puntos hallados se dibuja una línea curva de trazo continuo y suave. Por medio de la curva se obtienen los valores de la densidad corregida por cada porcentaje de asfalto. Estos valores son los que se emplearán en el cálculo de los porcentajes de huecos de las probetas.

10 Determinación de los parámetros volumétricos

Para todos los cálculos donde se requiera determinar el volumen ocupado por los áridos, se utilizará su peso específico corriente.

10.1 Peso específico de los áridos combinados (PEcomb)

Con el objeto de facilitar los cálculos de % huecos, se determina el valor de esta densidad, cuya expresión teórica es el cociente entre la suma de las masas de todos los componentes áridos de la mezcla y la suma de las masas de volúmenes respectivos iguales de agua.

$$PE_{comb} = \frac{100}{\frac{P_1}{PEC_1} + \frac{P_2}{PEC_2} + \frac{P_3}{PEC_3} + \dots}$$

Donde:

$P_1; P_2; P_3$ = Porcentaje de los áridos 1,2,3,... con relación al peso total de áridos (en %).

$PEC_1; PEC_2; PEC_3$ = Peso específico corriente de los áridos 1,2,3... (g/cm^3).

10.2 Absorción de asfalto, referida al peso de los áridos (A_b)

Para la determinación del asfalto absorbido por los áridos será necesario determinar previamente el peso específico efectivo.

El peso específico efectivo se determinará siguiendo el procedimiento de ensayo señalado en el anexo A.

La absorción de asfalto se determinará por la siguiente expresión:

$$A_b = \frac{PEE - PE_{comb}}{PEE * PE_{comb}} * 100$$

De no contarse con los valores del peso específico efectivo, se puede asumir la absorción de asfalto como el 50% de la absorción al agua en los áridos calizos y del 30% para los áridos de origen ígneo.

10.3 Proporción de asfalto absorbido (P_{ba}), en %

$$P_{ba} = \frac{A_b * P_a}{100}$$

10.4 Proporción de asfalto efectivo (P_{be}), en %

$$P_{be} = P_b - P_{ba}$$

10.5 Densidad Máxima teórica de las muestras compactadas (DMT): Se obtiene a partir de la siguiente expresión

$$DMT = \frac{100}{\frac{P_a}{PE_{comb}} + \frac{P_b}{PE_b} - \left(\frac{A_b * P_a}{100 * PE_b} \right)}$$

Donde:

P_a = Porcentaje de áridos referidos al peso de la mezcla (en %).

P_b = Porcentaje de asfalto total referido al peso de la mezcla (en %).

PE_b = Peso específico del asfalto, en g/cm^3 .

10.6 Porcentaje de huecos en los áridos compactados (HA), en %

$$HA = 100 - \frac{P_a * D_a}{PE_{comb}}$$

10.7 Porcentaje de huecos en la mezcla compactada (HM), en %

$$HM = 100 - \frac{100 * D_a}{DMT}$$

11 Resultados.

11.1 Los valores medios de la Estabilidad, Deformación, Densidad Aparente, Porcentajes de huecos en la mezcla compactada y Porcentaje de huecos en los áridos compactados, para cada contenido de asfalto, se representan en un gráfico.

11.2 En cada gráfico, tomando como referencia los puntos hallados se traza una línea curva de trazo continuo y suave y se obtienen los valores corregidos leídos sobre la curva para cada porcentaje de asfalto.

11.3 Para el trazado de las curvas ha de tenerse en cuenta que en el caso de mezclas asfálticas densas, sus formas son las siguientes:

11.3.1 Los valores de Estabilidad van aumentando con el incremento del contenido de asfalto hasta un máximo después del cual disminuye (forma parabólica).

11.3.2 Los valores de la deformación aumentan constantemente con el incremento del contenido de asfalto (forma exponencial).

11.3.3 Los valores de la Densidad Aparente van aumentando con el incremento del contenido de asfalto hasta un máximo después del cual disminuye (forma parabólica).

11.3.4 El porcentaje de huecos en la mezcla disminuye cuando aumenta el contenido de asfalto, aproximándose continuamente a un mínimo. (forma potencial).

11.3.5 El porcentaje de huecos en áridos disminuye con el contenido de asfalto hasta un mínimo, a partir del cual comienza a aumentar (parábola invertida)

11.4 El ajuste de las curvas es posible realizarlo utilizando programas informáticos de ajuste de curvas.

12 Determinación del contenido óptimo de asfalto

A partir de los valores ajustados obtenidos de las curvas representadas para cada uno de los parámetros anteriores, se determina el rango de contenidos de asfalto para los cuales se cumplen con las especificaciones de calidad establecidas en la NC 54- 223 en cada uno de los parámetros, representándose en un diagrama de barras para establecer el rango coincidente de contenidos de asfalto que cumplen las especificaciones de los diferentes parámetros.

El valor medio del rango determinado se podrá tomar como el por ciento óptimo de la mezcla sino es posible contar con los ensayos complementarios.

En el anexo D se muestra un ejemplo de determinación del contenido óptimo de asfalto.

13 Ensayos complementarios.

Considerando que el ensayo Marshall no proporciona información suficiente sobre las características de las mezclas, se puede usar como estudio complementario otros ensayos especiales que ayudan a definir con mayor precisión el porcentaje óptimo de asfalto. Con este objetivo al rango óptimo obtenido anteriormente se le pueden realizar los ensayos siguientes:

13.1 Ensayo en Pista de Laboratorio: Es un ensayo dinámico que simula el tráfico real en condiciones particulares de temperatura y presión de inflado, para determinar la resistencia a la deformación plástica de la mezcla, mediante la medición de la huella que produce la rueda cargada. Se especifica la Velocidad de Deformación en los últimos 15 minutos de ensayo. (EN 12697-22:2003).

13.2 Inmersión - Compresión: Se emplea en el estudio de la susceptibilidad al agua de las mezclas, ensayando probetas en seco y después de estar sumergidas en agua, exigiendo una determinada resistencia conservada por la relación de la resistencia en seco y sumergida. (Normas ASTM D-1074; ASTM D-1075; EN 12697-12:2003). La sensibilidad al agua puede determinarse además siguiendo el procedimiento descrito en el anexo B.

13.3 Tracción Indirecta: La resistencia a la tracción indirecta es la resistencia máxima calculada a la tracción de una probeta cilíndrica sometida a carga diametral hasta su rotura. Este ensayo posibilita estudiar las propiedades relacionadas con la naturaleza viscoelásticas de las mezclas asfálticas en función de la temperatura. Se utiliza como valor relativo entre diferentes mezclas. (EN 12697-23:2003)

13.4 Cántabro: Posibilita valorar indirectamente la cohesión y la resistencia a la disgregación de la mezcla ante los efectos abrasivos del tráfico, así como también valorar al ligante en función de las propiedades que proporciona a la mezcla: Cohesión, Adhesividad, etc. Se basa en someter una probeta a la máquina de Los Ángeles sin carga abrasiva durante 300 vueltas, calculándose las pérdidas de peso por desgaste. Se admite una pérdida de 4,5% para mezclas densas y semidensas. La pérdida por desgaste puede determinarse siguiendo el procedimiento descrito en el Anexo C.

Para el diseño de la mezcla se deben realizar el mayor número de ensayos complementarios posibles, recomendándose como mínimo en todos los casos el ensayo de la maquina de Pista de Laboratorio.

Anexo A

(informativo)

Densidad relativa de los áridos en aceite de parafina

A 1.1 Este anexo recoge el procedimiento que debe seguirse para la determinación de la densidad relativa de áridos gruesos hasta 38 mm de tamaño máximo, áridos finos filler o la mezcla de ellos en proporciones establecidas, para su empleo en el cálculo de huecos en mezclas asfálticas, utilizando como medio de inmersión aceite de parafina y realizándolo en un picotero de características especiales.

A 1.2 El procedimiento puede aplicarse también a la determinación de la densidad relativa de estos materiales empleando agua como medio de inmersión. Los resultados obtenidos empleando uno y otro líquido permiten juzgar la diferente capacidad de absorción de los áridos respecto al agua y los materiales hidrocarbonados.

A 1.3 Aunque el procedimiento está normalizado para un periodo de inmersión de los áridos de 24 horas, en la mayoría de los tipos de áridos se puede realizar el ensayo en una jornada de trabajo.

A 2. Aparatos y Material Necesario.

A 2.1 Balanza de precisión que tenga por lo menos una capacidad de 2 kg y una precisión de ± 0.1 g como mínimo.

A 2.2 Baño de agua capaz de mantener la temperatura a 25 ± 0.1 °C. La profundidad del baño será la suficiente con objeto de poder sumergir el picnómetro hasta el cuello.

A 2.3 Picnómetro especial de 1 litro de capacidad aproximadamente, de las características y medidas indicadas en la figura A.1, provisto de muelles de sujeción y cierre de esmerilados. Si se desea ensayar una mayor cantidad de muestra, el matraz Erlenmeyer del picnómetro puede ser de 1.5 ó 2 litros de capacidad.

A 2.4 Embudo de boca ancha que penetre suficientemente en la boca del Erlenmeyer, para no manchar el esmerilado al añadir la muestra.

A 2.5 Aceite de parafina de calidad medicinal y de las siguientes características.

Viscosidad S.F a 25 °C = 85 ± 15 s.

Densidad a 25 °C = 0.877 g/cm^3

A 2.6 Desecadores de 250 mm de diámetro.

A 3 Procedimiento

A 3.1 El procedimiento que se describe a continuación difiere del que se suele seguir normalmente en ensayos análogos, pero su objeto es simplificar al máximo su ejecución, aumentando a la vez la precisión de los resultados.

A 3.2 Se preparan por cuarteo dos fracciones de unos 600 g del material, se secan en estufa a 110°C hasta masa constante y se guardan en un desecador. Si se emplea un picnómetro de mayor capacidad, la muestra puede aumentarse proporcionalmente.

A 3.3 Se llena el picnómetro con aceite de parafina hasta casi el enrase, sin que queden burbujas de aire ocluidas y se introduce en el baño de manera que quede cubierto de agua hasta el borde del esmerilado. Se mantiene durante una hora como mínimo a 25 °C, se enrasa y se deja media hora más tarde hasta que el enrase no varíe. Se saca del baño, se seca perfectamente y se pesa: D.

A 3.4 A continuación, y sin quitar el tapón, se vierte aceite de parafina del picnómetro hasta dejar una tercera parte, aproximadamente de su contenido. Se deja escurrir al picnómetro todo lo que haya quedado mojando el tubo del tapón, se seca exteriormente y se vuelve a pesar: A:

A 3.5 Se abre el picnómetro procurando que del tapón no se pierda ninguna gota de las que hayan podido quedar en él. Se agrega, suavemente, por medio del embudo la muestra preparada tal como se indica en el apartado A.3.2, teniendo cuidado de no manchar el esmerilado y evitando salpicaduras. Se coloca de nuevo el tapón y se pesa: B.

A 3.6 Se llena de nuevo el picnómetro con aceite de parafina hasta casi el enrase. Se coge con la mano por su base y se agita enérgicamente con movimientos rotatorios alrededor de su eje para que salgan las burbujas de aire ocluidas. Esta agitación se repite a intervalos de unos 15 minutos cuantas veces sea necesario, dejando a continuación el picnómetro en reposo hasta el día siguiente. Transcurrido ese tiempo, se vuelve a repetir la operación de agitación y a continuación se introduce el picnómetro en el baño y se enrasa, observando las mismas instrucciones indicadas en el apartado A.3.3. A continuación se saca del baño, se seca perfectamente y se pesa: E.

A 3.7 Una vez terminado el ensayo, el aceite de parafina se puede recuperar para emplearlo de nuevo, filtrándolo a través de un papel de filtro corriente de filtrado rápido.

A 3.8 La densidad del aceite de parafina se puede determinar de una vez para cada partida de producto recibido, no variando en general, su valor después de empleado y recuperado.

A 3.9 Como se indica en el apartado A.1.2, el procedimiento puede seguirse igualmente empleando agua como líquido de inmersión.

A 3.10 En épocas calurosas hay que extremar las precauciones para realizar el ensayo a 25°C, ya que el volumen de aceite de parafina es muy sensible a pequeñas variaciones de temperatura, lo cual puede originar errores importantes.

A 4 Resultados

A 4.1 Cálculos

A 4.1.1 La densidad relativa de un sólido en las condiciones del ensayo se calcula aplicando la fórmula siguiente, y se expresará con aproximación de la tercera cifra decimal:

$$Densidad\ Relativa = \frac{B - A}{(C + D) - E} = \frac{C}{V} = \frac{C}{V_R}$$

Donde:

B = Masa del picómetro, sin llenar totalmente líquido, mas muestra.

A = Masa del picómetro sin llenar totalmente de líquido.

B-A = C = masa de muestra seca.

D = masa del picómetro lleno de líquido hasta el enrase.

E = masa del picómetro mas muestra y lleno de líquido hasta el enrase.

C+D-E = V = volumen ocupado por la muestra, sin corregir por la densidad a 25 °C del líquido empleado.

X = densidad a 25°C del líquido de inmersión empleado. En el caso de agua es 0.997g/cm³ y en el del aceite de parafina se habrá determinado previamente con exactitud.

V_R = Volumen real corregido de la muestra.

A 4.2 Reproducción de los resultados

A 4.2.1 Las determinaciones por duplicado no se diferenciarán en más de 0.005 unidades de densidad relativa.

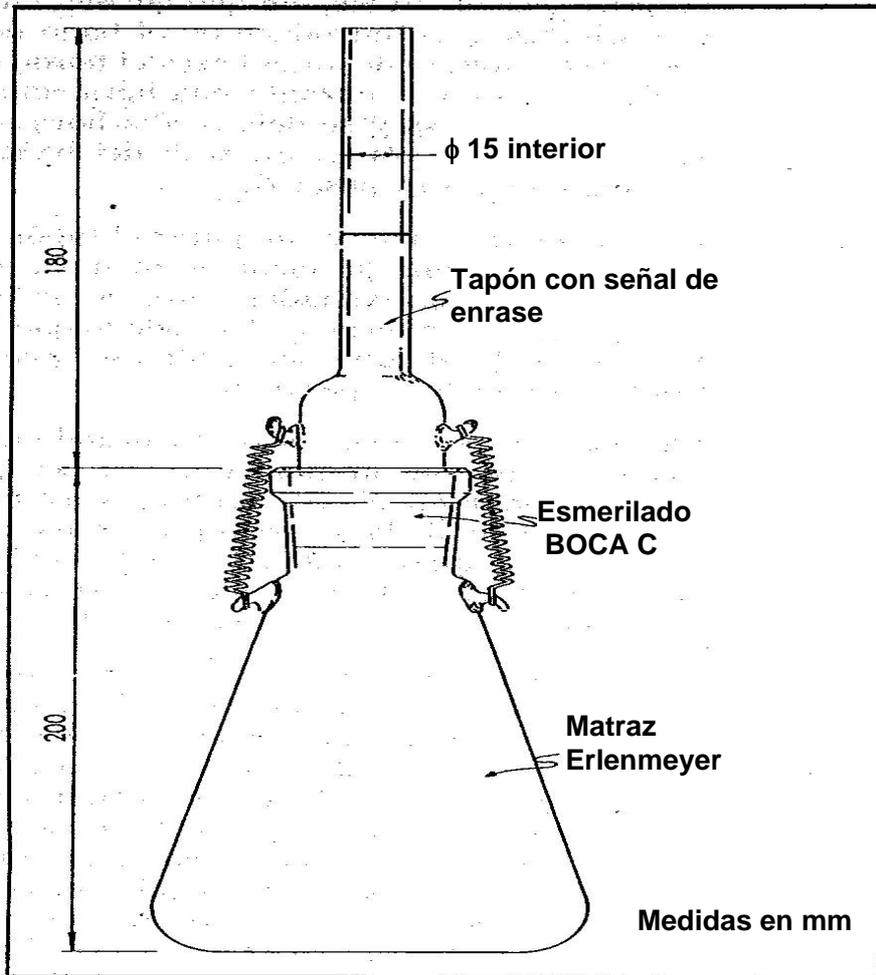


Figura A.1— Picnómetro especial de 1.000 cm³ de capacidad aproximada.

Anexo B

(informativo)

Pérdida de Estabilidad por inmersión en agua

Este anexo recoge el procedimiento a seguir para la determinación de la sensibilidad al agua del hormigón asfáltico caliente, mediante la determinación de la pérdida de estabilidad en probetas sometidas a un periodo de inmersión en agua.

B 1 Equipos

B 1.1 Baños de agua controlados automáticamente en un rango de 25 a $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, revestidos de cobre o acero inoxidable u otros materiales que no sean reactivos y de suficiente tamaño como para permitir la inmersión total de las probetas. El agua utilizada para el periodo de inmersión de las probetas será destilada o tratada de otra forma para eliminar los electrolitos. Los baños se vaciarán, limpiarán y rellenarán con agua fresca para cada serie de ensayo.

B 1.2 Recipiente para agua y balanza de 2.5 a 5 kg de capacidad sensible a 0.1 g, con accesorios adecuados para pesar en el aire y en el agua las probetas, determinar sus densidades, absorción y cualquier cambio en el volumen de las mismas que se produzca después de la prueba de inmersión.

B 1.3 Platos llanos de vidrio o metal para colocar debajo de cada probeta durante el periodo de inmersión y durante la manipulación posterior, excepto durante el proceso de pesaje y de ensayos, para evitar la posible rotura o deformación de la probeta.

B 1.4 Prensa tipo Marshall.

B 2 Preparación de las probetas.

Para cada contenido de asfalto determinado se confeccionan seis probetas Marshall, colocándolas en estufa a una temperatura de $60 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas.

B 3 Determinación del peso específico de la masa de las probetas

B 3.1 Se extraen las probetas de la estufa de curado y se dejan enfriar al aire durante 5 horas a $25 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Después de enfriadas las probetas se pesan para determinar el peso exento de humedad (A). Se sumergen cada probeta en agua durante un minuto, se seca la superficie rápidamente con una toalla ligeramente húmeda, se pesa para obtener el peso con superficie seca (B), inmediatamente se sumerge la probeta en agua y se determina su peso (C).

Se calcula el peso específico de la masa de cada probeta como se indica a continuación:

Peso específico de la masa = $A / B - C$

Donde:

A= Peso en gramos de la probeta exenta de humedad (secada en estufa), pesada en el aire.

B= Peso en gramos de la probeta después de sumergida un minuto y con la superficie seca, pesada en el aire.

C= Peso en gramos de la probeta sumergida, pesada en el agua.

B 4 Procedimiento

Distribuya las seis probetas en dos grupos de tres cada uno, de manera que el peso específico promedio de la masa de las probetas que constituirán el grupo # 1 sea aproximadamente igual o aproximadamente semejante al de las probetas que constituirán el grupo #2.

Ensaye las probetas del grupo #1 como se describe en el punto B.4.1 y ensaye las probetas del grupo #2 como se describe en el punto B.4.2.

B 4.1 Probetas de grupo #1

Se llevan las probetas hasta la temperatura de ensayo ($25 \pm 1^\circ\text{C}$) colocándolas en un baño de aire mantenido a dicha temperatura durante un periodo comprendido entre 4 y 6 horas. A continuación se determina la estabilidad seca de cada probeta.

B 4.2 Probetas del grupo #2

Se sumergen las probetas en el baño de agua durante 24 horas a una temperatura de $60 \pm 1^\circ\text{C}$. Seguidamente se trasladan a otro baño, manteniéndolas a $25 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 2 horas. Trascurrido este tiempo se extraen del baño y se determina la estabilidad húmeda de cada probeta.

B 5 Cálculos

El valor de la estabilidad conservada se expresa en por ciento y se obtiene mediante la expresión siguiente:

$$E_c = \frac{E_H}{E_s} * 100$$

Donde

E_c = Estabilidad conservada en por ciento.

E_h = Estabilidad húmeda promedio de las tres probetas del grupo #2.

E_s = Estabilidad seca promedio de las tres probetas del grupo #1.

B 6 Especificaciones

El valor de la estabilidad conservada para los dientes tipos de HAC será la siguiente:

Tipo de HAC	Valor de la E_c
Denso	85 %
Semidenso	75 %

Anexo C

(informativo)

Determinación de la pérdida por desgaste en mezclas asfálticas por medio del ensayo Cántabro

C 1 Este anexo describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación del valor de la pérdida por desgaste de las mezclas asfálticas, empleando la Máquina de Los Ángeles. El procedimiento puede emplearse tanto en el proyecto de mezclas en el laboratorio como para el control en obra de las mismas.

C 1.1 El ensayo permite valorar indirectamente la cohesión, trabazón, así como la resistencia a la disgregación de la mezcla, ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tráfico.

C 2 Equipamiento necesario

C 2.1 Máquina de Los Ángeles: Máquina para el ensayo de Resistencia al desgaste de los áridos por medio la Máquina Los Ángeles.

C 2.2 Balanza: Una balanza de 2 kg de capacidad y 0.1 g de sensibilidad para pesar las probetas.

C 3 Ejecución del ensayo

C 3.1 Para cada contenido de asfalto determinado se confeccionan tres probetas Marshall. Antes de ensayarlas, las probetas se mantienen a la temperatura de ensayo un mínimo de 6 horas.

C 3.2 Se determina la masa de cada probeta con aproximación 0.1 g y se anota este valor (P_1).

C 3.3 Se introduce a continuación una probeta en el bombo de la máquina de los ángeles y sin la carga abrasiva de las bolas, se hace girar el tambor a la misma velocidad normalizada en el ensayo de áridos, durante 300 vueltas.

C 3.4 Al final del ensayo se saca la probeta y se pesa de nuevo con la misma aproximación de 0.1 g, anotando este valor como P_2 .

C 3.5 El ensayo se repite de forma idéntica con cada una de las probetas preparadas.

C 4 Resultados

C 4.1 Se calcula el resultado del ensayo de pérdida por desgaste para cada probeta ensayada, mediante la expresión:

$$P = \frac{P_1 - P_2}{P_1} * 100$$

Donde:

P= valor de la pérdida por desgaste, en %.

P_1 =masa inicial de la probeta, en gramos.

P_2 = masa final de la probeta, en gramos.

C 4.2 Se calcula el valor medio de todas las probetas análogas ensayadas.

C 4.3 En el resultado se incluirá la pérdida media por desgaste y la temperatura de ensayo.

Anexo D
(informativo)

Ejemplo para determinar el contenido optimo de asfalto

Si tenemos como resultado del Ensayo Marshall los valores que aparecen en la tabla D 1. Se proceden a gráfica estos valores según se muestra en la figura D.1, para determinar los valores ajustados de cada parámetro. Con los valores ajustados de Densidad se calculan los huecos en la mezcla y en los áridos.

Tabla D.1 — Resultado de los valores medios obtenidos del Ensayo Marshall

PEC comb = 2.5 Y Ab = 1.7					
Valores medios					
%asfalto	Estabilidad (kN)	Deformación (mm)	Densidad (g/cm ³)	Huecos Mezcla (%)	Huecos Áridos (%)
4.5	10	2	2.27	5.3	13.3
5	12.5	2.8	2.285	4.5	13.0
5.5	16	3.5	2.3	4.0	13.3
6	14.3	4	2.28	3.5	14.1
6.5	11.8	5.2	2.26	3.1	15.5

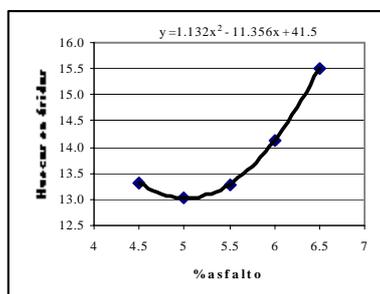
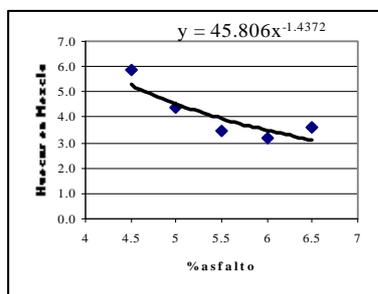
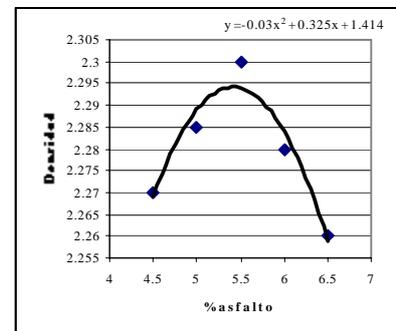
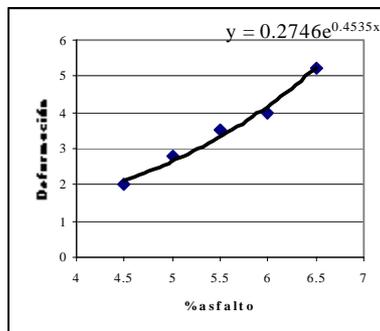
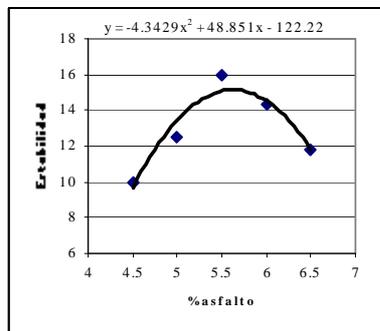


Figura D.1 — Representación gráfica de los parámetros Marshall

A partir de los valores ajustados se procede a determinar en que rango de asfalto se cumple la especificación establecida para cada parámetro (tabla C.3), por ejemplo: Se cumple que la estabilidad es mayor de 9 kN en todo el rango de asfalto probado desde 4,5 hasta 6,5 %. La deformación se encuentra entre 2 mm y 4 mm entre los contenidos de asfalto 4,5 % y 5,9 %.

Tabla D 2 — Valores ajustados de los parámetros Marshall

Valores ajustados					
%asfalto	Estabilidad ajustada (kN)	Deformación ajustada (mm)	Densidad ajustada (g/cm ³)	HM ajustado (%)	HA ajustado (%)
4.5	9.7	2.1	2.269	5.3	13.3
5	13.5	2.7	2.289	4.5	13.0
5.5	15.1	3.3	2.294	4.0	13.3
6	14.5	4.2	2.284	3.5	14.1
6.5	11.8	5.2	2.259	3.1	15.5

Tabla D 3 — Determinación del rango de asfalto en que se cumple la especificación para cada parámetro

	Estabilidad (kN)	Deformación (mm)	HM (%)	HA (%)
Especificación NC 54-223	>9	2-4	3-5	>13
Rango de asfalto que cumple la especificación	4.5-6.5	4.5-5.9	4.7-6.5	4.5-6.5

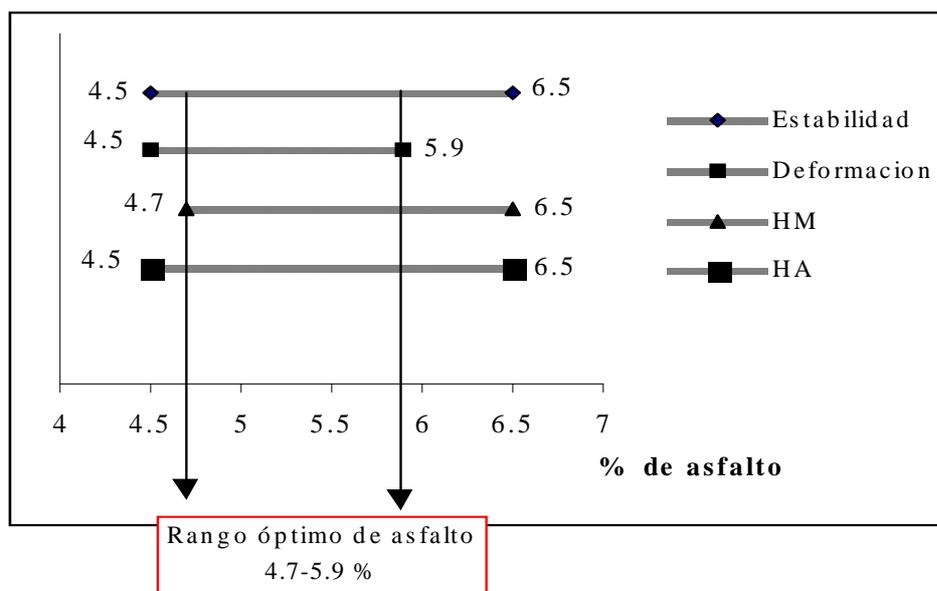


Figura D 2 — Representación esquemática de los rangos de asfalto en que se cumple cada parámetro

Una vez determinado el rango de asfalto óptimo según el método Marshall, se procede a realizar los ensayos complementarios que definirán con mayor precisión el % de asfalto óptimo. Para lo cual se elaboran probetas dentro del rango establecido variando el contenido de asfalto en 0.3%.

Si los datos obtenidos para los ensayos complementarios son los que aparecen en la Tabla C.4.

Tabla D 4 — Resultados de los ensayos complementarios

Ensayos	Recomendación	% de asfalto				
		4.7	5.0	5.3	5.6	5.9
Pista de Laboratorio (Velocidad Deformación μ_c/min)	20 máx.	2	6	13	20	33
Inmersión –Compresión ($E_{\text{consrv.}}$ %)	75 min.	55.8	79.3	93.0	81.0	74.4
Tracción Indirecta (kg/cm^2)	2.0 min.	1.04	2.19	2.08	1.9	1.8
Cántabro (% pérdida)	4.5 máx.	6.4	3.1	1.9	1.5	1.0

Según el ensayo en pista quedan eliminados los contenidos de asfalto 5.6 y 5.9 por estar en el límite y por encima del valor máximo respectivamente. Del ensayo de inmersión - compresión se desechan los por cientos de asfalto mayores de 5.3, a partir de los cuales comienza a disminuir la estabilidad conservada. La resistencia a tracción indirecta de la mezcla cumple para 5.0 y 5.3 % de asfalto y por último el ensayo Cántabro cumple para los por cientos de asfalto mayores de 5.0. Se representa, entonces, los rangos de asfaltos para cada ensayo para determinar el óptimo (Figura D 3).

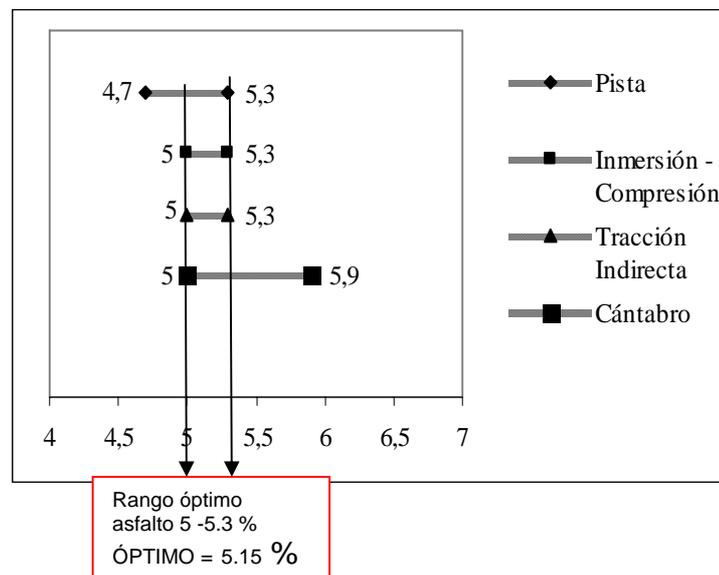


Figura D 3 — Representación esquemática de los rangos de asfalto en que se cumple cada parámetro.

Anexo E

(informativo)

PROCEDIMIENTO

Se confeccionan 4 probetas con diferentes energías de compactación (20 - 30 - 40 - 50 - 60 - 100) según el proyecto señale, siendo la energía tope aquella que coincida con el equivalente al 100 % de la energía de laboratorio señalado para cada tipo de mezcla en particular.

Se procede a ensayar las mismas para conocer las densidades, estabilidades logradas a lo largo del proceso.

Se calcula el porcentaje de densidad que representa la alcanzada con un cierto número de golpes respecto a la que debe alcanzarse en obra (98,95 % etc., de la del laboratorio, según el caso).

Se obtiene un gráfico como el siguiente, de cuyo posterior análisis se podrán deducir los valores de estabilidad logrados según la compactación alcanzada en obra, cumpla o no, con lo de proyecto.

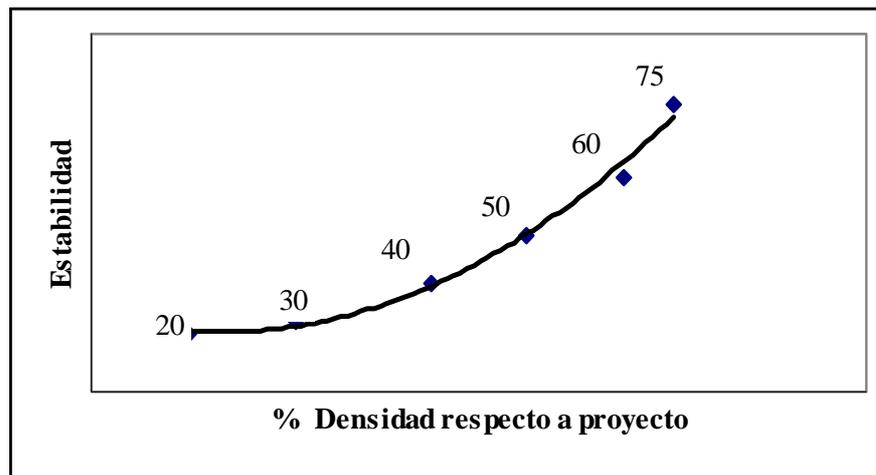


Figura E 1 — Golpes por cada cara en juegos de probetas confeccionadas con el contenido de asfalto.

Bibliografía

BS EN 12697-34. Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt. Part 34. Marshall test

ASTM D 1559 Test Method for Resistance of Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus.

UNE-EN 12697-6:2003. Mezclas bituminosas. Método de ensayo para mezcla bituminosa en caliente. Determinación de la densidad aparente de probetas bituminosas por el método hidrostático.

UNE-EN 12697-5:2003. Mezclas bituminosas. Método de ensayo para mezcla bituminosa en caliente. Determinación de la densidad máxima.

UNE-EN 12697-8:2003. Mezclas bituminosas. Método de ensayo para mezcla bituminosa en caliente. Determinación del contenido de huecos en las probetas bituminosas.

Mix Design methods for asphalt concrete and other hot mix types. Chapter III. Marshall Method of design. The Asphalt Institute. Manual Series N_o. 2 (MS-2), 1984.

Borrero García Francisco. Determinación de los parámetros volumétricos en las mezclas asfálticas. Informe CTIL 016-86. MICONS. Marzo, 1987.

Rodríguez Abriles, Carlos; Lauzardo, Jorge. Influencia del parafinado de las probetas en la Estabilidad Marshall.

NLT 352-86. Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo Cántabro de pérdida por desgaste.

RC2003-84 Hormigón asfáltico caliente. Determinación de la pérdida de Estabilidad por inmersión en agua.