

ANEXO A

CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

A.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS

GENERALIDADES

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

Los materiales pétreos a ser usados en este proyecto, fueron provenientes de la planta de asfaltos del SEDECA, ubicada en la comunidad de San José de Charaja, que este a su vez tiene como banco a la chancadora de Charaja, la comunidad se encuentra pasando la comunidad de Chocloca antes de llegar a la comunidad de Juntas, el material extraído es procedente del río Camacho.

A continuación se detallará el procedimiento y cálculo de los ensayos realizados para la caracterización de los agregados:

A.1.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS (DOCUMENTO REFERENCIAL AASHTO T27-99; ASTM E40 C-136)

OBJETO

Este método establece el procedimiento para tamizar y determinar la granulometría de los áridos.

Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

DEFINICIONES

1. Granulometría

Distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas que constituyen un árido.

2. Porcentaje parcial retenido en un tamiz

Porcentaje en masa correspondiente a la fracción directamente retenida en un determinado tamiz.

3. Porcentaje acumulado retenido en un tamiz

Porcentaje en masa de todas las partículas de mayor tamaño que la abertura de un determinado tamiz. Se calcula como la suma del porcentaje parcial retenido en ese tamiz más todos los porcentajes parciales retenidos en los tamices de mayor abertura.

4. Porcentaje acumulado que pasa por un tamiz

Porcentaje en masa de todas las partículas de menor tamaño que la abertura de un determinado tamiz. Se calcula como la diferencia entre el 100% y el porcentaje acumulado retenido en ese tamiz.

EQUIPOS Y MATERIALES

5. Balanza

Debe tener una capacidad superior a la masa de la muestra más el recipiente de pesaje y una precisión de 0,1 g.

6. Tamices

- a) Son tejidos, de alambre y abertura cuadrada, y sus tamaños nominales de abertura pertenecen a las series que se indican en la Tabla A0506_01

Tamaños nominales de abertura	
mm	ASTM
75	(3")
63	(2 ½")
50	(2")
37,5	(1 ½")
25	(1")
19	(¾")
12,5	(½")
9,5	(⅜")
6,3	(¼")
4,75	(N° 4)
2,36	(N° 8)
2,0	(N° 10)
1,18	(N° 16)
0,6	(N° 30)
0,3	(N° 50)
0,15	(N° 100)
0,075	(N° 200)

TABLA: A0506_01 Serie de tamices escogidos

Nota 1: Cuando no se cuente con tamices de aberturas nominales en mm, los tamaños nominales de los tamices podrán ser los correspondientes a ASTM.

- b) Los marcos de los tamices deben ser metálicos y suficientemente rígidos y firmes para fijar y ajustar las telas de alambre, a fin de evitar pérdidas de material durante el tamizado y alteraciones en la abertura de las mallas. Deben ser circulares, con diámetros de 200 mm y 300 mm, preferentemente para los gruesos.
- c) Cada juego de tamices debe contar con un depósito que ajuste perfectamente, para la recepción del residuo más fino.
- d) Cada juego de tamices debe contar con una tapa que ajuste perfectamente para evitar pérdidas de material.

7. Horno

Provisto de circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensaye.

8. Herramientas y accesorios

Espátulas, brochas, recipientes para secado, recipientes para pesaje, etc.

EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Extracción de muestras

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con los Métodos A0505 y A0504 del manual de ABC

Nota 2: Las muestras de áridos finos o áridos mezclados deben humedecerse antes de la reducción para evitar segregaciones y pérdida de polvo.

Acondicionamiento de la muestra de ensaye

- a) Homogeneice cuidadosamente el total de la muestra de laboratorio en estado húmedo y redúzcala por cuarteo, de acuerdo con el Método A0505 hasta que obtenga, cuando esté seca, un tamaño de muestra ligeramente superior a los valores que se indican en “Tamaño de la muestra de ensayo”.
- b) No se debe reducir la muestra de laboratorio en estado seco, ni tampoco reducirla a una masa exacta predeterminada.
- c) Seque la muestra hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$

Tamaño de la muestra de ensayo

9. Para el Árido fino

Cuando se emplean los tamices de 200 mm de diámetro, la muestra de ensaye en estado seco debe tener una masa ligeramente superior a los valores que se indican en Tabla A0506_01.

Tamiz	% Retenido	Masa mínima de la muestra (g)
4,75 mm	$\leq 5 \%$	500
2,36 mm	$\leq 5 \%$	100

Tabla A0506_01. Tamaño de muestra de árido fino

10. Para los áridos gruesos

a) Cuando se emplean tamices de 300 mm de diámetro, la muestra de ensaye en estado seco debe tener una masa ligeramente superior a los valores que se indican en Tabla A0506_03

Absoluto Tamaño máximo Da (mm)	Masa mínima de la muestra (kg)
75	32
63	25
50	20
37,5	16
25	10
19	8
12,5	5
9,5	4

Tabla A0506_03 Tamaño de muestra para árido grueso

b) Cuando una muestra contenga una fracción de árido fino superior al 15%, el material debe separarse por el tamiz de 4,75 mm o 2,36 mm, según corresponda a hormigón o asfalto, respectivamente, debiéndose determinar y registrar el porcentaje en masa de ambas fracciones.

Trate las fracciones de árido fino y árido grueso de acuerdo con 9 y 10, respectivamente.

c) Los tamaños de muestra indicados en la Tabla A0506_03 podrán aumentarse proporcionalmente cuando se empleen tamices de mayor tamaño, siempre que se cumpla lo que establece el 10 d).

d) La masa máxima de la muestra debe ser tal que la fracción retenida en cualquiera de los tamices al terminar la operación de tamizado pueda distribuirse en una sola capa sobre la malla de tejido de alambre.

PROCEDIMIENTO

11. Preparación de tamices

Seleccione un juego de tamices de acuerdo con la especificación correspondiente al material por ensayar. Dispóngalos según aberturas decrecientes, montados sobre el depósito receptor y provisto de su tapa. Todos estos elementos deben estar limpios y secos. Verifique los tamaños de abertura de las mallas, a lo menos una vez cada seis meses.

12. Tamizado

Efectúelo en dos etapas:

- a) Un tamizado inicial que puede ser manual o mecánico
- b) Un tamizado final que debe ser manual.

Nota 3: Se recomienda efectuar primero un tamizado húmedo por el tamiz de 0,075 mm de acuerdo con el Método A0507, y después efectuar el tamizado de acuerdo con el presente método. Para el cálculo de la granulometría tome como base 100% la pesada de la muestra de ensaye en estado seco previa al tamizado húmedo.

13. Tamizado inicial

- a) Determine la masa de la muestra de ensaye en estado seco, registre aproximando a 1 g para áridos finos y a 10 g para áridos gruesos; vacíela sobre el tamiz superior y cubra con la tapa:
- b) Agite el conjunto de tamices por un período suficiente para aproximarse a la condición que se establece en 14 g).

14. Tamizado final

- a) Retire el primer tamiz, provisto de depósito y tapa
- b) Sosténgalo de un costado con una mano, manteniéndolo ligeramente inclinado
- c) Golpee firmemente el costado libre hacia arriba con la palma de la otra mano a un ritmo de 150 golpes/min.
- d) Gire el tamiz cada 25 golpes en 1/6 de vuelta.

e) Al completar cada ciclo de 150 golpes, pese separadamente el material retenido sobre el tamiz y el material que pasa, recogido en el depósito.

f) Traslade el material que pasa en cada ciclo al tamiz siguiente.

g) Repita el ciclo en el mismo tamiz con el material retenido hasta que se recoja en el depósito una masa inferior al 1% de la masa retenida, con lo cual dé por terminado el tamizado de esa fracción.

h) Retire el tamiz siguiente provisto de depósito y tapa para efectuar con dicho tamiz los ciclos necesarios, y así sucesivamente hasta completar todos los tamices.

Nota 4: Si resulta difícil el tamizado manual de gravas con tamices de 300 mm de diámetro, se recomienda efectuar los ciclos en tamices de 200 mm de diámetro, cuidando que el material pueda distribuirse formando una sola capa

15. Determinación de la masa

Determine la masa final del material retenido en cada tamiz y del material que pasa por el tamiz de menor abertura, recogido en el depósito. Registre con la aproximación que sea mayor entre 1 g y 0,1% de la pesada.

CÁLCULOS

16. Sume y registre la masa total (100%) de las fracciones retenidas en todos los tamices y en el depósito receptor. Esta suma no debe diferir de la masa inicial registrada en 13 en más de 3% para los áridos finos y de 0,5% para los áridos gruesos.

17. Cuando no se cumpla con lo especificado en 16, rechace el ensaye y efectúe otro con una muestra gemela.

18. Calcule el porcentaje parcial retenido en cada tamiz, referido a la masa total de las fracciones retenidas, aproximando al 1%.

19. Exprese la granulometría como porcentaje acumulado que pasa, indicando como primer resultado el del menor tamiz en que pasa el 100% y como último resultado, el del primer tamiz en que el porcentaje sea 0%.

20. Adicionalmente la granulometría se puede expresar de acuerdo con cualquiera de las siguientes formas:

a) Como porcentaje acumulado retenido, indicando como primer resultado el del menor tamiz en que queda retenido un porcentaje igual a 0%, y como último resultado el del primer tamiz en que el porcentaje acumulado retenido sea 100%.

b) Como porcentaje parcial retenido.

EJEMPLO DE CÁLCULO:

- **Grava 3/4"**

Granulometría final

Calculo del peso retenido acumulado:

$$\text{Peso retenido acumulado (3/4")} = \text{Peso retenido acumulado anterior (1")} + \text{Peso retenido(3/4")}$$

$$\text{Peso retenido acumulado (3/4")} = 1,10 \text{ gr} + 2895,22 \text{ gr}$$

$$\text{Peso retenido acumulado (3/4")} = 2896,32 \text{ gr}$$

Calculo del % retenido acumulado:

Peso total = 10000 gramos

$$\% \text{ retenido acumulado (3/4")} = \frac{\text{Peso retenido acumulado (3/4")}}{\text{Peso total}} * 100$$

$$\% \text{ retenido acumulado (3/4")} = \frac{2896,32 \text{ gr}}{10000 \text{ gr}} * 100$$

$$\% \text{ retenido acumulado (3/4")} = 28,96\%$$

Calculo del % que pasa:

$$\% \text{ que pasa (3/4")} = 100 - \% \text{ retenido acumulado (3/4")}$$

$$\% \text{ que pasa (3/4")} = 100 - 28,96 \%$$

$$\% \text{ que pasa (3/4")} = 71,04 \%$$

- **Gravilla 3/8"**

Granulometría final

Calculo del peso retenido acumulado:

$$\text{Peso retenido acumulado (3/8")} = \text{Peso retenido acumulado anterior (1/2")} + \text{Peso retenido(3/8")}$$

$$\text{Peso retenido acumulado (3/8")} = 4480,87\text{gr} + 3957,70 \text{ gr}$$

$$\text{Peso retenido acumulado (3/4")} = 8438,57 \text{ gr}$$

Calculo del % retenido acumulado:

Peso total = 10000 gramos

$$\% \text{ retenido acumulado (3/8")} = \frac{\text{Peso retenido acumulado (3/8")}}{\text{Peso total}} * 100$$

$$\% \text{ retenido acumulado (3/4")} = \frac{8438,57 \text{ gr}}{10000 \text{ gr}} * 100$$

$$\% \text{ retenido acumulado (3/4")} = 84,39\%$$

Calculo del % que pasa:

$$\% \text{ que pasa (3/8")} = 100 - \% \text{ retenido acumulado (3/8")}$$

$$\% \text{ que pasa (3/8")} = 100 - 84,39 \%$$

$$\% \text{ que pasa (3/8")} = 15,61 \%$$

- Arena

Granulometría final

Calculo del peso retenido acumulado:

$$\text{Peso retenido acumulado (Nº30)} = \text{Peso retenido acumulado anterior (Nº16)} + \text{Peso retenido (Nº30)}$$

$$\text{Peso retenido acumulado (Nº30)} = 1215,80 \text{ gr} + 712,37 \text{ gr}$$

$$\text{Peso retenido acumulado (Nº30)} = 1928,17 \text{ gr}$$

Calculo del % retenido acumulado:

Peso total = 3000 gramos

$$\% \text{ retenido acumulado (Nº30)} = \frac{\text{Peso retenido acumulado (3/8")}}{\text{Peso total}} * 100$$

$$\% \text{ retenido acumulado (Nº30)} = \frac{1928,17 \text{ gr}}{10000 \text{ gr}} * 100$$

$$\% \text{ retenido acumulado (Nº30)} = 64,27\%$$

Calculo del % que pasa:

$$\% \text{ que pasa (Nº30)} = 100 - \% \text{ retenido acumulado (Nº30)}$$

$$\% \text{ que pasa (Nº30)} = 100 - 64,27 \%$$

$$\% \text{ que pasa (Nº30)} = 35,73\%$$

A.1.2. MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD REAL, DENSIDAD NETA Y LA ABSORCIÓN DE AGUA EN ÁRIDOS. (DOCUMENTO REFERENCIAL ASTM E 127 AASTHO T85-91)

Gravedad específica

La gravedad específica del agregado es necesaria para determinar el contenido de vacíos de las mezclas asfálticas compactadas. Por definición, la *gravedad específica* de un agregado es la relación del peso por unidad de volumen de un material respecto del mismo volumen de agua a aproximadamente 23°C (73.4°F). La ecuación usada es:

$$gravedad\ específica = \frac{peso}{volumen * peso\ específico}$$

Cuando se trabaja en el SI, el peso específico del agua es 1.0gr/cm³, convirtiendo la ecuación de la gravedad específica en:

$$gravedad\ específica = \frac{peso}{volumen}$$

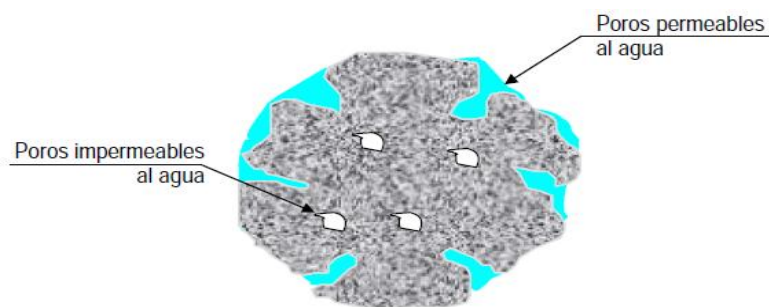
Además, existen tres diferentes gravedades específicas relacionadas al diseño de mezclas asfálticas en caliente que definen el volumen de las partículas de agregados:

Gravedad Específica Seca Aparente

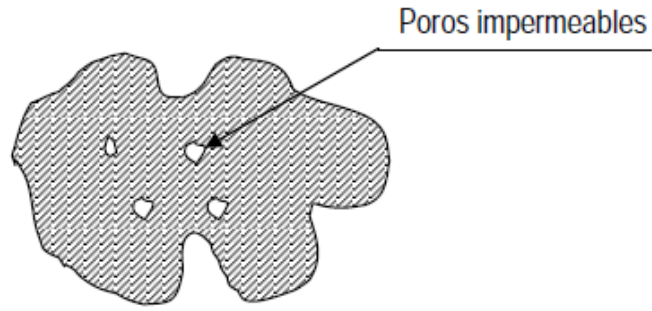
Gravedad Específica Seca Bulk (Base Seca) y Saturada Superficialmente Seca Bulk²

Gravedad Específica Efectiva

Para ilustrar los conceptos listados utilizaremos el esquema peso-volumen de la partícula de agregado



Gravedad Específica Seca Aparente

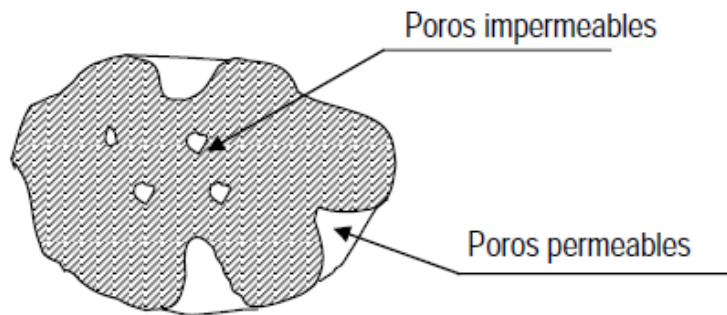


$$\text{gravedad específica seca aparente} = \frac{\text{peso del agregado seco}}{\text{volumen del agregado}}$$

$$\text{gravedad específica seca aparente} = G_{sa} = \frac{W_s}{V_s}$$

La gravedad específica seca aparente incluye solamente el volumen de las partículas de agregado más los poros impermeables.

Gravedad Específica Seca Bulk (Base Seca)

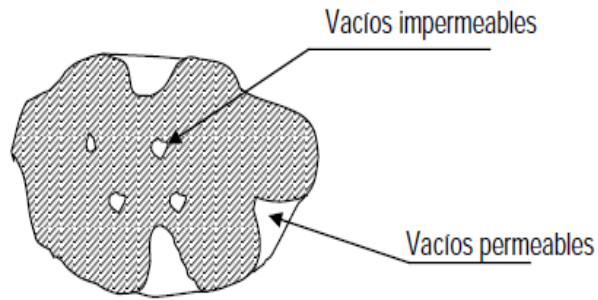


$$\text{gravedad específica seca de bulk} = \frac{\text{peso del agregado seco}}{\text{volumen del agregado mas los poros permeables}}$$

$$\text{gravedad específica seca bulk} = G_{sb} = \frac{W_s}{(V_s + V_{pp})}$$

Incluye volumen total de las partículas de agregados más el volumen de poros llenos con agua luego de 24 horas de inmersión.

Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca Bulk



$$\text{grav. esp. sup. seca bulk} = \frac{\text{peso del agregado saturado superficialmente seco}}{\text{volumen del agregado mas los poros permeables}}$$

$$\text{grav. esp. sup. seca bulk} = G_{sssb} = \frac{G_{sss}}{(V_s + V_{pp})}$$

La gravedad específica saturada superficialmente seca bulk define la relación entre el peso del agregado en su condición saturada superficialmente seca, que se obtiene secando las partículas con un paño luego de la inmersión, y el volumen del agregado más los vacíos permeables.

La gravedad específica Saturada Superficialmente Seca Bulk es usada por la U.S. Corps of Engineers para el diseño y control de Mezclas Asfálticas en Caliente cuando se usan agregados con porcentajes de absorción mayores que 2.5%.

La gravedad específica Seca Bulk y Seca Aparente de agregados gruesos y finos se pueden determinar con las normas ASTM C-127 y C-128, respectivamente.

A.1.2.1. GRAVEDAD ESPECÍFICA EN AGREGADOS GRUESOS, (DOCUMENTO REFERENCIAL ASTM C127; AASHTO T85).

La muestra a ser evaluada se satura y pesa en su condición saturada superficialmente seca:

1. Aproximadamente 3 kg. De material retenidos en la malla N°4 (4.75 mm) se lava y seca hasta que alcance peso constante.
2. La muestra seca se sumerge por 24 horas en agua.
3. Los agregados se sacan del agua y secan superficialmente con ayuda de una toalla.
4. Se obtiene el peso de la muestra en su condición superficialmente seca.
5. La muestra saturada superficialmente seca se coloca en una cesta de alambre y se determina el peso de la muestra sumergido en agua.
6. La muestra se seca al horno hasta obtener peso constante.
7. La gravedad específica se calcula según:

A peso en el aire del agregado seco al horno

B peso en el aire del agregado saturado superficialmente seco

C peso del agregado saturado superficialmente seco sumergido en agua

$$\text{gravedad específica seca aparente, } G_{sa} = \frac{A}{A - C}$$

$$\text{gravedad específica seca de bulk, } G_{sb} = \frac{A}{B - C}$$

$$\text{gravedad específica saturada superficialmente seca bulk, } G_{sssb} = \frac{B}{B - C}$$

$$\text{absorción(\%)} = \frac{(B - A) * 100}{A}$$

EJEMPLO DE CÁLCULO:

- Grava 3/4"

Muestra N°1

Datos:

Peso muestra secada "A" = 4975,60 gr.

Peso muestra saturada con superficie seca "B" = 5053,70 gr.

Peso muestra saturada dentro del agua "C" = 3077,30 gr.

Calculo del peso específico a granel o gravedad especifica seca de bulk, Gsb.

$$\text{Peso especifico a granel} = \frac{A}{B - C}$$

$$\text{Peso especifico a granel} = \frac{4975,60 \text{ gr}}{5053,70 \text{ gr} - 3077,30 \text{ gr}}$$

$$\text{Peso especifico a granel} = 2,52 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Calculo del peso específico aparente o gravedad específica seca aparente, Gsa.

$$\text{peso especifico saturado superficialmente seca} = \frac{B}{B - C}$$

$$\text{peso especifico saturado superficialmente seca} = \frac{5053,70 \text{ gr}}{5053,70 \text{ gr} - 3077,30 \text{ gr}}$$

$$\text{peso especifico saturado superficialmente seca} = 2,56 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Calculo del peso específico saturado con superficie seca o gravedad específica saturada con superficie seca bulk, Gsssb.

$$\text{peso especifico aparente} = \frac{A}{A - C}$$

$$\text{peso especifico aparente} = \frac{4975,60 \text{ gr}}{4975,60 \text{ gr} - 3077,30 \text{ gr}}$$

$$\text{peso especifico aparente} = 2,62 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Calculo del porcentaje de absorción.

$$\text{absorcion}(\%) = \frac{(B - A) * 100}{A}$$

$$\text{absorcion}(\%) = \frac{(5053,70 \text{ gr} - 4975,60 \text{ gr}) * 100}{4975,60 \text{ gr}}$$

$$\text{absorcion}(\%) = 1,57 \%$$

- **Gravilla 3/8"**

Muestra N°1

Datos:

Peso muestra secada "A" = 4987,70 gr.

Peso muestra saturada con superficie seca "B" = 5076,50 gr.

Peso muestra saturada dentro del agua "C" = 3142,00 gr.

Calculo del peso específico a granel o gravedad especifica seca de bulk, Gsb.

$$\text{Peso especifico a granel} = \frac{A}{B - C}$$

$$\text{Peso especifico a granel} = \frac{4987,70 \text{ gr}}{5076,50 \text{ gr} - 3142,00 \text{ gr}}$$

$$\text{Peso especifico a granel} = 2,58 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Calculo del peso específico aparente o gravedad específica seca aparente, Gsa.

$$\text{peso especifico saturado superficialmente seca} = \frac{B}{B - C}$$

$$\text{peso especifico saturado superficialmente seca} = \frac{5076,50 \text{ gr}}{5076,50 \text{ gr} - 3142,00 \text{ gr}}$$

$$\text{peso especifico saturado superficialmente seca} = 2,62 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Calculo del peso específico saturado con superficie seca o gravedad específica saturada con superficie seca bulk, G_{sssb}.

$$\text{peso específico aparente} = \frac{A}{A - C}$$

$$\text{peso específico aparente} = \frac{4987,70 \text{ gr}}{4987,70 \text{ gr} - 3142,00 \text{ gr}}$$

$$\text{peso específico aparente} = 2,70 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Calculo del porcentaje de absorción.

$$\text{absorción}(\%) = \frac{(B - A) * 100}{A}$$

$$\text{absorción}(\%) = \frac{(5076,50 \text{ gr} - 4987,70 \text{ gr}) * 100}{4987,70 \text{ gr}}$$

$$\text{absorción}(\%) = 1,78 \%$$

**A.1.2.2. GRAVEDAD ESPECÍFICA EN AGREGADOS FINOS,
(DOCUMENTO REFERENCIAL ASTM C128; AASHTO T84)**

El método es como sigue:

1. Aproximadamente 1000 gr. de agregado fino se seca a peso constante.
2. Se sumerge el material por 24 horas en agua.
3. La muestra se extiende en una superficie plana y se expone a una corriente de aire caliente.
4. La condición saturada superficialmente seca se alcanza cuando el material cae al invertirse el cono en el que la muestra del material fue suavemente compactada.
5. Aproximadamente 500 gr. del material en la condición saturada superficialmente seca se colocan en un matraz que se llena con agua y se eliminan los aires atrapados.
6. El agregado se saca del matraz, se seca al horno a peso constante
7. La gravedad específica se calcula de la siguiente manera:

A peso en el aire del agregado seco al horno

B peso del matraz (picnómetro) con agua

C peso del matraz (picnómetro) con el agregado y agua hasta la marca

D Peso del material saturado superficialmente seco (500+10 gr)

$$\text{gravedad especifica seca aparente, } G_{sa} = \frac{A}{B + A - C}$$

$$\text{gravedad especifica seca bulk, } G_{sb} = \frac{A}{B + D - C}$$

$$\text{gravedad especifica sat. sup. seca bulk, } G_{sssb} = \frac{D}{B + D - C}$$

$$\text{absorcion(\%)} = \left(\frac{D - A}{A} \right) * 100 =$$

EJEMPLO DE CÁLCULO:

- Arena

Muestra N°1

Datos:

Peso muestra "D" = 500 gr.

Peso de matraz "B" = 236,2 gr.

Peso muestra + matraz + agua = 1040,1 gr.

Peso del agua agregado al matraz "W" o "C" = 303,90 ml o gr

Peso muestra secada "A" = 491,80 gr.

Volumen del matraz "V" = 500 ml

Calculo del peso específico a granel o gravedad especifica seca de bulk, Gsb.

$$\text{Peso especifico a granel} = \frac{A}{V - C}$$

$$\text{Peso especifico a granel} = \frac{491,80 \text{ gr}}{500 \text{ gr} - 303,90 \text{ gr}}$$

$$\text{Peso especifico a granel} = 2,51 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Calculo del peso específico saturado con superficie seca o gravedad específica saturada con superficie seca bulk, G_{sssb}.

$$\text{peso específico saturado superficialmente seca} = \frac{D}{V - C}$$

$$\text{peso específico saturado superficialmente seca} = \frac{500 \text{ gr}}{500 \text{ gr} - 303,90 \text{ gr}}$$

$$\text{peso específico saturado superficialmente seca} = 2,55 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Calculo del peso específico aparente o gravedad específica seca aparente, G_{sa}.

$$\text{peso específico aparente} = \frac{A}{(V - C) - (D - A)}$$

$$\text{peso específico aparente} = \frac{491,80 \text{ gr}}{(500 \text{ gr} - 303,90 \text{ gr}) - (500 \text{ gr} - 491,80 \text{ gr})}$$

$$\text{peso específico aparente} = 2,62 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Calculo del porcentaje de absorción.

$$\text{absorción}(\%) = \frac{(D - A) * 100}{A}$$

$$\text{absorción}(\%) = \frac{(500 \text{ gr} - 491,80 \text{ gr}) * 100}{500 \text{ gr}}$$

$$\text{absorción}(\%) = 1,64 \%$$

**A.1.3. PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS GRUESOS Y FINOS
(DOCUMENTO REFERENCIAL ASTM C 29M-97; AASHTO T19)**

OBJETIVO

Determinar el peso unitario suelto o compactado y el porcentaje de los vacíos de los agregados finos, gruesos o una mezcla de ambos.

EQUIPOS Y MATERIALES

- ❖ Balanza
- ❖ Recipientes de medida metálicos de forma cilíndrica, provisto de agarraderas
- ❖ Varilla compactadora, de acero de 16mm de diámetro y una longitud de 60 cm con el extremo redondeado.
- ❖ Pala de mano o cucharón.

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

Determinación del peso unitario suelto

- a) Con la ayuda de una pala de mano o cucharón se llena el recipiente de medida, descargando el agregado desde una altura no mayor a 50mm hasta que rebose el recipiente.
- b) Se eliminara el agregado sobrante o en exceso con la ayuda de la varilla
- c) Determinar el peso del recipiente cilíndrico y el peso del recipiente cilíndrico más la muestra del agregado añadida.

Determinación del peso unitario compactado

- d) Llenar la tercera parte del recipiente con el agregado, emparejar la superficie con los dedos, posteriormente apisonar la capa del agregado con 25 golpes de la varilla distribuidos uniformemente. Al apisonar esta primera capa se debe evitar que la varilla golpee el fondo del recipiente.
- e) Se llena el con el agregado las 2/3 partes del recipiente, volviendo a emparejar la superficie y apisonar con 25 golpes de la varilla aplicando la fuerza necesaria para que la varilla atravesase solamente la respectiva capa. Finalmente llenar el recipiente hasta rebosar y compactar nuevamente de la manera antes mencionada.

f) Una vez colmado el recipiente, enrasar la superficie con la varilla, usándola como regla, seguidamente determinar el peso del recipiente más el agregado y el peso del recipiente solo.

CALCULOS

El peso neto del agregado o de la mezcla dentro del molde se obtiene restando el peso del molde menos la muestra compactada y el peso del molde. El peso por unidad de volumen de la muestra se obtiene dividiendo el peso entre el volumen del recipiente.

$$P.U. \frac{(A - B)}{V}$$

Donde:

A = peso del recipiente más el agregado, en kg.

B = peso del recipiente, en kg.

V = volumen del recipiente, en m³

EJEMPLO DE CÁLCULO:

- Grava 3/4"

Peso unitario suelto

Muestra N°1

Datos:

Peso recipiente = 5798,40 gr.

Volumen recipiente = 9790,68 cm³

Peso recipiente + muestra suelta = 19410,50 gr.

Calculo del peso de la muestra suelta.

Peso de la muestra suelta = (Peso del recipiente + muestra suelta) – Peso del recipiente

Peso de la muestra suelta = 19410,50 gr – 5798,40 gr

Peso de la muestra suelta = 13612,10 gr

Calculo del peso unitario suelto

$$\text{peso unitario suelto} = \frac{\text{Peso de la muestra suelta}}{\text{volumen del recipiente}}$$

$$\text{peso unitario suelto} = \frac{13612,10 \text{ gr}}{9790,68 \text{ gr}}$$

$$\text{peso unitario suelto} = 1,39 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Peso unitario compactado

Muestra N°1

Datos:

Peso recipiente = 5798,40 gr.

Volumen recipiente = 9790,68 cm³

Peso recipiente + muestra suelta = 20480,20 gr.

Calculo del peso de la muestra suelta.

$$\text{Peso de la muestra suelta} = (\text{Peso del recipiente} + \text{muestra suelta}) - \text{Peso del recipiente}$$

$$\text{Peso de la muestra suelta} = 20480,20 \text{ gr} - 5798,40 \text{ gr}$$

$$\text{Peso de la muestra suelta} = 14681,80 \text{ gr}$$

Calculo del peso unitario suelto

$$\text{peso unitario suelto} = \frac{\text{Peso de la muestra suelta}}{\text{volumen del recipiente}}$$

$$\text{peso unitario suelto} = \frac{14681,80 \text{ gr}}{9790,68 \text{ gr}}$$

$$\text{peso unitario suelto} = 1,50 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

- Gravilla 3/8"

Peso unitario suelto

Muestra N°1

Datos:

Peso recipiente = 5798,40 gr.

Volumen recipiente = 9790,68 cm³

Peso recipiente + muestra suelta = 19315,20 gr.

Calculo del peso de la muestra suelta.

Peso de la muestra suelta = (Peso del recipiente + muestra suelta) – Peso del recipiente

$$Peso de la muestra suelta = 19315,20 \text{ gr} - 5798,40 \text{ gr}$$

$$Peso de la muestra suelta = 13516,80 \text{ gr}$$

Calculo del peso unitario suelto

$$peso \text{ unitario suelto} = \frac{Peso \text{ de la muestra suelta}}{volumen \text{ del recipiente}}$$

$$peso \text{ unitario suelto} = \frac{13516,80 \text{ gr}}{9790,68 \text{ gr}}$$

$$peso \text{ unitario suelto} = 1,381 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Peso unitario compactado

Muestra N°1

Datos:

Peso recipiente = 5798,40 gr.

Volumen recipiente = 9790,68 cm³

Peso recipiente + muestra suelta = 20360,10 gr.

Calculo del peso de la muestra suelta.

Peso de la muestra suelta = (Peso del recipiente + muestra suelta) – Peso del recipiente

$$Peso de la muestra suelta = 20360,10 \text{ gr} - 5798,40 \text{ gr}$$

$$Peso de la muestra suelta = 14561,70 \text{ gr}$$

Calculo del peso unitario suelto

$$peso \text{ unitario suelto} = \frac{Peso \text{ de la muestra suelta}}{volumen \text{ del recipiente}}$$

$$peso \text{ unitario suelto} = \frac{14561,70 \text{ gr}}{9790,68 \text{ gr}}$$

$$peso \text{ unitario suelto} = 1,487 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

- **Arena**

Peso unitario suelto

Muestra N°1

Datos:

Peso recipiente = 2610,30 gr.

Volumen recipiente = 2954,80 cm³

Peso recipiente + muestra suelta = 7473,70 gr.

Calculo del peso de la muestra suelta.

$$\text{Peso de la muestra suelta} = (\text{Peso del recipiente} + \text{muestra suelta}) - \text{Peso del recipiente}$$

$$\text{Peso de la muestra suelta} = 7473,70 \text{ gr} - 2610,30 \text{ gr}$$

$$\text{Peso de la muestra suelta} = 4863,40 \text{ gr}$$

Calculo del peso unitario suelto

$$\text{peso unitario suelto} = \frac{\text{Peso de la muestra suelta}}{\text{volumen del recipiente}}$$

$$\text{peso unitario suelto} = \frac{4863,40 \text{ gr}}{2954,80 \text{ gr}}$$

$$\text{peso unitario suelto} = 1,646 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Peso unitario compactado

Muestra N°1

Datos:

Peso recipiente = 2610,30 gr.

Volumen recipiente = 2954,80 cm³

Peso recipiente + muestra suelta = 8093,50 gr.

Calculo del peso de la muestra suelta.

$$\text{Peso de la muestra suelta} = (\text{Peso del recipiente} + \text{muestra suelta}) - \text{Peso del recipiente}$$

$$\text{Peso de la muestra suelta} = 8093,50 \text{ gr} - 2610,30 \text{ gr}$$

$$\text{Peso de la muestra suelta} = 5483,20 \text{ gr}$$

Calculo del peso unitario suelto

$$\text{peso unitario suelto} = \frac{\text{Peso de la muestra suelta}}{\text{volumen del recipiente}}$$

$$\text{peso unitario suelto} = \frac{5483,20 \text{ gr}}{2954,80 \text{ gr}}$$

$$\text{peso unitario suelto} = 1,856 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

A.1.4. PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS (DOCUMENTO REFERENCIAL ASTM D5821-95)

FUNDAMENTO

Algunas especificaciones técnicas contienen requisitos relacionados al porcentaje de agregado grueso con caras fracturadas con el propósito de maximizar la resistencia al esfuerzo cortante con el incremento de la fricción entre las partículas. Otro propósito es dar estabilidad a los agregados empleados para carpeta o afirmado; y dar fricción y textura a agregados empleados en pavimentación.

La forma de la partícula de los agregados puede afectar la trabajabilidad durante su colocación; así como la cantidad de fuerza necesaria para compactarla a la densidad requerida y la resistencia de la estructura del pavimento durante su vida de servicio.

Las partículas irregulares y angulares generalmente resisten el desplazamiento (movimiento) en el pavimento, debido a que se entrelazan al ser compactadas. El mejor entrelazamiento se da, generalmente, con partículas de bordes puntiagudos y de forma cúbica, producidas, casi siempre por trituración.

OBJETIVO

Este ensayo determina el porcentaje, en peso, del material que presente una o más caras fracturadas de la muestra del agregado grueso.

EQUIPOS Y MATERIALES

- ❖ Balanza
- ❖ Recipiente

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

a) La muestra para ensayo será representativa de la granulometría promedio del agregado, y se obtendrá mediante un cuidadoso cuarteo del total de la muestra recibida.

Se separa por tamizado la fracción de la muestra comprendida entre los tamaños 37.5 mm y 9.5 mm (1½" y 3/8"). Descartar el resto.

b) Lavar la muestra para remover cualquier fino y secarlo.

c) Extender la muestra seca sobre una superficie plana, limpia y lo suficientemente grande como para permitir la inspección. Para verificar si la partícula alcanza o cumple el criterio de fractura, sostener el agregado de tal manera que la cara sea vista directamente. Si la cara constituye al menos ¼ de la máxima sección transversal, considerarla como fracturada.

d) Usando una espátula o en firma manual separar el agregado en tres categorías. **1.-** Partículas fracturadas dependiendo si la partícula tiene el número requerido de caras fracturadas; **2.-** partículas que no reúnen el criterio especificado; y **3.-** partículas cuestionables.

CALCULOS

El porcentaje en peso del número de partículas con el número especificado de caras fracturadas, aproximado al uno por ciento de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$P = \left[\frac{F + \frac{Q}{2}}{F + Q + N} \right] * 100$$

Dónde: P = porcentaje de partículas fracturadas

F = peso de partículas fracturadas, en gr.

Q = peso de partículas cuestionables, en gr.

N = peso de partículas no fracturadas, en gr

EJEMPLO DE CÁLCULO:

- Grava 3/4"

Muestra N°1

Datos:

Porcentaje a analizar pasante el tamiz 1" y retenido en el tamiz 3/4"

Peso total = 1008,7 gr

Peso muestra "A" = 297,3 gr.

Peso Material con caras fracturadas "B" = 276,8 gr

Porcentaje de caras fracturadas parcial "C" = 93,10 %

Porcentaje de retenido gradación original "D" = 29,47 %

Porcentaje de caras fracturadas total "E" = 27,44%

Calculo de cada uno de los parámetros.

Calculo de "C"

$$\text{Porcentaje de caras fracturadas parcial "C"} = \frac{B}{A} * 100$$

$$\text{Porcentaje de caras fracturadas parcial "C"} = \frac{276,8 \text{ gr}}{297,3 \text{ gr}} * 100$$

$$\text{Porcentaje de caras fracturadas parcial "C"} = 93,10 \%$$

Calculo de "D"

$$\text{Porcentaje de retenido gradación original "D"} = \frac{A}{\text{Peso total}} * 100$$

$$\text{Porcentaje de retenido gradación original "D"} = \frac{297,3 \text{ gr}}{1008,7 \text{ gr}} * 100$$

$$\text{Porcentaje de retenido gradación original "D"} = 29,47\%$$

Calculo de "E"

$$\text{Porcentaje de caras fracturadas total "E"} = \frac{C * D}{100}$$

$$\text{Porcentaje de caras fracturadas total "E"} = \frac{93,10 * 29,47}{100}$$

$$\text{Porcentaje de caras fracturadas total "E"} = 27,44\%$$

- **Gravilla 3/8"**

Muestra N°1

Datos:

Porcentaje a analizar pasante el tamiz 3/4" y retenido en el tamiz 1/2"

Peso total = 999,5 gr

Peso muestra "A" = 417,3 gr.

Peso Material con caras fracturadas "B" = 398,6 gr

Porcentaje de caras fracturadas parcial "C" = 95,52 %

Porcentaje de retenido gradación original "D" = 41,37 %

Porcentaje de caras fracturadas total "E" = 39,52%

Calculo de cada uno de los parámetros.

Calculo de "C"

$$\text{Porcentaje de caras fracturadas parcial "C"} = \frac{B}{A} * 100$$

$$\text{Porcentaje de caras fracturadas parcial "C"} = \frac{398,6 \text{ gr}}{417,3 \text{ gr}} * 100$$

$$\text{Porcentaje de caras fracturadas parcial "C"} = 95,52 \%$$

Calculo de "D"

$$\text{Porcentaje de retenido gradación original "D"} = \frac{A}{\text{Peso total}} * 100$$

$$\text{Porcentaje de retenido gradación original "D"} = \frac{417,3 \text{ gr}}{999,5 \text{ gr}} * 100$$

$$\text{Porcentaje de retenido gradación original "D"} = 41,37\%$$

Calculo de "E"

$$\text{Porcentaje de caras fracturadas total "E"} = \frac{C * D}{100}$$

$$\text{Porcentaje de caras fracturadas total "E"} = \frac{95,52 * 41,37}{100}$$

$$\text{Porcentaje de caras fracturadas total "E"} = 39,52 \%$$

A.1.5. MÉTODO PARA DETERMINAR EL EQUIVALENTE DE ARENA (DOCUMENTO REFERENCIAL ASTM D2419; AASHTO T176)

OBJETO

Este método establece un procedimiento rápido para determinar las proporciones relativas de finos plásticos o arcillosos en los áridos que pasan por tamiz de 4,75 mm (N° 4).

DEFINICIONES

Equivalente de arena

Porcentaje de arena propiamente tal con respecto al total de arena y de impurezas coloidales floculadas, particularmente arcillosas, húmicas y eventualmente ferruginosas.

EQUIPOS DE LABORATORIO

- 1. Tubo irrigador.* De acero inoxidable, cobre o bronce, de 6.35 mm de diámetro exterior, 508 mm de longitud, cuyo extremo inferior está cerrado en forma de cuña. Tiene dos agujeros laterales de 1 mm de diámetro en los dos planos de la cuña cerca de la punta.
- 2. Sistema de Sifón.* Se compone de un botellón de 1 galón (3.8 lt) de capacidad con un tapón. El tapón tiene dos orificios que lo atraviesan, uno para el tubo del sifón y el otro para entrada de aire. El conjunto deberá ubicarse a 90 cm por encima de la mesa.
- 3. Probeta graduada.* Con diámetro interior de 31.75 ± 0.381 mm y 431.8 mm de altura graduada hasta una altura de 381 mm, provista de un tapón de caucho o goma que ajuste en la boca del cilindro.
- 4. Tubo flexible.* De caucho o goma con 4.7 mm de diámetro, tiene una pinza que permite cortar el paso del líquido a través del mismo. Este tubo conecta el tubo irrigador con el sifón.
- 5. Pisón de metal.* Consistente en una barra metálica de 457 mm de longitud que tiene enroscado en su extremo inferior un disco metálico de cara inferior plana perpendicular al eje de la barra y cara superior de forma cónica. El disco lleva tres tornillos pequeños

que sirven para centrarlo dentro del cilindro. Lleva una sobrecarga en forma cilíndrica, de tal manera que el conjunto pese 1 kg. (Barra metálica, disco y sobrecarga).

Reactivos

6. Solución base

a) Componentes. Emplee los siguientes materiales en las cantidades que se indican:

-240 g de cloruro de calcio anhidro, grado técnico.

-1.085 g de glicerina farmacéutica.

-25 g de formaldehído (solución 40% de volumen / volumen).

b) Preparación. Disuelva el cloruro de calcio en 1 l de agua destilada y filtre. Agregue la glicerina y el formaldehído a la solución, mezcle bien y diluya a 2 l con agua destilada.

7. Solución de ensaye

Tome 22,5 ml de la solución base y diluya a 1 l con agua destilada.

PROCEDIMIENTO

8. Coloque la botella del sifón con la solución de ensaye a aproximadamente 1 m sobre la superficie de trabajo.

9. Sifonee la solución de ensaye en la probeta hasta que alcance un nivel de 100 ± 5 mm.

10. Obtenga por cuarteo el material suficiente para llenar una medida.

11. Llene una medida; asiente el material golpeando el fondo de la medida contra la mesa de trabajo a lo menos 4 veces, enrasede y vierta en la probeta.

12. Golpee firmemente el fondo de la probeta contra la palma de la mano hasta desalojar las burbujas de aire.

13. Deje la probeta en reposo por un período de 10 min.

14. Coloque el tapón y suelte la arena del fondo inclinando y sacudiendo el tubo.

15. Coloque la probeta sobre la mesa de trabajo, destápela y lave sus paredes interiores mediante el irrigador

16. Introduzca el irrigador hasta el fondo de la probeta con un movimiento lento de penetración y torsión para remover todo el material

17. Retire el irrigador en forma similar, regulando el flujo de la solución de modo de ajustar el nivel final a 380 mm

18. Deje sedimentar por un periodo de 20 min \pm 15 s

19. Al final del período de sedimentación lea y registre el nivel superior de la arcilla (N_t) aproximando al milímetro

20. Introduzca el pisón en la probeta y hágalo descender suavemente hasta que quede apoyado en la arena. Registre el nivel superior de la arena (N_a) aproximando al milímetro

Calcule el equivalente de arena con aproximación a 0.1% como sigue:

$$SE = \frac{\text{Lectura arena } (N_a)}{\text{lectura arcilla}(N_t)} \times 100$$

EJEMPLO DE CÁLCULO:

Arena

Muestra 1

Datos:

Altura H1 = 9,50 cm

Altura H2 = 13,55 cm

Calculo del equivalente de arena:

$$\text{Equivalente de arena } (\%) = \frac{H_1}{H_2} * 100$$

$$\text{Equivalente de arena } (\%) = \frac{9,50 \text{ cm}}{13,55 \text{ cm}} * 100$$

$$\text{Equivalente de arena } (\%) = 70,11 \%$$

A.1.6. ENSAYO DE DESGASTE DE LOS AGREGADOS POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES (DOCUMENTO REFERENCIAL ASTM C131; AASHTO T96)

OBJETO

Este método establece el procedimiento para determinar la resistencia al desgaste de los áridos mayores a 2,36 mm, de densidad neta entre 2.000 y 3.000 Kg/m³, mediante la máquina de Los Ángeles.

EQUIPOS DE LABORATORIO

Máquina de los ángeles

Tamices; 3/4", 1/2", 3/8", 1/4", N°4, N°8, un tamiz N°12 para el cálculo del desgaste.

Esferas de acero de 46.38 a 47.63 mm de diámetro y entre 390 a 445 gr.

Horno: para mantener una temperatura de 110±5 °C.

Balanza: aproximación de 1 gr.

MATERIAL Y CARGA ABRASIVA A UTILIZAR

La cantidad de material a ensayar y el número de esferas a incluir dependen de la granulometría del agregado grueso en la tabla a continuación, se muestra el método a emplear; así como la cantidad de material, número de esferas, número de revoluciones y tiempo de rotación, para cada uno de ellos. La gradación que deberá ser representativa de la gradación original suministrado.

TABLA: peso del agregado y N° de esferas para agregados gruesos hasta de 1 1/2", ASTM C131.

TABLA A0511_1 GRADOS DE ENSAYE (DEFINIDOS POR SUS RANGOS DE TAMAÑO, EN MM)

Tamaño de Partículas (mm)	1	2	3	4	5	6	7
	(80-40)	(50-25)	(40-20)	(40-10)	(20-10)	(10-5)	(5-2,5)
Tamaño de las fracciones (g)							
75 - 63	2.500 ± 50						
63- 50	2.500 ± 50						
50 -37,5	5.000 ± 50	5.000 ± 25					
37,5 - 25		5.000 ± 50	5.000 ± 25	1.250 ± 10			
25 - 19			5.000 ± 25	1.250 ± 25			
19 - 12,5				1.250 ± 10	2.500 ± 10		
12,5 - 9,5				1.250 ± 25	2.500 ± 10		
9,5 - 6,3						2.500 ± 10	
6,3 - 4,75						2.500 ± 10	
4,75 - 2,36							5.000 ± 10
Masa inicial de muestra (Mi)	10.000 ± 100	10.000 ± 75	10.000 ± 50	5.000 ± 10	5.000 ± 10	5.000 ± 10	5.000 ± 10
Esferas							
- número	12			12	11	8	6
- masa (g)	5-00 ± 25			5.000 ± 25	4.584 ± 25	3.330 ± 25	2.500 ± 15
Numero de revoluciones	1.000			500			

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

1. La muestra llegada al laboratorio deberá ser identificada. Para muestras cuyo tamaño máximo sea menor a 1 ½” o mayor a ¾” es el mismo.
2. El material deberá ser lavado y secado en horno a temperatura constante de 105-110°C, y el tamizado según las mallas que se indican. Mezclar las cantidades que el método indique según la tabla anterior.
3. Pesar la muestra precisión de 1 gr. y 5 gr. Para tamaños máximos de 1 ½” y ¾” respectivamente.
4. Introducir la muestra de ensayo junto con la carga abrasiva en la máquina de los ángeles, cerrar la tapa del cilindro.
5. Activar la máquina, regulándose el número de revoluciones indicado por el método.
6. Finalizado el tiempo de rotación, se retiran las cargas y el material. Se tamiza por la malla N° 12.
7. El material retenido en el tamiz N°12 se lava y seca en horno, a una temperatura constante entre 105° a 110°C. pesar la muestra seca.

CÁLCULOS

El porcentaje de desgaste es la relación entre el material que pasa el tamiz N° 12 y el peso inicial.

$$\% \text{ desgaste} = \frac{P_{inicial} - P_{final}}{P_{final}} \times 100$$

EJEMPLO DE CÁLCULO:

- Grava ¾"

Datos:

Peso inicial = 5000 gr

Peso final = 3949,8 gr

Calculo del porcentaje de desgaste

$$\% \text{ desgaste} = \frac{P_{inicial} - P_{final}}{P_{final}} \times 100$$

$$\% \text{ desgaste} = \frac{5000 - 3949,8}{3949,8} \times 100$$

$$\% \text{ desgaste} = 21,00 \%$$

- Gravilla 3/8"

Datos:

Peso inicial = 5000 gr

Peso final = 3982,5 gr

Calculo del porcentaje de desgaste

$$\% \text{ desgaste} = \frac{P_{inicial} - P_{final}}{P_{final}} \times 100$$

$$\% \text{ desgaste} = \frac{5000 - 3982,5}{3982,5} \times 100$$

$$\% \text{ desgaste} = 20,35 \%$$

A.2. CARACTERIZACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA

A.2.1. MÉTODO PARA DETERMINAR LA VISCOSIDAD CINEMÁTICA (ASTM D 2170 AASHTO T201-01)

ALCANCE

Este método cubre los procedimientos empíricos para determinar la viscosidad Saybolt Universal o Saybolt Furol de productos de petróleo a temperaturas especificadas entre 21 y 99°C (70 y 210°F). Un procedimiento especial para los productos cerosos es incluido.

RESUMEN DEL MÉTODO

El tiempo de derrame en segundos de 60 ml de la muestra, que fluye a través de un orificio calibrado, es medido bajo las condiciones cuidadosamente controladas. Este tiempo es corregido por un factor del orificio y es reportado como la viscosidad de la muestra a esa temperatura.

SIGNIFICADO Y UTILIZACIÓN

Este ensayo sirve para caracterizar ciertos productos del petróleo, como un elemento estableciendo uniformidad de embarques y fuentes de suministro.

Vea ASTM D 117 para la aplicación a aceites minerales usados como aceites aislantes eléctricos.

La viscosidad Saybolt Furol es aproximadamente un décimo la viscosidad Saybolt Universal, y se recomienda para la caracterización de productos de petróleo como los aceites de combustible y otros materiales residuales que tienen las viscosidades Saybolt Universal mayor que 1000 segundos.

La determinación de la viscosidad Saybolt Furol de materiales bituminosos a temperaturas más altas es cubierta por ASTM E 102.

DEFINICIONES

Viscosidad Saybolt Universal

Es el tiempo corregido de derrame en segundos de 60 ml de muestra que fluye a través de un orificio Universal calibrado bajo las condiciones específicas. El valor de

viscosidad se expresa en Saybolt Universal Segundos, SUS abreviado, a una temperatura especificada.

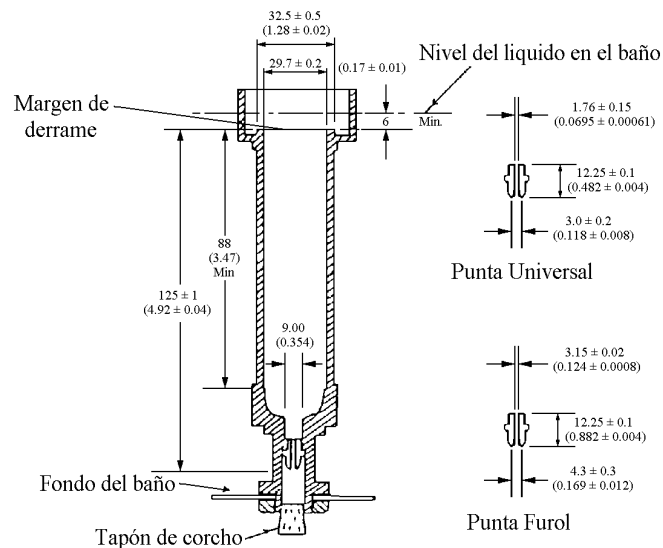
Viscosidad Saybolt Furol

Es el tiempo corregido de derrame en segundos de 60 ml de muestra que fluye a través de un orificio Furol calibrado bajo las condiciones específicas. El valor de viscosidad se expresa en Saybolt Furol Segundos, SFS abreviado, a una temperatura especificada.

HERRAMIENTAS

Viscosímetro y Baño Saybolt

Como se muestra en la Figura.



Nota.- Todas las dimensiones están en milímetros (pulgadas)

Viscosímetro saybolt

Tubo de Retiro

Como se muestra en la Figura u otro dispositivo conveniente.

Soporte del Termómetro

Un conveniente diseño es mostrado en la Figura.

Termómetro de Viscosidad Saybolt

En la Tabla 1 se muestra como leer la temperatura de la muestra. Cada termómetro debe concordar con los requisitos listados en ASTM E 1 para dicho Número de Termómetro ASTM.

Termómetro del baño

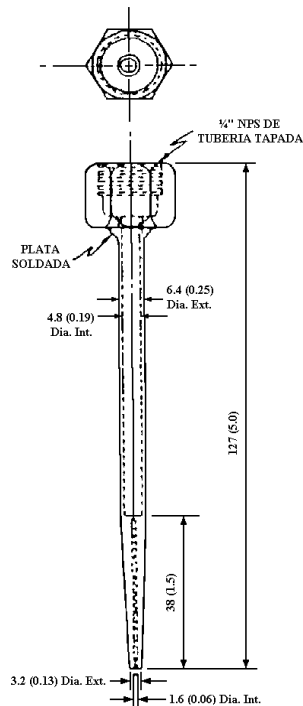
Termómetros de Viscosidad Saybolt, o cualquier otro indicador de temperatura de exactitud equivalente.

Embudo de Filtrado

Como se muestra en Figura, equipada con hilos de tela insertados intercambiables de 850 μm (No. 20), 150 μm (No. 100) y 75 μm (No. 200) que reúnen los requisitos de M 92 con respecto a los hilos de tela. Embudos de filtrado de diseño alternativo conveniente pueden ser usados.

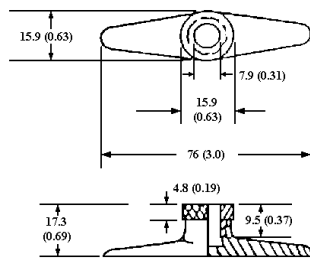
Frasco Receptor

Como se muestra en la Figura.



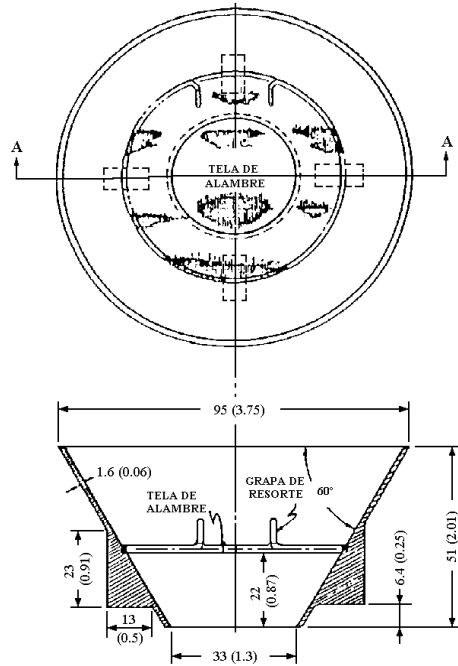
Nota.- Todas las dimensiones están en milímetros (pulgadas)

FIGURA 11. Tubo de retiro para Viscómetro Saybolt



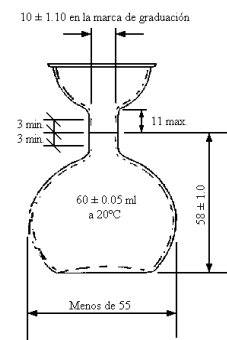
Nota.- Todas las dimensiones están en milímetros (pulgadas)

FIGURA 12. Soporte del Termómetro



Nota.- Todas las dimensiones están en milímetros (pulgadas)

FIGURA 13. Embudo de filtrado para Viscómetro Saybolt



Nota.- Todas las dimensiones están en milímetros (pulgadas)

FIGURA 14. Frasco Receptor

Cronómetro: Graduado en décimas de segundo, y exacto a dentro de 0.1 por ciento cuando se prueba un intervalo encima de 60 minutos. Los cronómetros eléctricos son aceptables si son utilizados en un circuito controlado de frecuencia.

PREPARACIÓN DEL APARATO

Use la punta del orificio Universal para los lubricantes y destilados con tiempos de derrame mayores a 32 segundos para dar la exactitud deseada. Los líquidos con tiempos de derrame mayores a 1000 segundos no se prueban convenientemente con este orificio.

Use la punta del orificio Furol para los materiales residuales con tiempos de derrame mayores que 25 segundos para dar la exactitud deseada.

Limpie el viscosímetro completamente con un solvente apropiado de toxicidad baja; entonces quite todo el solvente del viscosímetro y su galería. Limpie el frasco receptor de la misma manera.

Prepare el viscosímetro y el baño en un área donde no se expongan a proyectos o los cambios rápidos en temperatura, y polvo o vapores que podrían contaminar una muestra.

Ponga el frasco receptor bajo el viscosímetro para que la marca de la graduación en el frasco sea de 100 a 130 mm (4 a 5 in.) debajo del fondo del tubo del viscosímetro, y para que el chorro de aceite golpeará apenas el cuello del frasco.

PROCEDIMIENTO

Establezca y controle la temperatura del baño a la temperatura de ensayo seleccionada.

Las temperaturas de ensayo estándar para medir las viscosidades Saybolt Furol son de 60°C y 135°C

Otras temperaturas de ensayo estándar en uso incluyen 60.0 y 82.2°C (140 y 180°F).

Inserte un tapón de corcho en la cámara de aire en la parte inferior del viscosímetro; una cadena pequeña o cordón pueden atarse al corcho para facilitar retiro rápido. El corcho debe encajar suficiente herméticamente para prevenir el escape de aire, como evidenciado por la ausencia de aceite en el corcho cuando sea retirado después como describió.

Si las temperaturas de ensayo seleccionadas son temperatura del cuarto anterior, la prueba del ensayo puede ser apresurada precalentando la muestra en su recipiente original a no más de 1.7°C (3.0°F) sobre la temperatura de ensayo.

Revuelva bien la muestra, entonces estire a través de un hilo de tela de malla apropiada directamente en el viscosímetro hasta el nivel es anterior el margen de derrame. El hilo de tela debe ser de 150 µm (No. 100) de malla excepto como se describe en T 59 (Pruebas de Emulsiones Asfálticas).

Revuelva la muestra en el viscosímetro con el termómetro de viscosidad apropiado equipado con el soporte del termómetro. Use un movimiento circular a 30 a 50 rpm en un plano horizontal. Cuando la temperatura de la muestra permanece constante dentro de 0.05°C (0.10°F) de la temperatura del ensayo durante 1 minuto de revolver continuo, quite el termómetro.

Inmediatamente ponga la punta del tubo del retiro en la galería en un punto, y aplica una succión para quitar el aceite hasta que el nivel en la galería esté debajo del margen de derrame. No toque el margen de derrame con el tubo del retiro; la cabeza líquida efectiva de la muestra debe ser reducida.

Verifique para estar seguro que el frasco receptor está en posición apropiada; entonces saque una foto el corcho del viscosímetro y empieza el cronómetro al mismo momento; una cadena pequeña o cordón pueden ser atados al corcho para facilitar levantamiento rápido.

Detenga el cronómetro el momento que el fondo de la media luna de aceite alcanza la marca de la graduación en el frasco receptor. Grabe que el tiempo de derrame en segundos al 0.1 segundo más cercano.

DETERMINACIÓN Y REPORTE

Multiplique que el tiempo de derrame por el factor de la corrección para el viscosímetro. Reporte que el tiempo de derrame corregido como la viscosidad Saybolt Universal o Saybolt Furol del aceite a la temperatura a la que el ensayo fue hecho.

Los valores del reporte deben ser hechos al segundo entero más cercano.

EJEMPLO DE CÁLCULO:

Calculo de Viscosidad Say bolt-Furol promedio a 50 °C

Datos:

Viscosidad ensayo 1 = 115 sSF

Viscosidad ensayo 2 = 123 sSF

Viscosidad ensayo 3 = 118 sSF

$$\text{Viscosidad Say bolt furol promedio} = \frac{V1 + V2 + V3}{3}$$

$$\text{Viscosidad Say bolt furol promedio} = \frac{115\text{sSF} + 123\text{sSF} + 118\text{sSF}}{3}$$

$$\text{Viscosidad Say bolt furol promedio} = 118,67\text{ sSF}$$

**A.2.2. MÉTODO DE RESIDUO POR DESTILACIÓN. (ASTM D6997
AASHTO T59-97)**

EQUIPOS Y MATERIALES

1. Destilador de aleación de aluminio (Figura A0301_1), aproximadamente de 240 mm de altura por 94 mm de diámetro interior, con un anillo quemador de 125 ± 5 mm, que tiene orificios sobre la periferia interior y que se ajusta alrededor del destilador (Figura A0301_2, Fig. 1).
2. Conexión del equipo consistente en un tubo conector, escudo de metal, un condensador enfriado por agua tipo West o Liebig con camisa de vidrio borosilicato o metal y un adaptador adecuado entre el condensador y la probeta graduada de 100 ml, de las dimensiones mostradas en la Figura A0301_2 Fig. 2.
3. Termómetro de destilación de rango reducido ASTM, graduados en grados Celsius como se especifica, con un rango entre -2 y $+300^{\circ}\text{C}$, y conforme a los requisitos para termómetros 7C como se prescribe en la norma ASTM E 1.

Nota 1: Para detalles del conjunto de piezas y aparatos para el ensaye de destilación, ver Figura A0301_2 Fig. 2. Ver también Nota 2.

4. Balanza de 5.000 g de capacidad, con una precisión de 0,1 g

PROCEDIMIENTO

5. Pese exactamente $200 \pm 0,1$ g de una muestra representativa de emulsión, pese previamente el destilador, incluyendo tapa, abrazadera, termómetros y empaquetadura, si se usa.
6. Use una empaquetadura de papel aceitado o asbesto entre el destilador y la tapa o ensamble, apoyándolo en la tapa hermética. Asegure la abrazadera que cubre el destilador.
7. Inserte un termómetro a través del corcho en cada uno de los pequeños orificios existentes en la tapa. Ajuste estos termómetros para que el final del bulbo de uno de ellos quede a 6,5 mm desde el fondo del destilador y el bulbo del otro quede aproximadamente a 165 mm desde el fondo del destilador.
8. Ubique el anillo quemador alrededor del destilador, a 150 mm desde el fondo de éste. Aplique calor con el quemador encendido y ajustado a la llama al mínimo; también aplique calor con un quemador. Bunsen al tubo conector, para prevenir la condensación de agua.

9. Mueva el anillo quemador aproximadamente a nivel con el fondo cuando la temperatura leída en el termómetro inferior sea aproximadamente 215°C. Incremente la temperatura a $260 \pm 5^\circ\text{C}$ manteniéndola por 15 min. La destilación total debe completarse en 60 ± 15 min contados desde la primera aplicación de calor.

Nota2: La localización del quemador al comienzo del ensaye es flexible; puede levantarse para disminuir el riesgo de sobre espumación o bajarse a la mitad del destilador para emulsiones que no contienen solvente.

Los cambios repentinos de la temperatura en el termómetro superior indican espuma sobre el bulbo; quite calor hasta el cese de la espuma.

10. Inmediatamente después de cumplido el período de calentamiento, pese nuevamente el destilador y accesorios como se indicó en 55 Calcule e informe el porcentaje de residuo por destilación; registre el volumen de aceite destilado aproximando a 1/2 ml; calcule e informe el aceite destilado como un porcentaje de volumen sobre el total de la emulsión. Guarde el aceite destilado si desea identificarlo.

Nota 3: El destilador a temperatura ambiente pesa 1,5 g más que a 260°C, corrija este error adicionando 1,5 g del peso bruto obtenido en 10, antes de calcular el porcentaje de residuo por destilación.

11. Quite la tapa del destilador, agite e inmediatamente vierta una porción adecuada de residuo a través de un tamiz de 0,3 mm (N° 50), dentro de una cápsula metálica de 240 ml, o dentro de un molde adecuado; guarde para realizar los ensayos requeridos. Deje que el residuo en el molde y cápsula se enfríe descubierto a la temperatura ambiente, y luego ensaye el residuo de acuerdo a lo descrito en el Método.

PRECISIÓN

Utilice el siguiente criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados (95% probabilidad):

12. Resultados duplicados del mismo operador no deberían considerarse dudosos a menos que ellos difieran en más de las siguientes cantidades:

- Residuo por destilación, % masa 50 a 70
- Repetibilidad, % masa 1,0

13. Los resultados enviados por cada uno de dos laboratorios no deberían considerarse dudosos a menos que ellos difieran por más que las siguientes cantidades:

-Residuo por destilación, % masa 50 a 70

-Reproducibilidad, % masa 2,0

14. La precisión para la penetración del residuo por destilación por este método, es la misma que se indica en A0311 "Penetración" o en A0103.

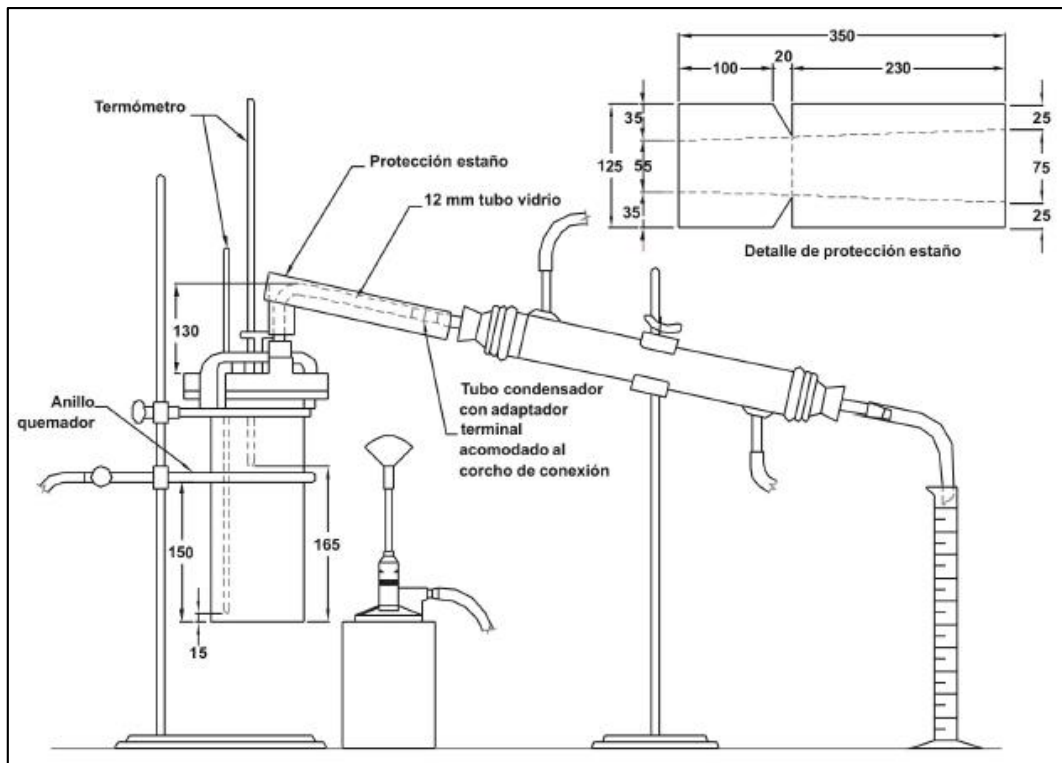
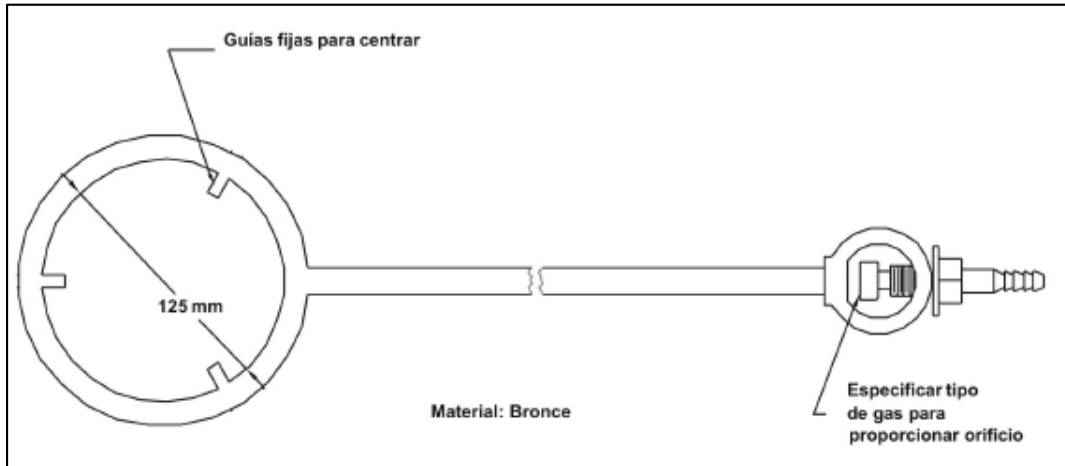


Figura A0301_2 Anillo quemador, ensamble del aparato de destilación para el ensaye de emulsiones asfálticas

EJEMPLO DE CÁLCULO:

Ensayo N°1

Datos:

Peso de destilador + termómetro + tapa + abrazadera + muestra

Peso antes del ensayo = 2502,3 gr

Peso después del ensayo = 2434,4 gr.

Peso del contenido de agua evacuada= 67,9 gr

Peso de muestra de emulsión inicial= 200 gr.

Porcentaje del contenido de agua evacuada= 33,95 %

Porcentaje de cemento asfáltico residual= 66,05 %

Calculo de cada uno de los parámetros.

Calculo de peso del contenido de agua evacuada

Peso del contenido de agua evacuada = Peso antes del ensayo – peso despues del ensayo

$$Peso del contenido de agua evacuada = 2502,3 \text{ gr} - 2434,4 \text{ gr}$$

$$Peso del contenido de agua evacuada = 67,9 \text{ gr}$$

Calculo de porcentaje del contenido de agua evacuada

$$Porcentaje del contenido de agua evacuada = \frac{\text{peso del contenido de agua evacuada}}{\text{Peso de muestra de emulsion iniclal}} * 100$$

$$Porcentaje del contenido de agua evacuada" = \frac{67,9 \text{ gr}}{200 \text{ gr}} * 100$$

$$Porcentaje del contenido de agua evacuada = 33,95\%$$

Calculo de porcentaje de cemento asfáltico residual

Porcentaje de cemento asfáltico residual = 100 – Porcentaje del contenido de agua evacuada

$$Porcentaje de cemento asfáltico residual = 100 - 33,95\%$$

$$Porcentaje de cemento asfáltico residual = 66,05\%$$

A.2.3. MÉTODO PARA DETERMINAR EL PESO ESPECÍFICO (ASTM D71-94; AASHTO T229-97)

OBJETO

Este método establece el procedimiento para determinar la densidad de los asfaltos, mediante el uso de picnómetro a la temperatura requerida.

EQUIPOS Y MATERIALES

- a) Picnómetro, de 24 a 30 ml de capacidad (ver Figura A0102_1)
- b) Balanza analítica
- c) Baño termostático capaz de mantener la temperatura requerida en un rango de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$
- d) Termómetro de -8 a 32°C , con una precisión de $0,1^{\circ}\text{C}$
- e) Agua destilada

CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO

1. Determine la masa del picnómetro limpio y seco con su tapa, y désignela como A, aproximando a 0,01 g.
2. Llene el picnómetro con agua destilada y ajuste firmemente la tapa girándola. Sumerja totalmente el picnómetro en un vaso con agua destilada. Coloque el vaso con el picnómetro en el baño de agua de forma que el agua del baño quede al mismo nivel que la del vaso. manténgalos en el baño como mínimo 30 min, a la temperatura de ensaye. Retire el picnómetro y seque rápida y cuidadosamente toda humedad superficial, determine la masa y désignela como B, aproximando a 0,01 g.

Nota 1: Se deben tomar las precauciones necesarias para que los equipos y agua estén la temperatura de ensaye, y para evitar derrames del picnómetro.

Nota 2: La temperatura de ensaye debe ser igual a la temperatura de calibración del picnómetro.

PROCEDIMIENTO

3. Caliente una pequeña cantidad de material hasta una condición fluida, mediante la aplicación de calor en forma suave; debe prevenir la pérdida por evaporación. Una vez que la muestra esté suficientemente fluida viértala dentro del picnómetro, limpio y seco, hasta aproximadamente la mitad. Es conveniente calentar ligeramente el picnómetro antes de vaciar el material. Se deben tomar precauciones para evitar que el material toque las paredes del picnómetro por encima de su nivel final, y evite la inclusión de burbujas de aire, aplicando ligeramente la llama de un mechero a la superficie del picnómetro y del asfalto. Enfríe el picnómetro y su contenido a temperatura ambiente y determine la masa con la tapa incluida. Designe esta masa como C, aproximando a 0,01 g.
4. Termine de llenar con agua destilada, inserte la tapa firmemente, sumérjalo completamente en un vaso lleno de agua destilada y colóquelo en el baño, de acuerdo a lo indicado en 2, a la temperatura de ensaye por unos 30 min. Retire el picnómetro del vaso y séquelo con un paño. Determine la masa y désignela como D, aproximando a 0,01 g.
5. Determine la densidad del asfalto de acuerdo a la fórmula:

$$\rho_b = \frac{C - A}{(B - A) - (D - C)} \rho_w \times 1.000$$

Dónde:

W= Densidad del agua a la temperatura de ensaye (g/cm³).

b = Densidad del asfalto a la temperatura de ensaye (Kg /m³).

INFORME

El informe debe incluir:

- a) La densidad, aproximada a 1 (kg / m³)
- b) La temperatura de ensaye.

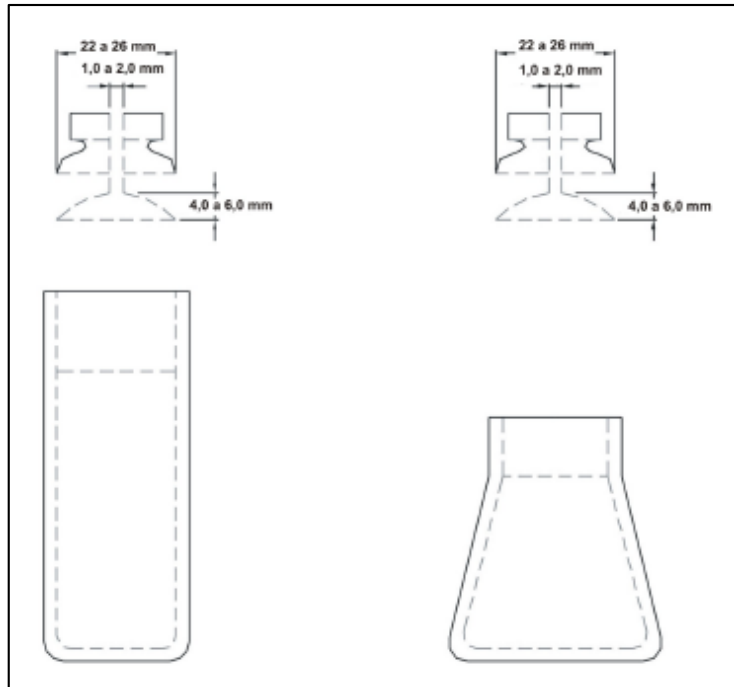


Figura A0102_1 Picnómetro.

EJEMPLO DE CÁLCULO:

Ensayo N°1

Datos:

Peso picnómetro “A”= 36,85 gr

Peso picnómetro + agua a 25°C “B” = 60,33 gr.

Peso picnómetro + muestra “C” = 56,58 gr

Peso picnómetro + agua + muestra “D” = 60,45 gr.

Porcentaje del contenido de agua evacuada “E” = 33,95 %

Calculo del peso específico o densidad relativa.

$$\text{Densidad relativa a } 25^{\circ}\text{C} = \frac{(C - A)}{(B + (C - A) - D) * 0,997077}$$

$$\text{Densidad relativa a } 25^{\circ}\text{C} = \frac{(56,58 \text{ gr} - 36,85 \text{ gr})}{(60,33 \text{ gr} + (56,58 \text{ gr} - 36,85 \text{ gr}) - 60,45 \text{ gr}) * 0,997077}$$

$$\text{Densidad relativa a } 25^{\circ}\text{C} = 1,003 \text{ gr/cm}^3$$

A.2.4. MÉTODO PARA DETERMINAR LA DUCTILIDAD (ASTM D 113; AASHTO T51-00)

OBJETO

La ductilidad de un material bituminoso es la longitud, medida en cm, a la cual se alarga antes de romperse cuando dos extremos de una briqueta, confeccionada con una muestra y de la forma descrita en 1 se traccionan a la velocidad y temperatura especificadas. A menos que otra condición se especifique, el ensaye se efectúa a una temperatura de $25 \pm 0,5$ °C y a una velocidad de 5 cm/min $\pm 5\%$. Para otras temperaturas deberá especificarse la velocidad.

EQUIPOS Y MATERIALES

1. Moldes

El molde, de bronce o zinc, debe ser similar en diseño al mostrado en la Figura A0105_1; los extremos b y b' se denominan clips y las partes a y a', lados del molde. Cuando se arme el molde se obtendrá la briqueta especificada, con las dimensiones que se indican:

A: Distancia entre los centros: 111,5 a 113,5 mm

B: Largo total de la briqueta: 74,5 a 75,5 mm.

C: Distancia entre clips: 29,7 a 30,3 mm.

D: Borde del clip: 6,8 a 7,2 mm.

E: Radio del clip: 15,75 a 16,25 mm.

F: Ancho mínimo de la sección transversal: 9,9 a 10,1 mm.

G: Ancho de la boca del clip: 19,8 a 20,2 mm.

H: Distancia entre los centros de radio: 42,9 a 43,1 mm.

I: Diámetro del orificio del clip: 6,5 a 6,7 mm.

J: Espesor: 9,9 a 10,1 mm

2. Baño de agua

Mantenga el baño a la temperatura de ensaye especificada, con una tolerancia de $\pm 0,1$ °C.

El volumen mínimo de agua es de 10 l. Sumerja la muestra a una profundidad no menor

que 10 cm. y apóyela sobre una bandeja perforada, ubicada a no menos que 5 cm. del fondo del baño.

3. Ductilímetro

Para traccionar las briquetas de material bituminoso se puede usar cualquier aparato construido de modo que la muestra se mantenga continuamente sumergida en agua, como se especifica en 7, al mismo tiempo que los clips se traccionan a una velocidad uniforme y sin vibraciones excesivas. Este aparato debe ser termo regulable para mantener la temperatura especificada en forma homogénea en toda la masa de agua, dentro de la tolerancia indicada en 8.

4. Termómetros

El termómetro por utilizar será ASTM 63 C con un rango de temperatura entre -8 y 32°C ; debe cumplir los requerimientos descritos en la norma ASTM E1.

PROCEDIMIENTO

5. Preparación del molde

Arme el molde sobre una placa base; cubra cuidadosamente la superficie de la placa y las superficies interiores de los lados a y a' del molde (FiguraA0105_1) con una película delgada de desmoldante para prevenir que el material por ensayar se adhiera. La placa sobre la cual se coloca el molde debe estar perfectamente plana y a nivel, de modo que la superficie inferior del molde esté completamente en contacto.

6. Moldeo de las muestras para el ensaye

Caliente la muestra con cuidado, previniendo calentamientos locales, hasta que esté suficientemente fluida para verter. Sin embargo, durante el calentamiento, la temperatura no debe exceder de 80 a 110°C por encima del punto de ablandamiento esperado. Durante el llenado cuide no tocar ni desarreglar el molde, de modo que no se distorsione la briqueta; vierta con un chorro delgado hacia atrás y hacia adelante, de extremo a extremo, hasta que el molde quede por sobre el nivel de llenado. Deje enfriar a temperatura ambiente por un período de 30 a 40 min y luego coloque en el baño de agua mantenido a la temperatura de ensaye especificada por 30 min. Luego recorte el exceso de ligante

asfáltico con una espátula o cuchillo caliente, resistente y afilado, de modo que el molde se ajuste al nivel de llenado.

Nota 1: Como desmoldante se puede usar vaselina, silicona u otros.

7. Conservación de las muestras a la temperatura de ensaye

Coloque la placa y el molde con la briqueta en el baño de agua y manténgala por un período de 85 a 95 min. a la temperatura especificada; luego quite la briqueta de la placa, separe las partes a y a' e inmediatamente ensaye la briqueta.

8. Ensaye

Enganche los anillos de cada extremo de los clips a las clavijas del ductilímetro y sepárelos a la velocidad uniforme especificada hasta la ruptura de la briqueta; se permite una tolerancia de $\pm 5\%$ para la velocidad especificada. Mida la distancia en cm. entre los clips traccionados en el momento de producirse la ruptura. Durante el desarrollo del ensaye, el agua en el estanque del ductilímetro cubrirá la briqueta a lo menos 2,5 cm. y ésta se mantendrá continuamente a la temperatura especificada con una tolerancia de $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

INFORME

9. Un ensaye normal es aquél en el cual el material entre los dos clips se ha estirado hasta el punto de convertirse en un hilo y la ruptura ocurre en el punto donde el hilo no tiene prácticamente sección transversal. Se informará el promedio de tres ensayes normales como la ductilidad de la muestra, indicando la temperatura de ensaye.

10. Si el material bituminoso llega a tener contacto con la superficie del agua o el fondo del baño, el ensaye no será considerado normal. Se ajustará la densidad del agua del baño agregando alcohol metílico o cloruro de sodio de modo que el material bituminoso no llegue a la superficie del agua ni toque el fondo del baño durante el ensaye.

11. Si no se obtiene un ensaye normal en tres ensayes sucesivos en iguales condiciones, infórmela ductilidad como “no obtenible” bajo esas condiciones de ensaye.

Figura 1

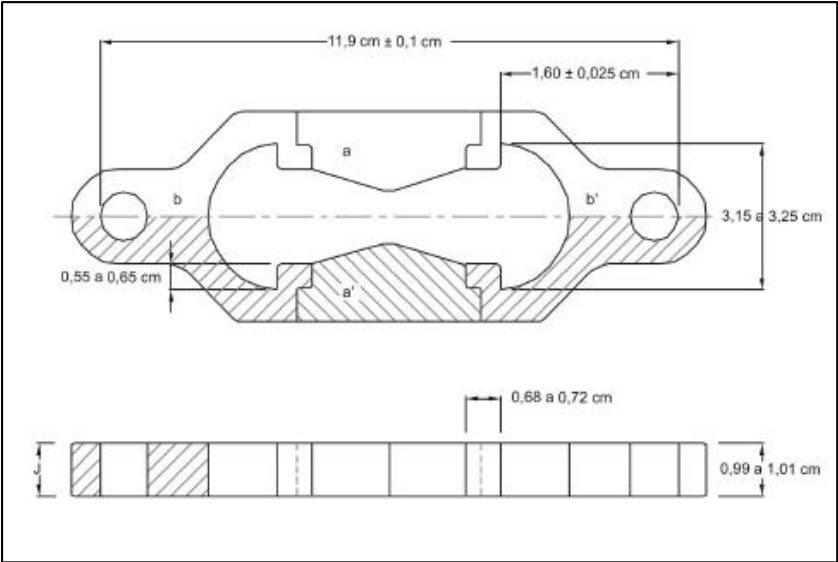


Figura 2

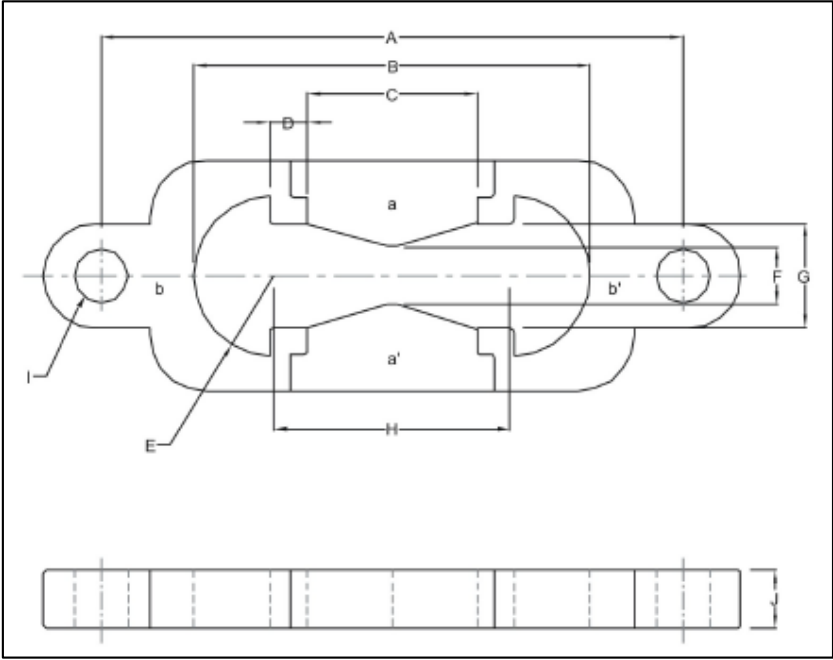


Figura A0105_1 Moldes para hacer el ensayo de ductilidad

EJEMPLO DE CÁLCULO:

Calculo de Ductilidad promedio a 25°C

Datos:

Ductilidad ensayo 1 = 102 cm

Ductilidad ensayo 2 = 118 cm

Ductilidad ensayo 3 = 125 cm

$$Ductilidad\ promedio = \frac{D1 + D2 + D3}{3}$$

$$Ductilidad\ promedio = \frac{102\ cm + 118\ cm + 125\ cm}{3}$$

$$Ductilidad\ promedio = 115\ cm$$

A.2.5. MÉTODO DE ENSAYO DE PENETRACIÓN. (ASTM D 5 AASHTO T49-97)

OBJETO

Este método describe un procedimiento para determinar la dureza, mediante penetración, de materiales bituminosos sólidos y semisólidos.

El ensayo de penetración se usa como una medida de consistencia; valores altos de penetración indican consistencias más blandas.

EQUIPOS Y MATERIALES

1. Penetrómetro

Cualquier equipo que permita el movimiento vertical sin fricción apreciable del vástago sostenedor de la aguja, y que sea capaz de indicar la profundidad de la penetración con una precisión de 0,1 mm. El peso del vástago será de $47,5 \pm 0,05$ g. El peso total de la aguja y el vástago será de $50,0 \pm 0,05$ g. Para cargas totales de 100 g y 200 g, dependiendo

de las condiciones es en que se aplique el ensaye, se estipulan pesas de $50,0 \pm 0,05\text{g}$ y $100,0 \pm 0,05\text{g}$.

La superficie sobre la que se apoya la cápsula que contiene la muestra será lisa y el eje del émbolo deberá estar aproximadamente a 90° de esta superficie. El vástago deberá ser fácilmente desmontable para comprobar su peso.

2. Aguja de penetración

La aguja (ver Figura A0103_1) es de acero inoxidable templado y duro, debe tener aproximadamente 50 mm de largo y su diámetro entre 1,00 y 1,02 mm.

Será simétricamente afilada en forma cónica, con un ángulo entre $8,7$ y $9,7^\circ$ con respecto al largo total del cono, el que debe ser coaxial con el cuerpo recto de la aguja.

El filo de la superficie de la punta truncada debe ser bien formado y libre de rugosidad. Cuando la textura de la superficie se mide de acuerdo con la American National Standard B 46.1 o ISO468, la aspereza superficial (R_a) del cono aguzado debe estar entre $0,2$ y $0,3 \mu\text{m}$ como promedio aritmético.

La aguja debe montarse en un casquete de metal no corrosivo, que tenga un diámetro de $3,2 \pm 0,05 \text{ mm}$ y una longitud de $38 \pm 1 \text{ mm}$. La longitud expuesta de la aguja estándar debe estar comprendida entre 40 y 45 mm.

La aguja debe estar rígidamente montada en el casquete. La carrera (lectura del indicador de penetración total) de la punta de la aguja y cualquier porción de la aguja relativa al eje del casquete, no deberá exceder de 1 mm.

La masa del conjunto casquete - aguja será de $2,50 \pm 0,05 \text{ g}$ (se puede perforar con taladro o limar el casquete, para controlar el peso). Coloque marcas de identificación individual en el casquete de cada aguja; las mismas marcas no deberían repetirse por un mismo fabricante dentro de un período de tres años.

El diagrama muestra una aguja de penetración con las siguientes especificaciones:

- Diámetro: $1,00$ a $1,20$ mm.
- Longitud total: 50 mm.
- Ángulo de la punta: $8,7$ a $9,7$ grados.
- Longitud de la punta: $6,35$ mm.
- Característica de la punta: Punta truncada de $0,14$ a $0,16$ mm.

Dimensiones en mm

Figura A0103_1 Aguja del Penetrómetro

3. capsulas

Las cápsulas deben ser de metal o vidrio, de forma cilíndrica y con fondo plano. Sus dimensiones son las siguientes:

-Para penetraciones bajo 200. Diámetro (mm) 55 Profundidad (mm) 35

-Para penetraciones entre 200 y 350: Diámetro (mm) 55 Profundidad (mm) 70

4. Baño de agua

Tendrá una capacidad mínima de 10l y un sistema apto para mantener la temperatura a 25° C, o cualquiera de ensaye, con una tolerancia de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$; tendrá, además, una bandeja perforada ubicada a no menos de 50 mm del fondo, ni menos de 100 mm bajo el nivel del líquido en el baño.

Nota 1: Se recomienda usar agua destilada en el baño. Se debe evitar la contaminación del baño de agua por agentes superficiales activos, agentes residuales u otros agentes químicos, pues su presencia puede afectar los valores de penetración.

5. Transportador de cápsula

Debe tener una capacidad mínima de 350 ml y una profundidad suficiente de agua que permita cubrir la altura del contenedor de la muestra. Debe estar provisto de algún medio que asegure firmemente la cápsula y evite el balanceo; para lo que tendrá tres brazos que permitan a lo menos tres puntos de contacto para sostener la cápsula.

6. Aparato medidor de tiempo

Para operar un penetrómetro manual, utilice cualquier aparato que mida el tiempo, tal como un medidor de tiempo eléctrico, un cronómetro o cualquier dispositivo a cuerda, que esté graduado en 0,1 son menos y cuya precisión esté dentro de $\pm 0,1$ s para un intervalo de 60 s.

También se puede utilizar un contador de segundos audible, ajustado para proporcionar un pulso cada 0,5 s. El tiempo para un intervalo de cuenta de 11 pulsos debe ser de $5 \pm 0,1$ s.

7. Termómetros

Se pueden usar termómetros de vidrio de rango adecuado, con subdivisiones y escala máxima de error de $0,1^{\circ}\text{C}$, o cualquier otro aparato que mida temperaturas con igual

exactitud, precisión y sensibilidad. Los termómetros deben cumplir los requisitos de la Especificación ASTM E1. Los termómetros comúnmente utilizados son los que se indican en la Tabla A0103_1:

ASTM nº	Rango	Temperatura de ensaye
17 C	19 a27 °C	25 °C
63 C	- 8 a+ 32 °C	0 a 4 °C
64 C	25 a55 °C	46 °C

Tabla A0103_1 Tipos de termómetros

El termómetro para el baño de agua se debe calibrar periódicamente de acuerdo con el método de ensaye ASTM E 77.

CONDICIONES GENERALES

Cuando no se especifiquen las condiciones de ensaye, considere la temperatura, carga y tiempo, en 25°C, 100 g y 5 s, respectivamente. Otras condiciones de temperatura, carga y tiempo pueden usarse para ensayos especiales, tales como los que se muestran en la Tabla A0103_2.

Temperatura (°C)	Carga (g)	Tiempo (s)
0	200	60
4	200	60
45	50	5
46,1	50	5

Tabla: A0103_2 Condiciones para ensayos especiales

PROCEDIMIENTO

12. Examine la aguja y guía para comprobar que esté perfectamente seca y libre de otros materiales extraños. Limpie la aguja de penetración con tolueno u otro solvente adecuado, seque con un paño limpio e inserte la aguja en el penetrómetro. A menos que se especifique otra cosa, coloque el peso de 50 g sobre la aguja, obteniendo una masa total de $100 \pm 0,1$ g.

13. Si el ensaye se hace con el penetrómetro en el baño, coloque la cápsula con muestra directamente sumergida sobre la superficie de éste (Nota 2), y deje la cápsula con la muestra en el baño, completamente cubierta con agua. Si el ensaye se realiza con el penetrómetro fuera del baño, coloque la muestra en el transportador de cápsula, cúbrala completamente con agua a la temperatura del baño (constante) y ubique el transportador sobre la superficie del penetrómetro.

Nota 2: Para ensayos arbitrarios, las penetraciones a temperaturas diferentes de 25°C deben realizarse sin remover la muestra del baño.

14. Posicione la aguja descendiendo lentamente hasta que la punta haga contacto con la superficie de la muestra; realice esto con la punta de la aguja haciendo contacto real con su imagen reflejada sobre la superficie de la muestra, para lo cual empleé una fuente luminosa (Nota 3).

Nota 3: La posición de la aguja se puede visualizar mejor con la ayuda de un tubo de iluminación de polimetil metacrilato.

15. Haga un mínimo de tres penetraciones en la superficie de la muestra en puntos distanciados al menos 10 mm de la pared de la cápsula y a no menos de 10 mm entre uno y otro.

PRECISIÓN

Use el siguiente criterio para juzgar si los resultados de penetración son aceptables para asfaltos a 25°C . (El criterio de precisión para otras temperaturas está siendo determinado).

16. Precisión para un solo operador

El coeficiente de variación determinado para un solo operador, es de 1,4% para penetraciones sobre 60 y la desviación estándar para un solo operador, desde 0,35 para penetraciones bajo 50.

Por lo tanto, los resultados de dos ensayos adecuadamente ejecutados por el mismo operador, con el mismo material de cualquier penetración y usando el mismo equipo, no deberían diferir uno del otro en más de 4% de su media o 1 unidad en otros casos.

17. Precisión entre laboratorios

El coeficiente de variación encontrado entre laboratorios es de 3,8% para penetraciones sobre 60 y la desviación estándar entre laboratorios es de 1,4 para penetraciones bajo 50. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos adecuadamente ejecutados, con el mismo material de cualquier penetración y en dos laboratorios diferentes, no deberían diferir uno del otro en más de 11% de su media o 4 unidades en otros casos

Nota 4: Los valores antes indicados representan los límites de ambas desviaciones estándar.

En la Tabla A0103_3 se entregan los criterios de precisión para los distintos casos.

Tabla: A0103_4 Criterios de precisión

Material	Desviación estándar o Coeficiente de Variación, (Unidades o %)	Rango de aceptación de dos resultados de Ensaye (Unidades o %)
Precisión para un solo operador:		
Asfaltos a 25°C, penetraciones bajo 50, (unidades)	0,35	1
Asfaltos a 25° C, penetraciones sobre 60, (% de su media)	1,4	4
Alquitranes a 25° C(*), (% de su media)	5,2	15
Precisión entre laboratorios:		
Asfaltos a 25° C, penetraciones bajo 50, (unidades)	1,4	4
Asfaltos a 25°C, penetraciones sobre 60, (% de su media)	3,8	11
Alquitranes a 25° C (*), (unidades)	1,4	4

(*) La estimación de la precisión para los alquitranes está basada en los resultados de dos destilados de hulla con penetraciones de 7 y 24. La estimación puede no ser aplicable a materiales de dureza diferente.

EJEMPLO DE CÁLCULO:

Calculo de Penetración promedio a 25°C

Datos:

Penetración ensayo 1 = 67 mm

Penetración ensayo 2 = 66 mm

Penetración ensayo 3 = 63 mm

$$\textit{Penetración promedio} = \frac{P1 + P2 + P3}{3}$$

$$\textit{Penetración promedio} = \frac{67 \textit{ mm} + 66 \textit{ mm} + 63 \textit{ mm}}{3}$$

$$\textit{Penetración promedio} = 65 \textit{ mm}$$

ANEXO B

DISEÑO DE MEZCLAS CON EMULSIONES ASFÁLTICAS EN FRIO.

B.1. COMBINACIÓN DE AGREGADOS

Las mezclas asfálticas pueden denominarse densas, open-graded o gap-graded. Estas denominaciones dependen de la granulometría de la mezcla. Todo diseño de mezclas asfálticas parte del diseño de los agregados.

Los agregados pueden proceder de diferentes canteras, la calidad de los materiales deberá ser evaluado en el laboratorio para verificar si cumple con las especificaciones técnicas.

Son diferentes los métodos que se puedan emplear para la combinación de agregados, entre ellos está la dosificación de los agregados por peso y por métodos gráficos. El método gráfico no se describirá en esta parte del libro.

Dosificación de los agregados por peso

$$P = Aa + Bb + Cc \text{ etc.}$$

Dónde:

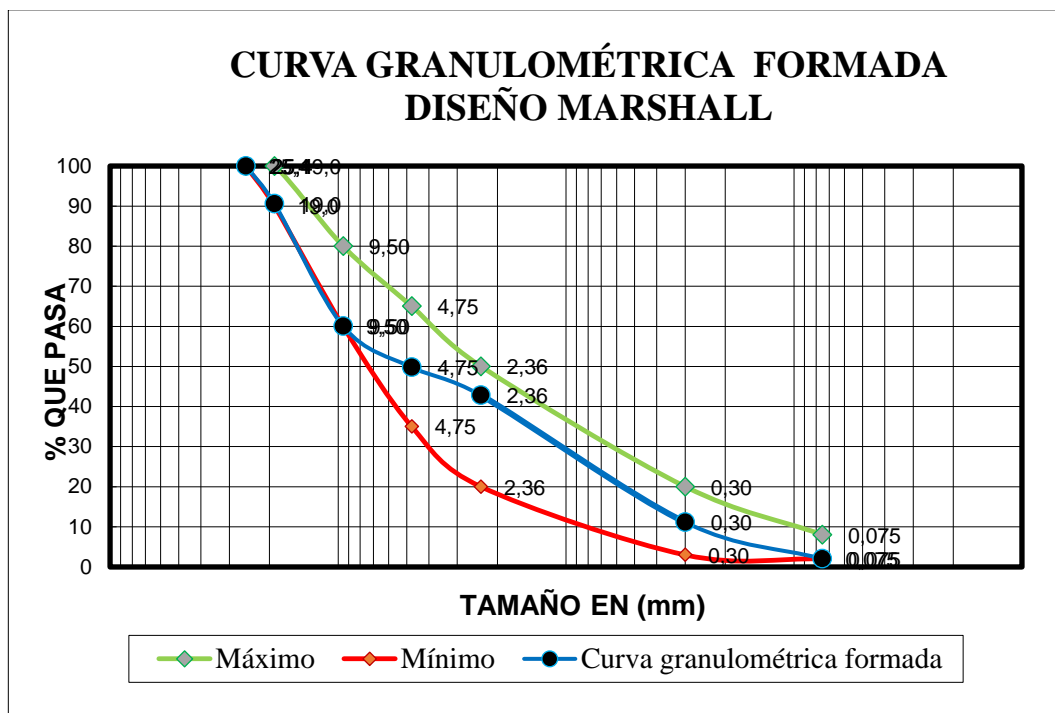
P: Porcentaje promedio de las especificaciones en un tamiz

A, B, C, etc.: Porcentaje de material que pasa un tamiz para la granulometría A, B, C, etc.

a, b, c, etc. :Proporción de agregados A, B, C, etc. usado en la combinación. La suma es 1

Tamices	tamaño (mm)	Grava	Gravilla	Arena	Grava	Gravilla	Arena	TOTAL
		Peso Ret. a 5000 gr	Peso Ret. a 5000 gr	Peso Ret. a 5000 gr	al 0,30	al 0,20	al 0,50	Peso Ret. 1,00
1"	25,4	0,55	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,17
3/4"	19,0	1447,61	183,38	0,00	434,28	36,68	0,00	470,96
1/2"	12,5	1226,13	2057,05	0,00	367,84	411,41	0,00	779,25
3/8"	9,50	1173,38	1978,85	0,00	352,02	395,77	0,00	747,79
Nº4	4,75	1144,88	751,25	36,33	343,47	150,25	18,17	511,88
Nº8	2,36	0,22	22,07	688,33	0,07	4,41	344,17	348,65
Nº16	1,18	0,20	0,47	1301,67	0,06	0,09	650,83	650,99
Nº30	0,60	0,18	0,22	1187,28	0,06	0,04	593,64	593,74
Nº50	0,30	0,15	0,35	676,67	0,05	0,07	338,33	338,45
Nº100	0,15	2,35	1,10	627,22	0,71	0,22	313,61	314,54
Nº200	0,075	1,27	1,50	279,89	0,38	0,30	139,94	140,62
BASE	-	2,07	2,78	201,44	0,62	0,56	100,72	101,90
	SUMA	4998,9	4999,0	4998,8	1499,70	999,80	2499,42	4998,9
	PÉRDIDAS	1,1	1,0	1,2				

Tamices	tamaño (mm)	TOTAL				Especificaciones	
		Peso Ret. 1,00	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total	Mínimo	Máximo
		1"	25,4	0,17	0,17	0,00	100,00
3/4"	19,0	470,96	471,13	9,42	90,58	90	100
1/2"	12,5	779,25	1250,38	25,01	74,99	-	-
3/8"	9,50	747,79	1998,16	39,97	60,03	60	80
Nº4	4,75	511,88	2510,04	50,21	49,79	35	65
Nº8	2,36	348,65	2858,69	57,19	42,81	20	50
Nº16	1,18	650,99	3509,67	70,21	29,79	-	-
Nº30	0,60	593,74	4103,41	82,09	17,91	-	-
Nº50	0,30	338,45	4441,86	88,86	11,14	3	20
Nº100	0,15	314,54	4756,40	95,15	4,85	-	-
Nº200	0,075	140,62	4897,02	97,96	2,04	2	8
BASE	-	101,90	4998,92	100,00	0,00	-	-
	SUMA	4998,9					



B.2. MÉTODO DE DISEÑO MARSHALL MODIFICADO

OBJETO

El propósito de esta investigación es la de adaptar el método Marshall utilizado en la zona para mezclas asfálticas en caliente por la denominada metodología Marshall modificado desarrollada por la universidad de Illinois en EEUU aplicado a mezclas con emulsiones asfálticas de granulometría cerrada o densa y semidensa.

El método trata de desarrollar sus procedimientos de diseño con algún grado de normalización, donde se toma en consideración los parámetros y procedimientos, su disponibilidad de equipos y diferente uso del tipo de emulsiones y agregados del método normal de Marshall para mezclas en caliente, con la diferencia de las temperaturas en el preparado de agregado y previo al rompimiento de las briquetas ya que deberá ser a temperatura ambiente de entre mínimo 20°C a un máximo de 40°C.

DETERMINACIONES PREVIAS

1. Determine la densidad real seca de cada árido que participa en la mezcla y la del filler, si lo hubiere, de acuerdo a los Métodos A0519, A0520 según corresponda.
2. Determine la densidad relativa del cemento asfáltico residual a 25 ° C según Método A0102.
3. Determine la densidad máxima de la mezcla suelta según Método A0505, para un contenido de asfalto próximo al óptimo previsto.
4. Prepare las probetas según Método A0608.
5. Determine las densidades de las probetas compactadas, según Método A0606.
6. Mida la Estabilidad y la Fluencia de las mezclas usando el equipo Marshall, según Método A0608.

PREPARACIÓN DE ESPECÍMENES PARA EL ENSAYO:

Prepare tres o más lotes, para cada uno de ellos un mínimo de tres diferentes contenidos de emulsión, uno por encima del contenido de prueba y otro por debajo. Se debe tomar en cuenta que si la mezcla de prueba está muy seca se debe aumentar uno o dos porcentajes por encima, o al contrario si está muy rica, disminuir uno o dos porcentajes de emulsión para las mezclas restantes.

Una diferencia normal entre los contenidos de emulsión es de 1,0% o 0,65% en el contenido de residuo asfáltico claro esta para una emulsión de residuo de 65%.

PROCEDIMIENTO DE MEZCLADO:

Pese en boles¹ para mezcla adecuados, la correcta cantidad de agregado del proyecto en condición húmeda (cantidad corregida a peso seco), para obtener un espécimen compactado cuya altura es de $63,5 \pm 6$ mm ($2,5 \pm 0,25$ pulgadas), todo esto con cada pastón. La cantidad normalmente necesaria es alrededor de 1200 gramos de agregado seco. Debe ponerse cuidado en que el agregado para cada pastón² sea representativo del agregado del proyecto. De ser necesario el agregado

¹ **Boles:** Recipiente de forma hemisférica utilizado para mantener, mezclar o servir

² **Pastón:** Referente a cantidad de masa en nuestro caso mezcla

puede ser secado, separado en diferentes tamaños, y luego re combinado para el peso requerido para cada pastón.

Si se necesita agua de premezclado pese agregándola al agregado, la cantidad predeterminada realizando previamente el ensayo de recubrimiento de partículas y mezcle durante 10 segundos o hasta que la humedad este uniformemente distribuida. Esto debe realizarse inmediatamente antes de la adición y mezclado de la emulsión.

Pese, agregándola, la cantidad predeterminada de emulsión sobre el agregado con humedad ambiente y remueva vigorosamente durante 60 segundos o hasta que la emulsión se haya dispersado lo suficiente en la mezcla.

PROCEDIMIENTO DE COMPACTACIÓN:

A menudo y previamente a la compactación e necesario secar o airear la mezcla. En el momento en el que el volumen de líquido total (emulsión + agua en el agregado) excede los vacíos en el agregado mineral VAM mas cualquier volumen de líquido absorbido, no se puede lograr una compactación adecuada. Esta condición puede ser detectada si el martillo del método Marshall rebota y/o el espécimen exuda líquido. Cuando esta condición se da, coloque la mezcla en una bandeja y utilice un ventilador y remueva ocasionalmente la mezcla para reducir el contenido de humedad de modo que pueda lograrse una compactación apropiada.

Limpie completamente el molde para el espécimen y la cara del martillo de compactación.

Coloque un disco papel en el fondo del molde antes de volcar la mezcla. Coloque la totalidad del pastón dentro del molde y con una espátula aplique vigorosamente 15 golpes alrededor del perímetro y 10 golpes en el interior del molde. Con la espátula alise la superficie de la mezcla dándole una forma ligeramente redondeada.

Coloque el molde sobre el pedestal trábelo y aplique 50 golpes con el martillo de compactación con una caída libre de 457,2 mm (18,0 pulgadas). Quite la base del molde y el collar e invierta el espécimen moldeado, re ensamblarlo en el molde. Aplique otros 50 golpes de compactación esta vez sobre la cara libre del espécimen invertido.

Retire la base, el collar y los discos de papel y coloque el molde con el espécimen compactado en su interior sobre un estante perforado en una estufa de circulación forzada a 60°C (140°F) y durante 48 horas para algunas mezclas puede ser necesario empujar el espécimen hacia abajo nivelándolo con el fondo del molde, de modo que este realice su curado a temperatura ambiente o en un horno no excediendo los 60°C.

Deje enfriar el espécimen en el molde durante una hora como mínimo, previamente a su desmoldado para ser ensayado.

ENSAYADO DE ESPECÍMENES COMPACTADOS:

Si se desea, partiendo de los especímenes compactados se puede determinar los valores aproximados de los parámetros volumétricos y de la estabilidad. Los parámetros volumétricos a menudo no son evaluados, se los calcula solo como aproximaciones debido a la posibilidad de que haya algo de humedad en los especímenes compactados y curados y el gran número para valores más exactos. Si se desean valores más precisos deben tenerse en cuenta la humedad existente en los especímenes compactados y la máxima densidad teórica debe ser determinada con una mezcla suelta, libre de humedad.

ENSAYO DE ESTABILIDAD:

La estabilidad y fluencia en el ensayo de Marshall se la determinan siguiendo los procedimientos de ASTM D-1559 comenzando por el párrafo 5 (Procedente, procedimiento), con la excepción de que los especímenes compactados serán colocados en un baño al aire por un mínimo de 2 horas a la temperatura de ensayo, para luego en baño maría a una temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$. ($77 \pm 1.8^\circ\text{F}$). Para la mayoría de los pavimentos con bajo a medianos volúmenes de tráfico, se ha encontrado que una estabilidad de 2224 N (500 libras) o mayor es satisfactoria. La experiencia local puede justificar un diferente valor mínimo de estabilidad.

CÁLCULOS

7. Cálculo de la densidad real seca ponderada de la mezcla de áridos Cuando la mezcla está compuesta por dos o más áridos , todos con diferentes densidades reales, calcule la densidad real seca de la mezcla de áridos de acuerdo a la expresión:

$$\rho_{RS} = P_1 \cdot \rho_{RS1} + P_2 \cdot \rho_{RS2} + \dots + P_n \cdot \rho_{RSn}$$

Donde:

ρ_{RS} :

Densidad real seca de la mezcla de agregados.

P_1, P_2, \dots, P_n :

Porcentajes en peso de los áridos 1, 2, ... n, expresados en forma decimal.

$\rho_{RS1}, \rho_{RS2}, \dots, \rho_{RSn}$:

Densidades reales secas de los áridos 1, 2, ... n.

8. Cálculo de la densidad efectiva del árido.

Calcule la densidad efectiva del árido mediante la expresión:

$$\rho_E = \frac{100}{\frac{100 + P_b}{D_{mm}} - \frac{P_b}{\rho_b}}$$

Donde:

ρ_E : Densidad efectiva del árido (kg/m^3).

P_b : Porcentaje de asfalto referido al árido (%).

D_{mm} : Densidad máxima de la mezcla suelta (kg/m^3).

ρ_b : Densidad del asfalto (kg/m^3).

9. Cálculo de porcentaje de asfalto absorbido

El asfalto absorbido se expresa como un porcentaje referido al árido y se calcula con la fórmula siguiente:

$$P_{ba} = \left(\frac{1}{\rho_{RS}} - \frac{1}{\rho_E} \right) \times \rho_b \times 100$$

Donde:

P_{ba} : Porcentaje de asfalto absorbido, referido al árido (%).

ρ_{RS} : Densidad real seca del árido (kg/m^3).

ρ_E : Densidad efectiva del árido (kg/m^3).

ρ_b : Densidad del asfalto (kg/m^3).

10. Cálculo de la densidad máxima de la mezcla para distintos contenidos de asfalto.

Al calcular el porcentaje de huecos de aire en la mezcla, es necesario conocer D_{mm} para cada porcentaje de asfalto considerado. Si bien esto se puede hacer a través del Método A0605 del manual de carreteras ABC para cada contenido de asfalto, la precisión del ensaye es mejor cuando se aproxima al contenido de asfalto óptimo. Una vez obtenida la D_{mm} para un determinado contenido de asfalto y calculada la densidad efectiva del árido, calcule la D_{mm} de la mezcla para cualquier otro porcentaje de asfalto, de acuerdo a la fórmula:

$$D_{mm} = \frac{100 + P_b}{\frac{100}{\rho_E} + \frac{P_b}{\rho_b}}$$

Donde:

D_{mm} : Densidad máxima de la mezcla (kg/m^3).

P_b : Porcentaje de asfalto referido al árido (%).

ρ_E : Densidad efectiva del árido (kg/m^3), de acuerdo a 8.

ρ_b : Densidad del asfalto (kg/m^3).

11. Contenido de asfalto útil

El contenido de asfalto útil (P_{bu}) de una mezcla, corresponde al contenido de asfalto total menos el contenido de asfalto absorbido por el árido. Se calcula de acuerdo a la fórmula:

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

Donde:

P_{bu} : Porcentaje de asfalto útil referido al árido (%).

P_b : Porcentaje de asfalto referido al árido (%).

P_{ba} : Porcentaje de asfalto absorbido referido al árido (%).

12. Cálculo de los Vacíos en el árido mineral

El porcentaje de vacíos en el árido mineral (VAM), se calcula de acuerdo a la fórmula:

$$VAM = 100 \times \left(1 - \frac{G}{\rho_{RS}} \times \frac{100}{100 + P_b} \right)$$

Donde:

VAM: Porcentaje de vacíos en el árido mineral (%).

G: Densidad de la mezcla compactada (kg/m^3).

ρ_{RS} : Densidad real seca del árido (kg/m^3).

P_b : Porcentaje de asfalto referido al árido (%).

13. Cálculos del porcentaje de huecos de aire en la mezcla.

El porcentaje de huecos de aire en la mezcla (V_a), se calcula de acuerdo a la fórmula:

$$V_a = 100 \times \frac{D_{mm} - G}{D_{mm}}$$

Donde:

V_a : Porcentaje de huecos de aire en la mezcla (%).

D_{mm} : Densidad máxima de la mezcla (kg/m^3), de acuerdo a 10.

G : Densidad de la mezcla compactada (kg/m^3).

14. Cálculo del porcentaje de huecos llenos con asfalto.

El porcentaje de huecos llenos con asfalto (V_{LL}), se calcula de acuerdo a la fórmula:

$$V_{LL} = 100 \times \left(1 - \frac{V_a}{VAM} \right)$$

Donde:

V_{LL} : Porcentaje de huecos llenos con asfalto (%).

V_a : Porcentaje de huecos de aire en la mezcla (%).

VAM : Porcentaje de vacíos en el árido mineral (%).

Acondicionamiento de los datos

15. Los valores de estabilidad obtenidos para probetas de espesores distintos a 63,5 mm deben corregirse, convirtiendo éstos a un valor equivalente a 63,5 mm, utilizando para el o los factores de corrección indicados en Tabla A0608_1 del Método A0608 del manual de carreteras de la ABC

16. Calcule el valor promedio de la densidad, fluencia y estabilidad corregida, para todas las probetas con un mismo contenido de asfalto.

17. Confeccione los siguientes gráficos, uniendo mediante una curva suave

18. todos los puntos obtenidos:

a) Estabilidad v/s porcentaje de asfalto.

b) Fluencia v/s porcentaje de asfalto.

c) Densidad v/s porcentaje de asfalto.

d) Huecos en la mezcla v/s porcentaje de asfalto.

e) VAM v/s porcentaje de asfalto.

Determinación del contenido óptimo de asfalto

18. Capa de Rodadura

a) Determine el contenido óptimo de asfalto de la mezcla considerando las curvas de densidad, estabilidad y huecos en la mezcla. De dichas curvas se determinan los porcentajes de asfalto (Pb) que entreguen:

- Máxima estabilidad (Pb1).
- Máxima densidad (Pb2).
- Contenido de asfalto para un 5% de huecos (Pb3).

El contenido óptimo de asfalto se calcula como la media aritmética de los tres valores obtenidos, es decir:

$$Pb \text{ optimo} = \frac{Pb_1 + Pb_2 + Pb_3}{3}$$

b) Verifique que el contenido óptimo de asfalto, con una tolerancia de $\pm 0,3$ puntos porcentuales, cumpla con todos los requisitos de calidad exigidos a la mezcla. En caso contrario, confeccione una nueva serie de muestras.

19. Capa de Base y Capa Intermedia (Binder)

Seleccione como contenido óptimo de asfalto el porcentaje de ligante que, con una tolerancia de $\pm 0,5$ puntos porcentuales, cumpla con todos los requisitos de calidad exigidos a la mezcla.

INFORME

20. Análisis Marshall

a) Para cada contenido de asfalto considerado se debe incluir:

- Densidad.
- Huecos en la mezcla.
- Vacíos en el agregado mineral (vam).
- Estabilidad.
- Fluencia.

b) Gráficos de Densidad, Huecos, VAM, Estabilidad y Fluencia con respecto a cada uno de los porcentajes de asfalto considerados.

EJEMPLO DE CÁLCULO:

CÁLCULO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS:

- **CÁLCULO DEL PESO VOLUMÉTRICO:**

Calculo del peso volumétrico de una briqueta a un porcentaje óptimo de emulsión de 10,00 % incorporando limadura PET en un 6,00%

Datos:

Peso seco de la briqueta 12A = 1128,00 gr

Altura 1 = 6,22 cm

Altura 2 = 6,23 cm

Altura 3 = 6,23 cm

Altura 4 = 6,25 cm

Diámetro 1 = 10,13 cm

Diámetro 2 = 10,08 cm

Calculo de la altura promedio:

$$\text{Altura promedio} = \frac{H1 + H2 + H3 + H4}{4}$$

$$\text{Altura promedio} = \frac{6,22 \text{ cm} + 6,23 \text{ cm} + 6,23 \text{ cm} + 6,25 \text{ cm}}{4}$$

$$\text{Altura promedio} = 6,23 \text{ cm}$$

Calculo del diámetro promedio:

$$\text{Diámetro promedio} = \frac{D1 + D2}{2}$$

$$\text{Diámetro promedio} = \frac{10,13 \text{ cm} + 10,08 \text{ cm}}{2}$$

$$\text{Diámetro promedio} = 10,11 \text{ cm}$$

Calculo del Volumen total:

$$Volumen = \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2 * H$$

$$Volumen = \pi * \left(\frac{6,23 \text{ cm}}{2}\right)^2 * 10,11 \text{ cm}$$

$$Volumen = 499,833 \text{ cm}^3$$

Calculo del peso volumétrico:

$$Peso \text{ Volumetrico} = \frac{Peso \text{ seco}}{Volumen \text{ total}}$$

$$Peso \text{ Volumetrico} = \frac{1128,00 \text{ gr}}{499,833 \text{ cm}^3}$$

$$Peso \text{ Volumetrico} = 2,24 \text{ gr/cm}^3$$

• **CALCULO DE LA DENSIDAD:**

Calculo de la densidad de una briqueta a un porcentaje óptimo de emulsión de 10,00 % incorporando limadura PET en un 6,00%

Datos:

Peso seco de la briqueta 12A = 1128,00 gr

Peso superficialmente seco de la briqueta 12A = 1131,60 gr

Peso sumergido de la briqueta 12A = 644,80 gr

Calculo del Volumen de la briqueta:

$$Volumen = Peso \text{ sup. seco} - Peso \text{ sum.}$$

$$Volumen = 1131,60 \text{ gr} - 644,80 \text{ gr}$$

$$Volumen = 486,80 \text{ cc}$$

Calculo de la densidad real de la briqueta:

$$Densidad\ real = \frac{Peso\ seco}{Volumen}$$

$$Densidad\ real = \frac{1128,00\ gr}{486,80\ cm^3}$$

$$Densidad\ real = 2,32\ gr/cm^3$$

Calculo de la densidad máxima teórica:

Datos:

Densidad real promedio = 2,317 gr/cm³

% de cemento asfáltico residual = 6,4 %

Peso específico total del agregado = 2,64 gr/cm³

Peso específico total del asfalto residual = 1,007 gr/cm³

$$Densidad\ maxima\ teórica = \frac{100}{\left(\frac{\%}{Pe\ asf.} + \frac{(100 - \%)}{Pe\ agr.}\right)}$$

$$Densidad\ maxima\ teórica = \frac{100}{\left(\frac{6,4}{1,007} + \frac{(100 - 6,4)}{2,64}\right)}$$

$$Densidad\ maxima\ teórica = 2,39\ gr/cm^3$$

• **CALCULO DEL % DE VACÍOS EN LA MEZCLA TOTAL:**

$$\% \text{ de vacios en la mezcla total} = \left(\frac{D\ max.\ teorica - D.\ real\ prom.}{D\ max.\ teorica} \right) * 100$$

$$\% \text{ de vacios en la mezcla total} = \left(\frac{2,39 \frac{gr}{cm^3} - 2,317\ gr/cm^3.}{2,39\ gr/cm^3} \right) * 100$$

$$\% \text{ de vacios en la mezcla total} = 3,18\ %$$

Calculo de los Vacíos de Agregado Mineral (VAM):

$$\% \text{ de VAM} = \left(\frac{\% \text{ vacios} + (D \text{ real} * \% \text{ asf.res.})}{Pe \text{ asf.}} \right)$$

$$\% \text{ de VAM} = \left(\frac{3,18\% + \left(2,317 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} * 6,4\% \right)}{1,007 \text{ gr/cm}^3} \right)$$

$$\% \text{ de VAM} = 17,99 \%$$

Calculo de Relación Betumen Vacíos (RBV):

$$\% \text{ de RBV} = \left(\frac{(\% \text{VAM} * \% \text{vacios})}{\% \text{VAM}} \right)$$

$$\% \text{ de RBV} = \left(\frac{(17,99\% * 3,18\%)}{17,99\%} \right)$$

$$\% \text{ de RBV} = 82,32 \%$$

• CALCULO DE LA ESTABILIDAD:

Datos de la briqueta 12A :

Lectura del dial = 1471 pulgadas

Carga = 3942,61 libras

Factor de corrección = 1,032 (Dato de tabla en función a la altura de la briqueta)

Carga real corregida = 4069,05 libras

Calculo de la carga:

$$Carga = (0,012 * L \text{ dial} - 0,0812) * 102 * 2,2$$

$$Carga = (0,012 * 1471 \text{ pulg.} - 0,0812) * 102 * 2,2$$

$$Carga = 3942,61 \text{ libras}$$

Calculo de la carga real corregida:

$$Carga \text{ real corregida} = Carga * f \text{ corrección}$$

$$Carga \text{ real corregida} = 3942,61 \text{ libras} * 1,032$$

$$Carga \text{ real corregida} = 4069,05 \text{ libras}$$

- **CALCULO DE LA FLUENCIA:**

Datos de la briqueta 12A :

Lectura del dial = 400 mm

Flujo real = 0,1575

Flujo calculado = 15,75 pulgadas

Calculo del flujo real:

$$Flujo\ real = \frac{L\ dial}{25,4 * 100}$$

$$Flujo\ real = \frac{400\ mm}{25,4 * 100}$$

$$Flujo\ real = 0,1575$$

Calculo del flujo calculado:

$$Flujo\ calculado = Flujo\ real * 100$$

$$Flujo\ calculado = 0,1575 * 100$$

$$Flujo\ calculado = 15,75\ pulgadas$$

ANEXO I

Certificado de Calidad de Origen

Certificado N.º 38-1513/17	Data de emissão: 04/12/2019
Cliente: SEGOVIA FERNANDEZ RENE	
Produto: BETUMIX CMS-2H	Quantidade: 20.200 KG
Ordem de carregamento N.º 38-22976/18	Data de fabricação: 23/03/2018

Fatura: 155/17

Lote: 38-1327/18

Características do produto

ENSAIO	MÉTODO	UNID.	ESPECIFICAÇÃO	RESULTADO	
				STRA	CLIENTE
Viscosidade Saybolt-Furol a 50°C	AASHTO T 72	Seg.	50-450	127	
Estabilidade, 24 hrs.	AASHTO T 59	% massa	1 máx.	0,3	
Desemulsibilidade	AASHTO T 55	% massa	40 mín.	0,05	
Carga de partícula	AASHTO T 59	---	Positiva	POS	
Peneiração	AASHTO T 78	% massa	0,1 máx.	0,0	
Destilação					
Solvente destilado	AASHTO T 78	% volume	3 máx	0	
Resíduo		% massa	65 mín.	68,3	
Ensaio sobre o resíduo da destilação					
Penetração (100g, 5s, 25°C)	AASHTO T 49	0,1 mm	50-100	60	
Solubilidade em tricloroetileno	AASHTO T 44	%	99,0 min.	100	
Ductilidade, 25°C, 5 cm/min.	AASHTO T 51	cm	100 mín.	>100	
Densidade relativa a 25°C	AASHTO T 228	g/cm³	---	1-1,05	

RESPONSÁVEL QUÍMICO: Emerson Rodrigues Maciel – CRQ 4ª REG. SP. – 04241037

Irma Elizabeth Batista
RG: 30.382.757-9
Assistente Administrativo
Paulínia-SP

Responsável:

STRATURA ASFALTOS S.A.

Matriz

Av. Paulista 1754, 7º andar, Bela Vista
CEP 01310-200 São Paulo SP
Tel.: (11) 3513-4272 Fax: (11) 3513-4222

Centro de Soluções de Engenharia
Rua Professor Benedito Montenegro, 241, Betel
CEP 13148-189 Paulínia SP
Tel.: (19) 3884-9405 Fax: (19) 3884-7205
www.stratura.com.br