

MATERIALES, NORMAS, DISEÑO Y

ESPECIFICACIONES

DISPOSICION MN-05 -2002

ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años los laboratorios de materiales del sector vial relacionados con el control y la verificación de la calidad de mezclas asfálticas, han empleado diversos criterios para definir el instante en que se realiza la lectura de los valores de estabilidad y flujo, basados en una interpretación particular del procedimiento descrito en la norma de ensayo estándar AASHTO T 245 y ASTM- D 1559.

Producto de lo anterior se han suscitado discrepancias importantes que el texto de las normas señaladas no ha permitido conciliar. La Administración ha buscado los mecanismos adecuados para minimizar las discrepancias y en aras de lograr este objetivo realizó una reunión en las oficinas del Consejo Nacional de Vialidad, en la que participaron representantes de la División de Obras Públicas del MOPT, el CONAVI, el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, laboratorios de materiales del sector privado, Consultores de Carreteras y Empresas Constructoras. De acuerdo a lo discutido en dicho encuentro, la Administración decidió adoptar por medio de una Disposición, la norma de ensayo española NLT-159-86 para la prueba de Estabilidad y Flujo Marshall, correspondiente con la norma ASTM-D 1559.

2. OBJETIVO

Establecer un criterio único para definir el punto de rotura o carga máxima de especímenes de mezcla asfáltica evaluados según el método Marshall y la especificación correspondiente, **además de sustituir la anterior disposición MN-04-2001.**

3. NORMA DE ENSAYO

El procedimiento que debe seguirse para determinar la resistencia a la deformación plástica de las mezclas asfálticas empleando el método Marshall es el descrito en la norma española de ensayo NLT-159/86 (ver anexo), aunado a las siguientes condiciones:

Solo serán válidos para efectos de diseño, aceptación y pago, los datos obtenidos con el uso de prensas de carga provistas de registro gráfico, o aquellas que permitan con los medios apropiados, generar en computadora el gráfico de carga-deformación, debido a que evitan posibles errores de lectura de los operadores y permiten estudiar las características de deformación de los especímenes durante el ensayo.

Cuando se diseñen o controlen mezclas asfálticas con el Método Marshall Modificado, se empleará el mismo criterio de falla definido en la norma NLT-159/86.

En sustitución de las normas de ensayo indicadas en la sección 5.2.3 de la norma NLT-159/86, para el cálculo de densidades y huecos, se utilizará la norma AASHTO T 269 Porcentaje de vacíos de aire en mezclas compactadas de pavimento bituminoso, densas y abiertas (*Percent Air Voids in Compacted Dense an Open Bituminous Paving Mixtures*). Ver anexo

Las lecturas de estabilidad y deformación para su comparación con la especificación correspondiente, serán los valores del par ordenado de la estabilidad Marshall (máxima) y la deformación Marshall (máxima) o sea (E_M , D_M), como se aprecia en la figura N° 5 del Anexo

4. ESPECIFICACIÓN

Las mezclas asfálticas diseñadas con los Métodos Marshall Estándar o Modificado deberán cumplir con los siguientes requisitos:

| Tabla No. 1. Especificación para mezclas asfálticas con el Método Marshall. | | | |
|--|-----------------|-----------------------------|-------------------------------|
| PARÁMETRO | UNIDADES | MARSHALL ESTANDAR | MARSHALL MODIFICADO |
| Estabilidad | N (kg) | 8000 mínimo (800 mínimo) | 18000 mínimo (1800 mínimo) |
| Flujo | cm 1/100 | 20 – 35 | 30 – 60 |

ANEXO

Resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACION

1.1 Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación de la resistencia a la deformación plástica de las mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall. El procedimiento puede utilizarse tanto para el proyecto de mezclas en laboratorio como para el posterior control en obra de las mismas.

1.2 El ensayo consiste en la fabricación de probetas cilíndricas de 101,6 mm de diámetro y 63,5 mm de altura preparadas como se describe en esta norma, rompiéndolas posteriormente en la prensa Marshall para determinar su estabilidad y deformación.

1.3 El procedimiento general es de aplicación a todas las mezclas bituminosas fabricadas en caliente con tamaño máximo de áridos de 25 mm en las que el aglomerante sea un betún de petróleo o un alquitrán. Puede aplicarse también a las mezclas fabricadas en frío, aunque en este caso las condiciones, tanto de fabricación de las probetas como de curado y rotura, habrán de adaptarse a las características especiales de este tipo de mezclas.

1.4 El ensayo Marshall se puede igualmente utilizar para la obtención de los valores de estabilidad y deformación tanto de testigos extraídos de un pavimento como de probetas fabricadas por otros métodos de compactación, aunque en estos casos los valores pueden ser diferentes a los obtenidos sobre probetas compactadas siguiendo esta norma.

1.5 El procedimiento es también aplicable al proyecto de mezclas en el laboratorio mediante el método Marshall, para lo cual se fabrican y ensayan series de probetas análogas con porcentajes crecientes de ligante, calculando sus densidades relativas y diferentes contenidos de huecos. A partir de estos resultados se puede determinar el contenido óptimo de ligante de una mezcla de áridos de composición y granulometría determinadas.

2 APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

2.1 Conjunto de compactación. Está formado por el molde, el collar y la placa de base, fabricados de acero cadmiado y con la forma y dimensiones indicadas en la figura 1. Para facilitar su manejo es conveniente que el molde esté provisto de un asa.

2.2 Extractor. Para sacar la probeta del molde una vez compactada se sustituye la placa de base por un disco extractor de acero, de diámetro comprendido entre 100 y 101 mm y unos 15 mm de espesor, utilizando cualquier dispositivo que fuerce suavemente a la probeta a pasar del molde al collar.

2.3 Maza de compactación. Para compactar las probetas se emplea un dispositivo de acero formado por una base plana y circular de 98,4 mm de diámetro y un pisón de 4.536 g, montado de forma que se pueda conseguir una caída libre del mismo sobre la base desde una altura de 457,2 mm. Su forma y dimensiones serán las de la figura 2.

2.4 Base de compactación. Consiste en una pieza prismática de madera de base cuadrada, de 200 mm de lado y 450 mm de altura, y provista en su cara superior de una placa cuadrada de acero de 300 mm de lado y 25 mm de espesor, firmemente sujeta en la misma. La madera será de roble, pino u otro tipo cuya densidad seca esté comprendida entre 670 y 770 kg/m³. El conjunto se fijará firmemente a una base de hormigón, debiendo quedar la placa de acero horizontal.

2.5 Soporte del molde. Se utilizará cualquier dispositivo que permita fijar rígidamente y centrar sobre la base de compactación el conjunto del molde, collar y placa de base durante la compactación de las probetas.

2.6 Mordazas. Las mordazas, figura 3, consisten en dos segmentos cilíndricos con radio de curvatura interior de 50,8 mm y con sus superficies perfectamente mecanizadas. La mordaza inferior, que termina en una base plana de apoyo, está provista de dos varillas perpendiculares a la base

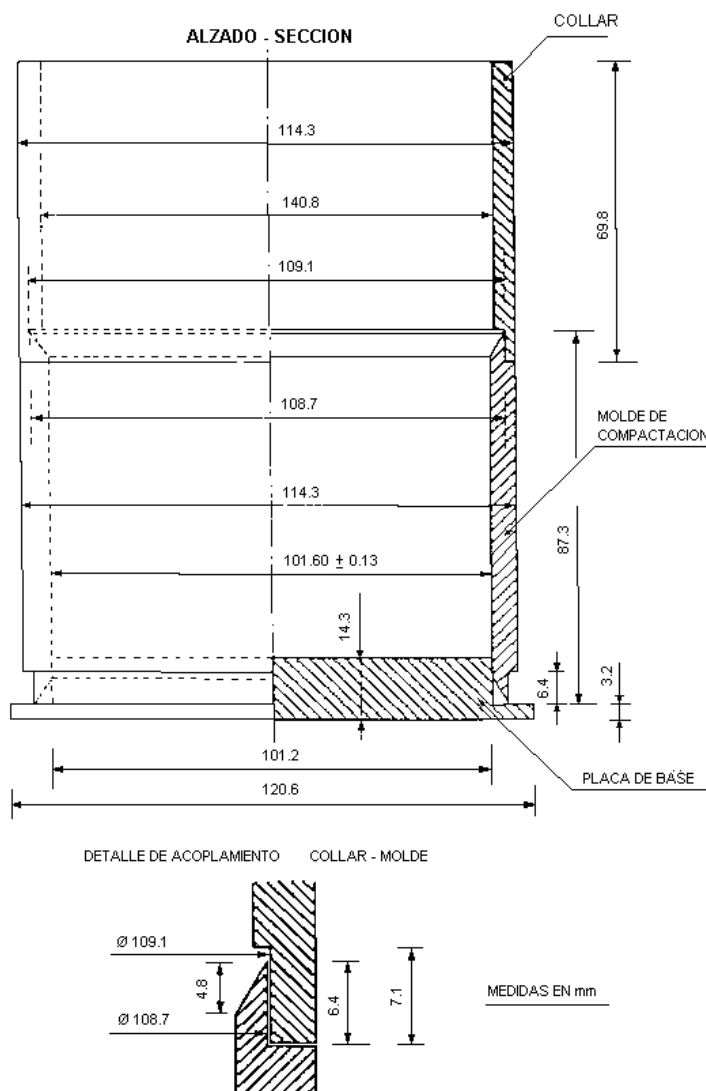


FIGURA 1. Conjunto de compactación.

que sirven de guía, sin rozamiento apreciable, a la mordaza superior.

2.7 Prensa. Para la rotura de las probetas se empleará cualquier tipo de prensa, mecánica o hidráulica, capaz de proporcionar durante la aplicación de la carga una velocidad uniforme de desplazamiento de la mordaza de $0,85 \pm 0,02$ mm/s (50,8 mm/mm). Su capacidad de carga mínima será de 30 kN (3.000 kgf) y deberá comprobarse frecuentemente que su velocidad durante la carga se mantiene dentro de un margen de error del $\pm 5\%$.

2.8 Medidas de la estabilidad y la deformación. La resistencia de la probeta durante el ensayo se puede medir mediante anillos dinamométricos acoplados

directamente a la prensa, y capaces de una lectura en cualquier punto de la escala con una precisión del $\pm 2\%$ de la carga. La deformación, o disminución del diámetro de la probeta, puede obtenerse con un comparador dividido en décimas de milímetro (0,1 mm) y de lectura final fija, sujeto firmemente en la mordaza superior y cuyo vástago se apoya en una palanca ajustable, acoplada en la mordaza inferior (fig. 4). En el laboratorio, es recomendable disponer de prensas con células de carga y transductor de desplazamiento para el registro gráfico de la curva estabilidad-deformación, que cumplan el requisito de precisión indicado antes.

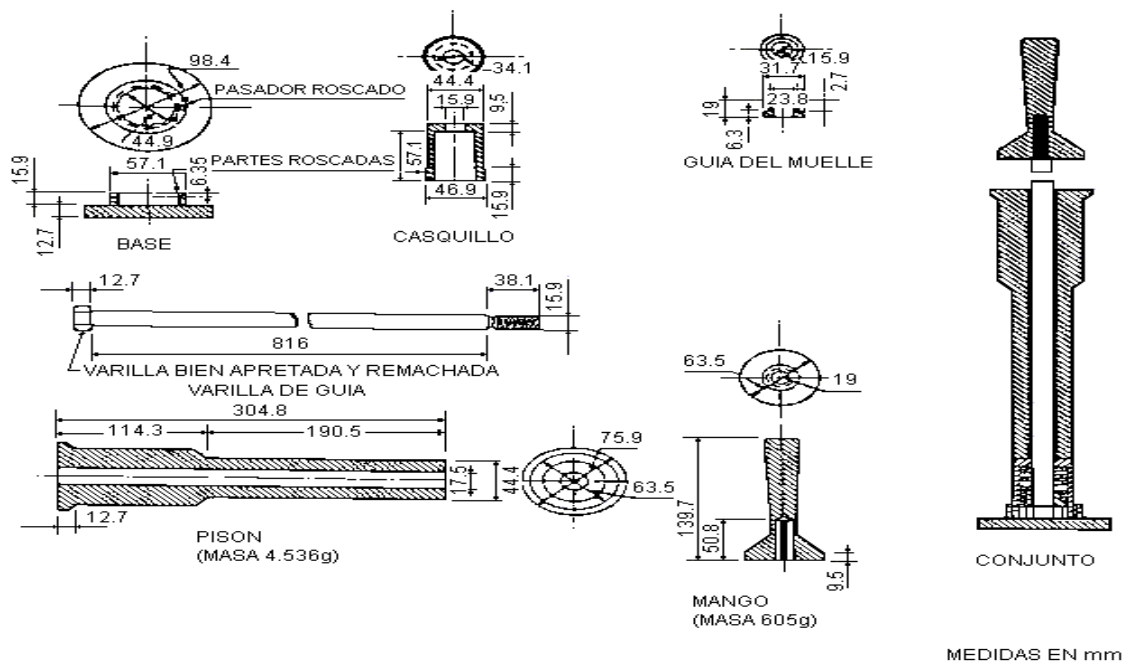


FIGURA 2. Maza de compactación para el aparato Marshall.

Una escala adecuada para el registro gráfico puede ser la de:

- 15 mm para cada kN de estabilidad
- 10 mm para cada mm de deformación

2.9 Elementos de calefacción. Para el calentamiento de los áridos, material bituminoso, conjunto de compactación y maza se empleará una estufa con control termostático, capaz de mantener la temperatura requerida con un error menor de 3 °C.

2.10 Mezcladora. Es recomendable que la operación de mezclado de los materiales se realice en una mezcladora mecánica de fondo cóncavo, calorifugada y que produzca en el menor tiempo posible una mezcla homogénea a la temperatura requerida. Si la operación de mezclado se realiza a mano, para evitar el enfriamiento de los materiales se debe realizar este proceso sobre una placa de calefacción o mechero de gas, tomando las precauciones necesarias para impedir sobrecalentamientos locales.

2.11 Baño de agua. Para sumergir y calentar las probetas se dispondrá de un baño de agua de 50 litros como mínimo de capacidad y profundidad mínima de 150 mm, provisto de control termostático capaz de mantener la temperatura de ensayo con una precisión de ± 1 °C. Es conveniente que el baño lleve una placa perforada para mantener las probetas a 50 mm de su fondo.

2.12 Termómetros. Para medir las temperaturas de los áridos, ligante y mezcla bituminosa, se emplearán termómetros metálicos con escala hasta 200 °C y sensibilidad de 3 °C. Para la temperatura del baño de agua se utilizará un termómetro con escala de 20 a 70 °C y sensibilidad de 0,2 °C.

2.13 Balanzas. Una balanza de 2 kg de capacidad y 0,1 g de sensibilidad para pesar las probetas, y otra de 5 kg de capacidad y 1 g de sensibilidad para la preparación de las mezclas.

2.14 Material general. Bandejas, cazos, espátulas, guantes de amianto y de goma, lápices grasos, cogedores curvos, discos de papel de filtro, etc.

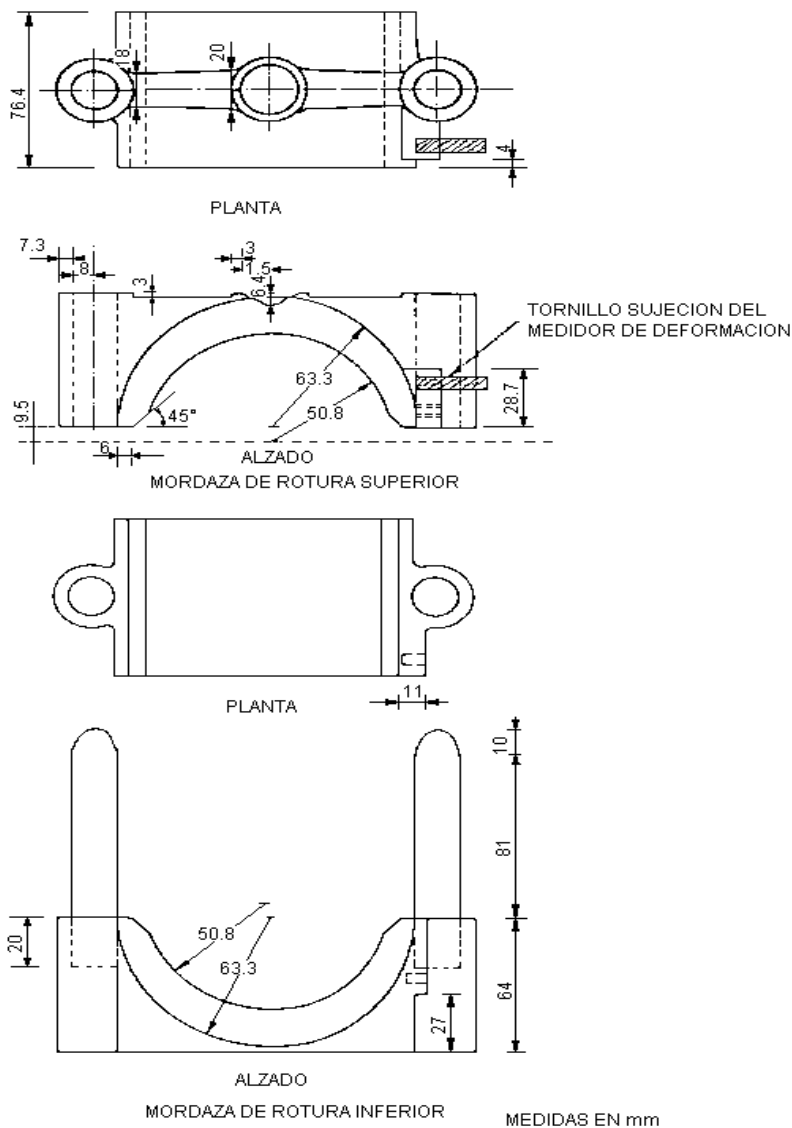


FIGURA 3. Mordazas.

3 PROCEDIMIENTO

3.1 Preparación de las probetas

3.1.1 Número de probetas. En general, el número mínimo de probetas a fabricar es de tres por cada mezcla. Sin embargo, es conveniente incrementar este número en el caso de mezclas de granulometría gruesa o abierta, a causa de las mayores dispersiones que se producen en los resultados (una o dos dispersiones que se producen en los resultados (una o dos probetas más).

Además, si está previsto tener que parafinar probetas para calcular densidades, hay que contar con un mínimo de otras tres probetas para esta determinación, ya que las probetas parafinadas no se pueden utilizar para romperlas en la prensa.

3.1.2 Preparación de los áridos. Las distintas fracciones de áridos de que se disponga para la composición de la mezcla se secan en estufa a 105-110 °C hasta pesada constante y se separan a continuación por tamizado en seco en el número de fracciones necesarias. En general, se recomiendan las siguientes fracciones para la serie gruesa:

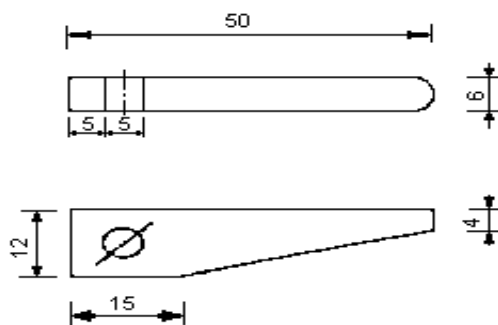
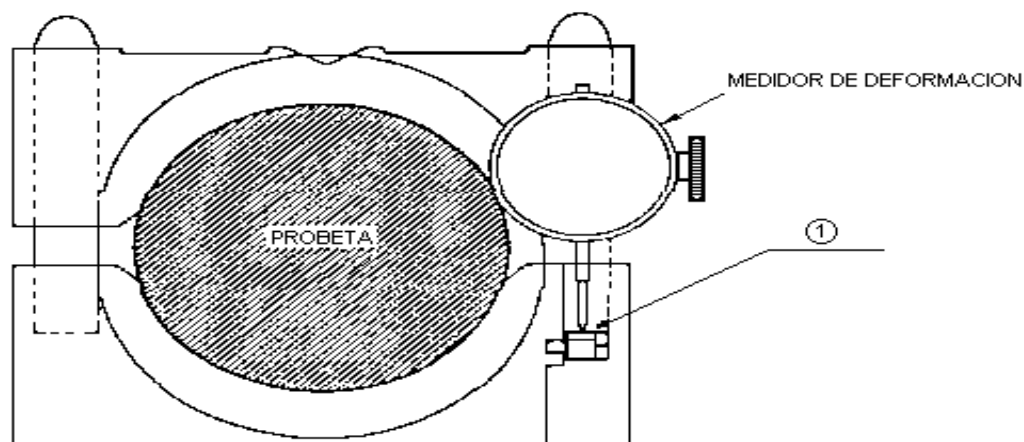
- Fracción: 25-20 mm
- Fracción: 20-12,5 mm
- Fracción: 12,5-10 mm
- Fracción: 10-5 mm
- Fracción: 5-2,5 mm

- Fracción: 2,5 mm - 320 µm
- Fracción: 320 µm - 80 µm
- Fracción: pasa 80 µm (filler)

3.1.3 Temperaturas de mezcla y compactación.

En el caso de que el ligante sea un betún, las temperaturas de mezcla y compactación serán las necesarias para que su viscosidad sea de 170 ± 20 cSt (85 ± 10 SSF) en el proceso de mezcla y de 280 ± 30 cSt (140 ± 15 SSF) en el de compactación. Si se emplea un alquitrán, sus viscosidades respectivas serán de: 25 ± 3 grados Engler para la mezcla y de 40 ± 5 grados Engler para la compactación.

Y un mínimo de tres fracciones para la serie fina:



MEDIDAS EN mm

① PALANCA DEL MEDIDOR DE DEFORMACION

FIGURA 4. Dispositivo de ensayo de la probeta y mordazas.

3.1.4 Preparación de las mezclas

3.1.4.1 Las probetas se fabrican individualmente, pesando sucesivamente en un recipiente tarado las cantidades necesarias de cada fracción, salvo el filler, para obtener una probeta compactada de $63,5 \pm 1,3$ mm de altura (Nota 1). Se coloca a continuación el recipiente en una estufa o placa de calefacción y se calienta la mezcla de áridos a una temperatura que sea, como máximo, unos 30°C superior a la especificada para el mezclado en el apartado 3.1.3.

Nota 1. Dado que ha caído en desuso la realización de la probeta de prueba para las correcciones de altura, se recomiendan para cada probeta las siguientes cantidades en función del tipo de mezcla:

Mezclas tipo G y A: 1.100g

Mezclas tipo D y S: 1.200 g

3.1.4.2 La cantidad de ligante necesaria para la fabricación de las probetas se calienta en un cazo pequeño tapado, en una estufa y a la temperatura de mezcla prescrita según el apartado 3.1.3, evitando un calentamiento inicial fuerte. El ligante no debe estar más de una hora a esta temperatura. El material sobrante se desecha.

3.1.4.3 A continuación se vierten los áridos en el recipiente para el mezclado y se efectúa una mezcla ligera en seco de los mismos, se forma un cráter en su centro y se añade por pesada la cantidad exacta de ligante calculada para la mezcla.

Nota 2. Suele ser conveniente «manchar», previamente la mezcladora con una amasada inicial, que se desecha.

3.1.4.4 En este momento la temperatura de ambos materiales debe estar dentro de los límites especificados en el apartado 3.1.3 para el proceso de mezcla. Se inicia un primer mezclado y, después que los áridos gruesos y finos hayan sido envueltos por el ligante, se añade el filler si lo hubiera, y se continúa el proceso de mezclado hasta que la mezcla quede homogéneamente cubierta, teniendo cuidado de evitar pérdidas de material, principalmente finos, durante todo el proceso. Es preferible realizar la operación de mezclado en una mezcladora mecánica, a efectos de homogeneidad y uniformidad de las mezclas, aun cuando puede realizarse igualmente la mezcla de forma manual. En cualquier caso, el tiempo de mezclado debe ser lo más breve posible para conseguir una completa y homogénea cobertura de todas las partículas minerales.

Nota 3. No existe una normativa clara acerca de los tiempos de mezclado, ya que ello depende en gran manera de las características tanto de la propia mezcla como de la amasadora, y también es probable que los tiempos de mezcla tengan que ser mayores con contenidos más bajos de ligante. De todas formas, puede ser práctico recomendar un tiempo de mezclado de dos a tres minutos con mezcladoras mecánicas.

3.2 Compactación de las probetas

3.2.1 Previamente a la preparación de las mezclas, el conjunto del collar, molde y placa de base, así como la base de la masa de compactación, se limpian y calientan a una temperatura entre 95 y 150°C .

3.2.2 Se monta el conjunto de compactación en la base de compactación y se sujeta firmemente mediante el soporte de fijación. Se coloca un papel de filtro del diámetro del molde en su fondo y se vierte en él el total de la mezcla recién fabricada, evitando las segregaciones de material; se ayuda la distribución de la mezcla con una espátula apropiada y caliente, por medio de 15 golpes en su periferia y 10 en su interior; finalmente se alisa la superficie de la mezcla dándole una forma ligeramente convexa.

3.2.3 La temperatura de la mezcla inmediatamente antes de la compactación deberá estar comprendida dentro de los límites establecidos para este proceso en el apartado 3.1.3. A continuación se le aplican con la maza el número de golpes especificado sobre una cara de la probeta, e inmediatamente se desmonta el collar, se invierte el molde y, fijado de nuevo el conjunto de compactación, se aplica igual número de golpes sobre la otra cara de la probeta.

Nota 4. Aunque actualmente está muy extendido el empleo de la compactación mecánica, la compactación manual puede ser igualmente adecuada siempre que la maza se mantenga en posición vertical, se controle cuidadosamente la altura de caída y se evite el rebote sobre la probeta.

3.2.4 Una vez compactada la probeta, se debe esperar un tiempo mínimo de dos horas antes de desmoldarla. Para esta operación, se sustituye la placa de base por el disco extractor y se fuerza suavemente a la probeta a pasar desde el molde al collar, con ayuda del mecanismo de extracción. Una vez extraída, se quitan los papeles de filtro y se coloca la probeta cuidadosamente sobre una superficie plana, limpia y al abrigo del calor, hasta el momento del ensayo; en obra, se esperará un tiempo mínimo de seis horas y en el laboratorio hasta el día siguiente a su fabricación.

Nota 5. Como mecanismo de extracción se puede utilizar un bastidor al que se le haya acoplado convenientemente un gato hidráulico. En obra, se puede emplear incluso lo propia prensa.

3.2.5 Las mezclas que necesiten de un período de curado adicional se mantendrán dentro del molde hasta que adquieran la cohesión suficiente para poderlas desmoldar.

3.2.6 Cuando las probetas se fabriquen en obra con mezcla procedente de una planta asfáltica, la temperatura de compactación debe ser la misma que se especifica para el tipo de ligante empleado, según el apartado 3.1.3. Si se va a realizar el ensayo con mezclas ya fabricadas y frías, se comenzará calentando en estufa, a una temperatura unos 30⁰C inferior a la especificada para el tipo de ligante, la cantidad necesaria para obtener por cuarteo las porciones precisas, de unos 1.200 g, para fabricar cada probeta. Estas porciones se calientan entonces a la temperatura de compactación durante una hora, realizándose seguidamente esta operación en la forma general. No debe emplearse una mezcla que haya sido ya recalentada.

3.3 Densidad y análisis de huecos. La densidad de las probetas se puede determinar tan pronto como se hayan enfriado a temperatura ambiente. En la norma NLT-168 se describen los procedimientos a seguir para determinar la densidad relativa de las mezclas bituminosas compactadas, así como los cálculos para los distintos contenidos de huecos.

3.4 Ejecución del ensayo

3.4.1 Se limpia con cuidado la superficie interior de las mordazas y sus varillas de guía, engrasando ligeramente éstas ara favorecer el deslizamiento de la mordaza superior. Durante el ensayo, las mordazas deberán estar a una temperatura comprendida entre los 20 y 40 °C, empleando un baño de agua para calentarlas si fuera necesario.

3.4.2 Calentamiento de las probetas. Antes de romperlas, las probetas se sumergen durante 35 ± 5 minutos en un baño de agua a 60 ± 1 °C , si se trata de mezclas fabricadas con betún, o a 38 ± 1 °C si se trata de mezclas fabricadas con alquitrán.

Nota 6. Las probetas se colocan con una cara plana apoyada sobre lo plancha perforada del baño y lo suficientemente espaciados para que el agua circule libremente entre ellos. La capacidad del baño deberá

garantizar una cobertura completa de todas las probetas, así como el mantenimiento en todo momento de la temperatura del agua dentro de los límites especificados en 3.4.2. El ritmo y orden de inmersión de las probetas en el baño debe ser el mismo de su extracción para el ensayo.

3.4.3 Rotura de las probetas. Una vez cumplido el tiempo de calentamiento en el baño, se saca la probeta y se coloca centrada sobre la mordaza colocada en el plato inferior de la prensa; se monta la mordaza superior, juntamente con el dispositivo o medidor de deformación puesto a cero para la lectura de la deformación absoluta de la probeta durante el ensayo. Se aplica entonces la carga a la probeta a la velocidad especificada en el apartado 2.7 hasta que se produce la rotura de la misma; el tiempo transcurrido desde que se saca la probeta del baño hasta el instante de la rotura no debe exceder de treinta segundos.

3.4.3.1Prensas sin registro gráfico. Con este tipo de prensas, la rotura o carga máxima se considera que tiene lugar en el instante de producirse la primera parada o máximo instantáneo observado en el comparador del anillo dinamométrico, prescindiendo de cualquier posible avance intermitente posterior, este valor se define como la estabilidad Marshall de la probeta. En este mismo instante se inmoviliza el desplazamiento del medidor de deformación; la lectura indicada en el mismo se define como la deformación Marshall de la probeta, y expresa la disminución de diámetro que experimenta la misma entre la carga cero y el instante de rotura o carga máxima.

3.4.3.2Prensas con registro gráfico. El ensayo con prensas provistas de registro gráfico continuo de la curva estabilidad-deformación tiene la ventaja de evitar los posibles errores de lectura del operador; además, permite estudiar las características de deformación de la probeta durante el ensayo, por lo que está especialmente recomendado para laboratorios.

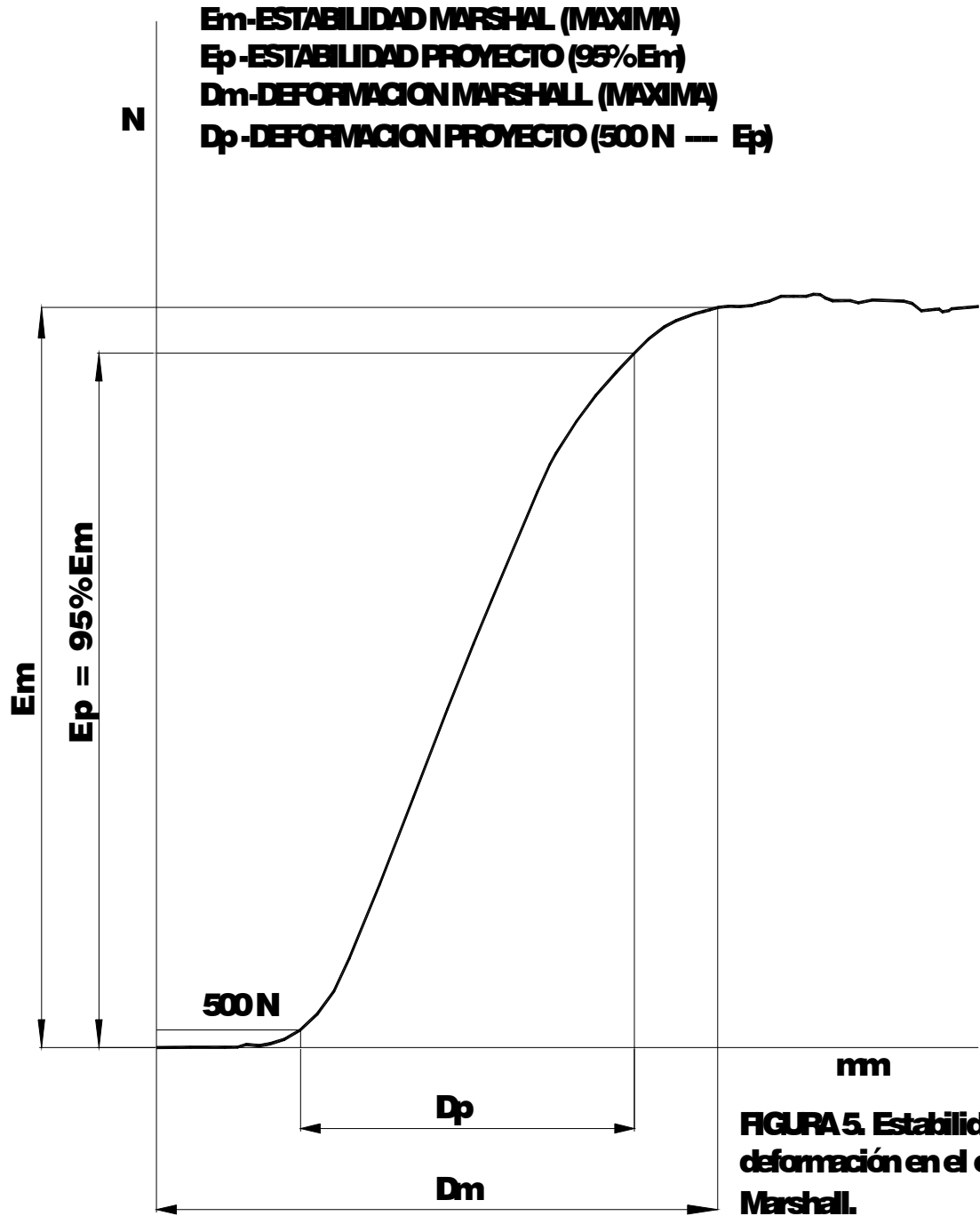


FIGURA 5. Estabilidad y deformación en el ensayo Marshall.

| Volumen de la muestra en cm ³ | Espesor aproximado de la muestra en mm | Factor de corrección |
|--|--|----------------------|
| 200-213 | 25.4 | 5.56 |
| 214-225 | 26.9 | 5.00 |
| 226-237 | 28.6 | 4.55 |
| 238-250 | 30.2 | 4.17 |
| 251-264 | 31.8 | 3.85 |
| 265-276 | 33.3 | 3.57 |
| 277-289 | 34.9 | 3.33 |
| 290-301 | 36.5 | 3.03 |
| 302-316 | 38.1 | 2.78 |
| 317-328 | 39.7 | 2.50 |
| 329-340 | 41.3 | 2.27 |
| 341-353 | 42.9 | 2.08 |
| 354-367 | 44.5 | 1.92 |
| 368-379 | 46.0 | 1.79 |
| 380-392 | 47.6 | 1.67 |
| 393-405 | 49.2 | 1.56 |
| 406-420 | 50.8 | 1.47 |
| 421-431 | 52.4 | 1.39 |
| 432-443 | 54.0 | 1.32 |
| 444-456 | 55.6 | 1.25 |
| 457-470 | 57.2 | 1.19 |
| 471-482 | 58.7 | 1.14 |
| 483-495 | 60.3 | 1.09 |
| 496-508 | 61.9 | 1.04 |
| 509-522 | 63.5 | 1.00 |
| 523-535 | 65.1 | 0.96 |
| 536-546 | 66.7 | 0.93 |
| 547-559 | 68.3 | 0.89 |
| 560-573 | 69.9 | 0.86 |
| 574-585 | 71.5 | 0.83 |
| 586-598 | 73.0 | 0.81 |
| 599-610 | 74.6 | 0.78 |
| 611-625 | 76.2 | 0.76 |

TABLA 1. Corrección de la estabilidad.

En la figura 5 se representa un gráfico de este tipo en el cual, y al objeto de poder correlacionar los valores de estabilidad y deformación entre prensas con y sin registro gráfico, se definen los siguientes parámetros:

- Estabilidad Marshall máxima E_M
- Deformación Marshall máxima D_M
- Estabilidad Marshall de proyecto E_p
- Deformación Marshall de proyecto D_p

correspondiendo la estabilidad y deformación Marshall máximas a los valores máximos de ambos parámetros equivalentes a las lecturas realizadas en las prensas sin registro. Se definen los nuevos parámetros de estabilidad Marshall de proyecto E_p , como el 95 % de la estabilidad Marshall máxima, y como deformación Marshall de proyecto D_p , la comprendida entre la abscisa correspondiente a la carga de 500 N, carga de

asentamiento y la abscisa correspondiente al 5 % de la estabilidad Marshall máxima, E_M .

3.4.4 Correcciones de la estabilidad por altura. La estabilidad de la probeta obtenida directamente en el ensayo hay que corregirla en función de su altura o espesor, multiplicándola por un factor de corrección, para obtener la verdadera estabilidad. En la tabla 1 se indican los factores correspondientes en función del volumen o espesor de la probeta, lo que implica el conocimiento previo de este dato del ensayo. Esta corrección es de aplicación tanto a las probetas fabricadas en un molde como a los testigos extraídos de un pavimento.

4 RESULTADOS

4.1 Definiciones

4.1.1 Estabilidad Marshall. Se define la estabilidad Marshall, como la carga máxima en N resistida por la probeta, definida según el tipo de prensa utilizado (apartados 3.4.3.1 ó 3.4.3.2) y multiplicada por el factor de corrección correspondiente, según la tabla 1. El resultado se expresa con una aproximación de 100 N.

4.1.2 Deformación Marshall. Se define la deformación Marshall, como la disminución de diámetro expresada en mm que experimenta una probeta entre el comienzo de la carga y el instante de su rotura, definidos ambos puntos según el tipo de prensa utilizado (apartados 3.4.3.1 ó 3.4.3.2). El resultado se expresa con una aproximación de 0,1 mm.

4.1.3 En el caso de utilizarse una prensa sin registro gráfico, los resultados de estabilidad y deformación serán los obtenidos según el apartado 3.4.3.1.

Si se utiliza una prensa con registro gráfico, los resultados incluirán los cuatro valores de estabilidad y deformación, máxima y de proyecto, definidos en el apartado 3.4.3.2.

4.2 Expresión de los resultados. Los resultados de la estabilidad y deformación serán los valores medios respectivos de un mínimo de tres probetas ensayadas, obtenidos según 4.1.1 y 4.1.2. Si el ensayo se realiza en una prensa con registro gráfico, los resultados deben incluir los valores medios respectivos de los cuatro parámetros definidos en 4.1.3.

4.3 Juntamente con los valores definidos en 4.2, es conveniente que con los resultados se incluya la siguiente información (total o parcial):

- Origen de la muestra (laboratorio, obra, muestra original o recalentada, testigo, etc.).
- Temperaturas de mezcla y compactación.
- Espesor o volumen de la probeta o testigo.
- Datos de la mezcla (tipo, granulometría, ligante y porcentaje, etc.) que se consideren de interés.

5 DETERMINACION DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE LIGANTE

5.1 Cuando se utilice el método Marshall para la dosificación y determinación del contenido óptimo de ligante de una mezcla de áridos, se preparan en el laboratorio series de probetas con una granulometría fija y determinada y con contenidos crecientes de ligante, fabricadas y posteriormente rotas siguiendo el procedimiento descrito en esta norma.

5.2 Para el estudio de una dosificación se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

5.2.1 Áridos. Las muestras de áridos remitidas al laboratorio serán en todo momento representativas de los distintos acopios existentes, cuyo control, en todo caso, es conveniente llevarlo por el método de las medias móviles. No es recomendable el tener que recurrir a un machaqueo adicional en el laboratorio para completar eventuales tamaños.

5.2.2 Dosificación. Para el estudio de la dosificación en el laboratorio se recomienda utilizar como granulometría más representativa de la mezcla la obtenida mediante el control de los acopios por el método de las medias móviles, ajustando a esta granulometría teórica la de la mezcla a estudiar. Para esta dosificación, se fabricará un mínimo de cinco series de probetas con la misma granulometría y con porcentajes crecientes de uno en uno de ligante, a partir del porcentaje mínimo determinado por el ensayo de envuelta. El número mínimo de probetas por cada serie será de tres, que puede aumentarse a cuatro ó cinco en el caso de mezclas más abiertas. Además, si se va a determinar la densidad en probetas parafinadas, habrá que fabricar tres probetas más, como mínimo, para esta determinación.

5.2.3 Cálculo de densidades y huecos. Previamente hay que determinar la densidad de la mezcla de áridos mediante la norma NLT-167 «Densidad relativa de la mezcla de áridos en aceite de parafina». Para la determinación de la densidad de las probetas y cálculo de huecos se empleará la norma NLT-168 «Densidad y huecos en mezclas bituminosas compactadas».

5.2.4 Gráficos. Una vez ensayadas las probetas, con los valores medios de la estabilidad,

deformación, densidad y contenidos de huecos, se calculan y dibujan en función de los porcentajes de ligante los siguientes gráficos:

| | |
|-------------------|---------------|
| Estabilidad | % de ligante. |
| Deformación | % de ligante |
| Densidad relativa | % de ligante |
| Huecos en mezcla | % de ligante |
| Huecos en áridos | % de ligante |

En el caso de utilizarse una prensa con registro, los gráficos de estabilidad y deformación incluirán las dos curvas de estabilidad y deformación máxima y de proyecto, obtenidas a partir de los valores determinados según el apartado 3.4.3.2.

5.2.5 Una vez calculados todos los parámetros de la mezcla, se analizan los valores obtenidos y, de acuerdo con los criterios basados en la especificación de proyecto, se determina el contenido óptimo de ligante.

5.2.6 Si de la observación de la curva de huecos en áridos se manifiesta una clara dificultad para cumplir las especificaciones, se recomienda estudiar otras curvas granulométricas teniendo en cuenta que los porcentajes de ligante adecuados deben corresponder a la rama descendente de esta curva de huecos en áridos.

6 CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

ASTM D 1559-82 «Test Method for Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus».

SNV 671969 b (1976) «Marshall-Versuch-Essai Marshall».

Méthode d'essai 54.16 (Belgique).

Mesas Redondas para el estudio de problemas planteados en el Ensayo Marshall. Laboratorio Transporte, Servicio Tecnología DGC y Laboratorios Regionales (MOPU) 1976, 1977 y 1978.

The Asphalt Institute, Manual Series, MS-2 (1984).

7 NORMAS PARA CONSULTA

NLT-167 «Densidad relativa de los áridos en aceite de parafina».

NLT-168 «Densidad y huecos de las mezclas bituminosas compactadas».

METHODS OF SAMPLING TESTING

Standard Method of Test For:

(Porcentaje de vacíos de aire en mezclas compactadas de pavimento bituminoso, densas y abiertas)
Percent Air Voids in Compacted Dense and Open Bituminous Paving Mixture

AASHTO DESIGNATION: T 269-94¹
(ASTM DESIGNATION: D 3203-91)

1. SCOPE

1.1 This method covers determination of the percent air voids in compacted dense and open bituminous paving mixtures.

1.2 *This standard may involve hazardous materials, operations, and equipment. This standard does not purport to address all of the safety problems associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. REFERENCED DOCUMENTS

2.1 AASHTO Standards:

- T 166 Bulk Specific Gravity of Compacted Bituminous Mixtures
- T 209 Maximum Specific Gravity of Bituminous Paving Mixtures
- T 275 Bulk Specific Gravity of Compacted Bituminous Mixtures Using Paraffin-Coated Specimens

2.2 ASTM Standards:

- D 3549 Test Method for Thickness or Height of Compacted Bituminous Paving Mixture Specimens

¹ Except for wording associated with referencing AASHTO Tests and Section 7.2, this test method is identical with ASTM D 3203.91.

- D 4460 Practice for the Calculation of Precision Limits Where Values are Calculated from Other Test Methods

E 12 Definitions of Terms Relating to Density and Specific Gravity of Solids, Liquids, and Gases

3. SIGNIFICANCE AND USE

3.1 The percent of air voids in a bituminous mixture is used as one of the criteria in the design methods and for evaluation of the compaction imparted in bituminous paving projects.

4. TERMINOLOGY

4.1 The terms *specific gravity* and *density* used in this test method are in accordance with ASTM Definitions E 12.

4.2 DEFINITIONS

4.2.1 Air Voids—the pockets of air between the bitumen-coated aggregate particles in a compacted bituminous paving mixture.

4.2.2 Dense Bituminous Paving Mixture—bituminous paving mixtures in which the air voids are less than 10 percent when compacted.

4.2.3 Open Bituminous Paving Mixtures—bituminous paving mixtures in which the air voids are 10 percent or more when compacted.

4.2.3.1 For borderline cases, a bituminous paving mixture shall be designated an open bituminous paving mixture if the calculated percent air voids, based on either Section 6.1 or 6.2, is 10 percent or more.

5. SAMPLING

5.1 Samples for testing shall consist of specimens from laboratory molded mixtures or cores from field compacted mixtures.

6. PROCEDURE

6.1 For dense bituminous paving mixtures, determine the bulk specific gravity of the compacted mixture either by T 166 or T 275. Determine the theoretical maximum specific gravity in accordance with T 209 on a comparable bituminous mixture to avoid the influence of differences in gradation, asphalt content, etc.

6.2 For open bituminous mixtures, determine the density of a regularly shaped specimen of compacted mixture from its dry mass (in grams) and its volume in cubic centimeters). Obtain the height of the specimen by ASTM Practice D 3549. Measure the diameter of the specimen at four locations and average. Calculate the volume of the specimen based on the average height and diameter measurement. Convert the density to bulk specific gravity by dividing by 0.99707 g/cm³ or 997 kg/m³, the density of water at 25⁰C (77⁰F). Determine the theoretical maximum specific gravity in accordance with T 209 on a comparable bituminous mixture to avoid the influence of differences in gradation, asphalt content, etc.

METHODS OF SAMPLING TESTING

6.3 For reference purposes, determine both the bulk specific gravity and the theoretical maximum specific gravity on aliquot portions of the same sample of compacted bituminous paving mixture.

7. CALCULATIONS

7.1 Calculate the percent air voids in a compacted bituminous paving mixture as follows:

$$\text{Percent air voids } 100(1 - A/B)$$

Where:

A = bulk specific gravity

B = theoretical maximum specific gravity

7.2 Report the percent air voids to one decimal place.

8. PRECISION AND BIAS

8.1 The precision of this test method depends on the precision of test methods for bulk specific gravity and theoretical maximum specific gravity. It is computed by a procedure described in Practice D 4460. Since the computation for percent air voids in Section 7.1 involves the quotient of bulk specific gravity divided by the theoretical maximum specific gravity, the quotient formula is used:

$$\sigma_{x/y} = \sqrt{\frac{\bar{y}^2 \sigma_x^2 + \bar{x}^2 \sigma_y^2}{\bar{y}^4}}$$

where:

$\sigma_{x/y}$ = standard deviation for determining precision limits of test results for a standard based on the quotient of two test results from two other standards,

\bar{x} = mean (average) value of x standard (bulk specific gravity) test results,

\bar{y} = mean (average) value of y standard (theoretical maximum specific gravity) test results,

σ_x = standard deviation from the precision statement of x standard, and

σ_y = standard deviation from precision statement of y standard

NOTE 1—The x standard (T 166 or T 275) is used to compute bulk specific gravity and the y standard (T 209) is used to compute theoretical maximum specific gravity.

8.2 Criteria for judging the acceptability of percent air voids test results that are obtained by using T 275 and T 209 for nonporous aggregates are:

| Test and Type Index | Standard Deviation | Acceptable Range of Two Results |
|---------------------------|--------------------|---------------------------------|
| Single Operator Precision | 0.32 | 0.91 |
| Multilaboratory Precision | -- | -- |

8.3 Criteria for judging the acceptability of percent air voids test results that are obtained by using T 166 and T 209 for nonporous aggregates are:

| Test and Type Index | Standard Deviation | Acceptable Range of Two Results |
|---------------------------|--------------------|---------------------------------|
| Single Operator Precision | 0.51 | 1.44 |
| Multilaboratory Precision | 1.09 | 3.08 |

APPENDIX (Nonmandatory Information)

XI. EXAMPLE CALCULATION OF PRECISION

XI.1 Assume the following precision data:

Bulk specific gravity, x

| Average | Standard Deviation |
|---------|--------------------|
| 2.423 | 0.007 |

Theoretical maximum specific gravity, y

| Average | Standard Deviation |
|---------|--------------------|
| 2.523 | 0.004 |

Then using equation in Section 8.1:

$$\sigma_{x/y} = \sqrt{\frac{(2.523^2(0.007)^2 - (2.423^2(0.004)^2)}{(2.523^4)}} = 0.00316$$

This value is in terms of air voids; therefore it should be multiplied by 100 to convert it into percentage. Therefore:

$$\sigma_{x/y} = 0.0031(100) = 0.32\%$$