

Equivalente centrífugo de keroseno (CKE)

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACION

1.1 Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación del contenido óptimo de aglomerante bituminoso en las mezclas asfálticas, por medio del equivalente centrífugo de keroseno y absorción de aceite lubricante SAE núm 10.

1.2 El método ha sido desarrollado por la California Division of Highways, y en él se ha buscado la correlación entre el contenido de ligante determinado por este procedimiento y el óptimo obtenido por medio del método Hveem para el proyecto de mezclas (NLT-170).

2 APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

2.1 Centrífuga, a mano o a motor (Fig. 6), capaz de producir una aceleración de 400 g en el centro de gravedad de la muestra. La velocidad angular en radianes por segundo ha de ser:

$$w = \frac{1973}{\sqrt{r}}$$

siendo r la distancia del eje de giro al c. d. g. de la muestra en mm.

2.2 Vasos metálicos, cilíndricos, abiertos en sus extremos, de 71,4 mm de altura y 52,39 mm de diámetro y de las características indicadas en la figura 7. Van provistos de un platillo perforado de bronce de 1 mm de espesor, con un mínimo de 100 orificios de 1,5 mm de diámetro por cada 6,5 cm² de superficie.

2.3 Balanza de 500 g de capacidad y 0,1 g de precisión.

2.4 Embudos metálicos, con un diámetro máximo de 90 mm, altura de 115 mm y diámetro del orificio de salida de 12,5 mm. Llevarán soldado un tamiz 2 UNE (ASTM núm. 10) en el orificio de salida.

2.5 Vasos de cristal de 1.500 cm³ de capacidad.

2.6 Cronómetro que aprecie 1/10 de segundo.

2.7 Estufa o procedimiento para calentar a 60 ± 3 °C y a 110 ± 5 °C.

2.8 Bandejas circulares, de cinc o vidrio, de 115 mm de diámetro y 25,5 mm, de profundidad.

2.9 Keroseno, fracción del petróleo entre 175 y 325 °C de punto de ebullición, o sea, petróleo para quemar y alumbrado.

2.10 Aceite lubricante SAE num. 10.

2.11 Papel de filtro de 55 mm de diámetro Eaton-Dikeman Co., núm. 611; C. Scheleicher núm. 589², o análogo.

3 PROCEDIMIENTO

3.1 Preparación de la muestra

3.1.1 Se separa el árido en dos tamaños: Material que denominaremos G, que pasa por el tamiz 10 UNE (ASTM 3/8 de pulgada) y queda retenido por el tamiz 5 UNE (ASTM núm. 4) y material que denominaremos F, que pasa por el tamiz 5 UNE.

3.1.2 Secar el árido así clasificado en estufa a 110 ± 5 °C y dejarlo enfriar.

3.2 Ejecución del ensayo

3.2.1 **Superficie específica (SE).** Para calcular la superficie específica de los áridos se emplea la granulometría del árido o mezcla de áridos utilizados en la mezcla total. El cálculo consiste en multiplicar el porcentaje que pasa por cada tamiz por el «factor de superficie específica» que se da en la tabla siguiente. Se suman los productos así obtenidos y el resultado representará la superficie específica de la muestra en m²/kg. Todos los factores de superficie específica se deben emplear en el cálculo; así, si de una muestra pasa el 100 % por el tamiz 5 UNE (ASTM núm. 4), se incluirán en los cálculos $100 \% \times 0,4$ del tamaño superior y $100 \% \times 0,4$ por pasar el tamiz 5 UNE. Los factores siguientes de superficie específica son solamente aplicables cuando en el tamizado se emplean todos los tamices indicados.

TABLA DE FACTORES DE SUPERFICIE ESPECIFICA

TAMAÑO		FACTORES SE
TAMIZ UNE	TAMIZ ASTM	
Superior al 5	Núm. 4	-
Pasa tamiz 5	Núm. 4	0,4
Pasa tamiz 2,5	Núm. 8	0,8
Pasa tamiz 1,25	Núm. 16	1,6
Pasa tamiz 0,63	Núm. 30	2,8
Pasa tamiz 0,32	Núm. 50	6,0
Pasa tamiz 0,16	Núm. 100	12,0
Pasa tamiz 0,080	Núm. 200	32,0

Para todo el material superior al tamiz 5 UNE; suponer la superficie específica igual a 0,4 m²/kg.

3.2.2 Procedimiento para el árido fino, F:

3.2.2.1 Cuartear la muestra hasta obtener 105 g representativos del material que pasa el tamiz 5 UNE.

3.2.2.2 Colocar la muestra en una bandeja y secar a 110 ± 5 °C hasta pesada constante y dejar enfriar.

3.2.2.3 Pesar 100 g de la muestra, agregándolos al vaso previamente tarado, y se añade keroseno por medio de uno de los dos procedimientos siguientes:

- Verter aproximadamente 35 cm³ de keroseno en la parte superior de la muestra, esperar hasta que se produzca goteo y, a continuación, colocar el vaso con la muestra en la centrifuga.
- Colocar el vaso con la muestra en una de las bandejas circulares que contenga suficiente keroseno (13 mm de profundidad), hasta saturar la muestra por capilaridad, y luego poner el vaso con la muestra en la centrifuga.

3.2.2.4 Poner en movimiento la centrifuga durante 2 minutos, desarrollando una aceleración de 400 g.

3.2.2.5 Volver a pesar el vaso con la muestra, con una aproximación de 0,1 g, y restar el peso original. La diferencia es el tanto por ciento de keroseno retenido (CKE) basado sobre 100 g de árido seco.

3.2.3 Procedimiento para el árido grueso G:

3.2.3.1 Cuartear la muestra hasta obtener 105 g representativos del material que pasa por el tamiz 10 UNE y queda retenido en el tamiz 5 UNE.

3.2.3.2 Colocar la muestra en una bandeja y secar a 110 ± 5 °C hasta pesada constante y dejarlo enfriar.

3.2.3.3 Pesar 100 g y colocarlos en el embudo. Sumergir la muestra completamente en aceite lubricante SAE núm. 10 durante 5 minutos y dejarla escurrir durante 2 minutos.

3.2.3.4 Colocar el embudo conteniendo la muestra en una estufa regulada a 60 ± 3 °C, dejándola escurrir durante 15 minutos.

3.2.3.5 Verter la muestra desde el embudo a un cazo tarado, enfriar y volver a pesar la muestra con aproximación de 0,1 g. Restar el peso original y expresar la diferencia como porcentaje de aceite retenido basado sobre 100 g de árido seco.

4 RESULTADOS

4.1 Cálculos:

4.1.1 Nomenclatura:

«G». Árido grueso, porción de la muestra comprendida entre los tamices 10 y 5 UNE (ASTM 3/8 pulgada y núm. 5).

«F». Árido fino, porción de la muestra que pasa por el tamiz 5 UNE.

«KG». Es un factor que se determina a partir de la absorción de G, e indica en qué grado es absorbente el árido. En áridos no absorbentes, KG indica la rugosidad de la superficie.

«KF». Factor análogo para el árido fino que se determina a partir de los siguientes factores:

1.º CKE, que es el porcentaje de keroseno retenido, el cual representa el efecto total de la superficie específica, las propiedades absorbentes del árido y/o la rugosidad superficial.

2.º Superficie específica, basada en el tamaño de las partículas.

3.º Tanto por ciento que pasa por el tamiz 5 UNE (ASTM núm. 4).

«KM». Representa el valor compuesto de los factores «K», para una combinación dada de áridos grueso y fino, cuyos coeficientes KG y KF se han determinado independientemente.

«SE». Superficie específica que, como ya se ha indicado, se determina por tamizado y aplicación de los coeficientes correspondientes y se expresa en m²/kg.

4.1.2 Cálculo de la proporción de betún.

4.1.2.1 Determinación del KF. Empleo del ábaco de la figura 1.

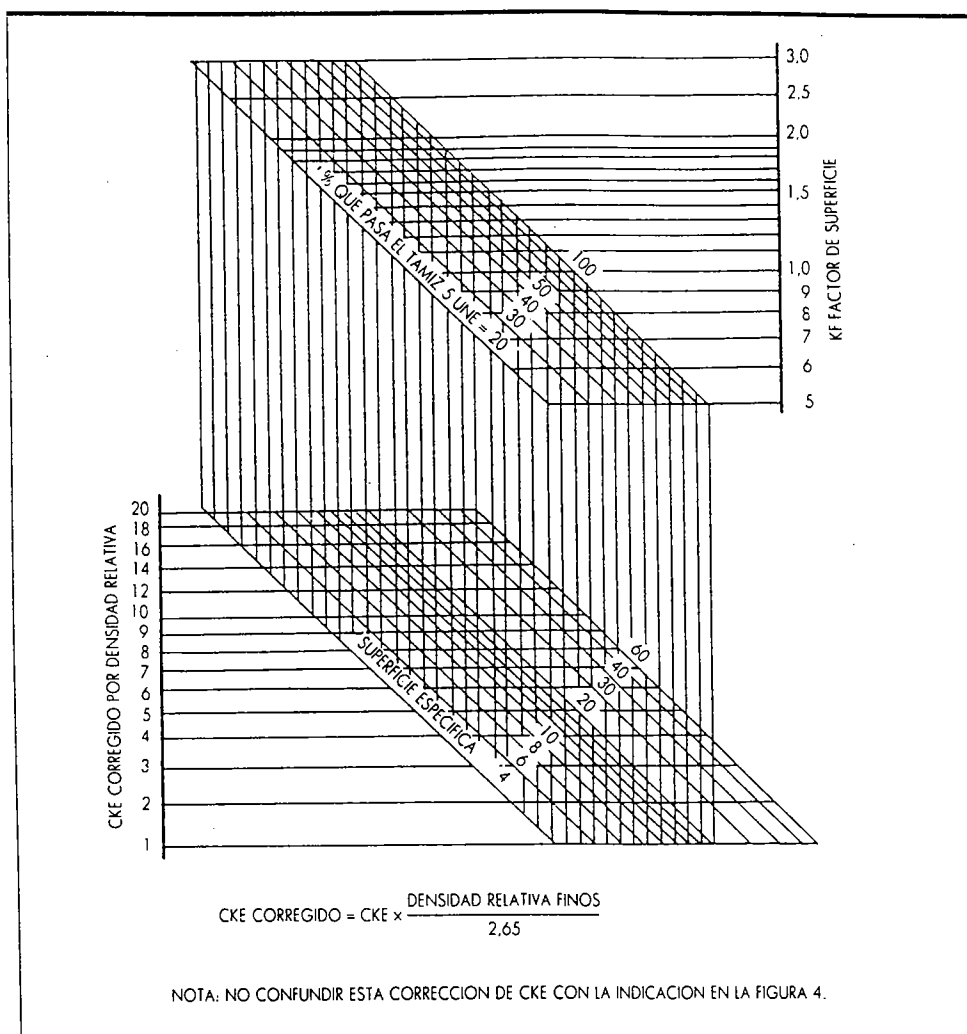


FIGURA 1. Abaco para determinar KF a partir de CKE.

a) Si la densidad relativa «real» de «F» (NLT-154) es mayor de 2,70 o menor de 2,60, corregir el tanto por ciento de keroseno retenido mediante la fórmula:

$$\% \text{ de keroseno retenido} \times \frac{\text{densidad relativa de F}}{2,65} = \text{CKE, corregido según la densidad relativa}$$

b) A partir de la escala del ángulo inferior izquierdo del abaco con el valor de CKE corregido por la densidad relativa, seguir la horizontal hasta la intersección de la línea oblicua correspondiente a la superficie específica calculada; desde el punto obtenido, seguir la vertical ascendente hasta su intersección con la línea oblicua correspondiente al tanto por ciento de material que pasa por el tamiz 5 UNE (ASTM núm. 4) y seguir, por último, la horizontal desde el punto de intersección hacia la derecha. El valor obtenido será el factor para la superficie espe-

cífica de la fracción que pasa por el tamiz 5 UNE, y se designa KF.

4.1.2.2 Determinación de KG. Empleo del abaco de la figura 2.

a) Si la densidad relativa «real» de «G» (NLT-153) es superior a 2,70 o inferior a 2,60, corregir el tanto por ciento de aceite retenido mediante la fórmula:

$$\% \text{ de aceite retenido} \times \frac{\text{densidad relativa de G}}{\text{de } 2,65} = \%$$

aceite retenido, corregido según la densidad relativa.

b) Partir del valor obtenido, con la corrección indicada de aceite retenido y seguir la vertical hasta el punto de intersección con línea diagonal y seguir la horizontal a la izquierda. El valor obtenido será el factor para la superficie específica de la fracción

«G» que queda retenida en el tamiz 5 UNE, y se designa por KG.

c) Este ábaco es el único necesario para determinar el tanto por ciento de aglomerante necesario en mezclas de granulometría abierta. Puede utilizarse la fórmula siguiente:

$$KG \times 1,5 + 3,5 = \text{proporción de betún en mezclas de granulometría abierta}$$

No se necesita ninguna corrección por variaciones de viscosidad en el aglomerante. La proporción de betún será la misma, aunque varíen las penetraciones empleadas (200-300, 120-150, 85-100).

4.1.2.3 Determinación de KM a partir de KF y KG. Empleo del ábaco de la figura 3.

a) $KM = KF + \text{corrección para KF}$.

El valor para corrección de KF, obtenido del ábaco de la figura 3, es positivo si $KG - KF > 0$ y negativo si $KG - KF < 0$.

b) La determinación de KM a partir del ábaco de la figura 3 se indica con el siguiente ejemplo:

$$KG = 1,0; KF = 1,8; SE = 5 \text{ m}^2/\text{kg}; \text{pasa el tamiz 5 UNE} = 60 \%$$

Se parte de la escala del ángulo inferior izquierdo con el valor $SE = \text{m}^2/\text{kg}$. Se sigue la horizontal hasta alcanzar la recta del 40 % de árido grueso; luego, la vertical desde el punto de intersección hasta la recta correspondiente a la diferencia entre KG y KF (0,8), y desde este punto la horizontal hacia la derecha nos permite obtener el sumando de corrección, en este caso 0,2.

Como $KG (= 1,0) - KF (= 1,8) < 0$, la corrección es negativa; por tanto, $KM = 1,8 - 0,2 = 1,6$.

c) Si la corrección para KF es inferior a 0,05, no se aplica entonces y se toma $KM = KF$.

d) Si la proporción de árido grueso es igual o menor de 20 %, no se utiliza el valor de KG. En este caso, $KM = KF$.

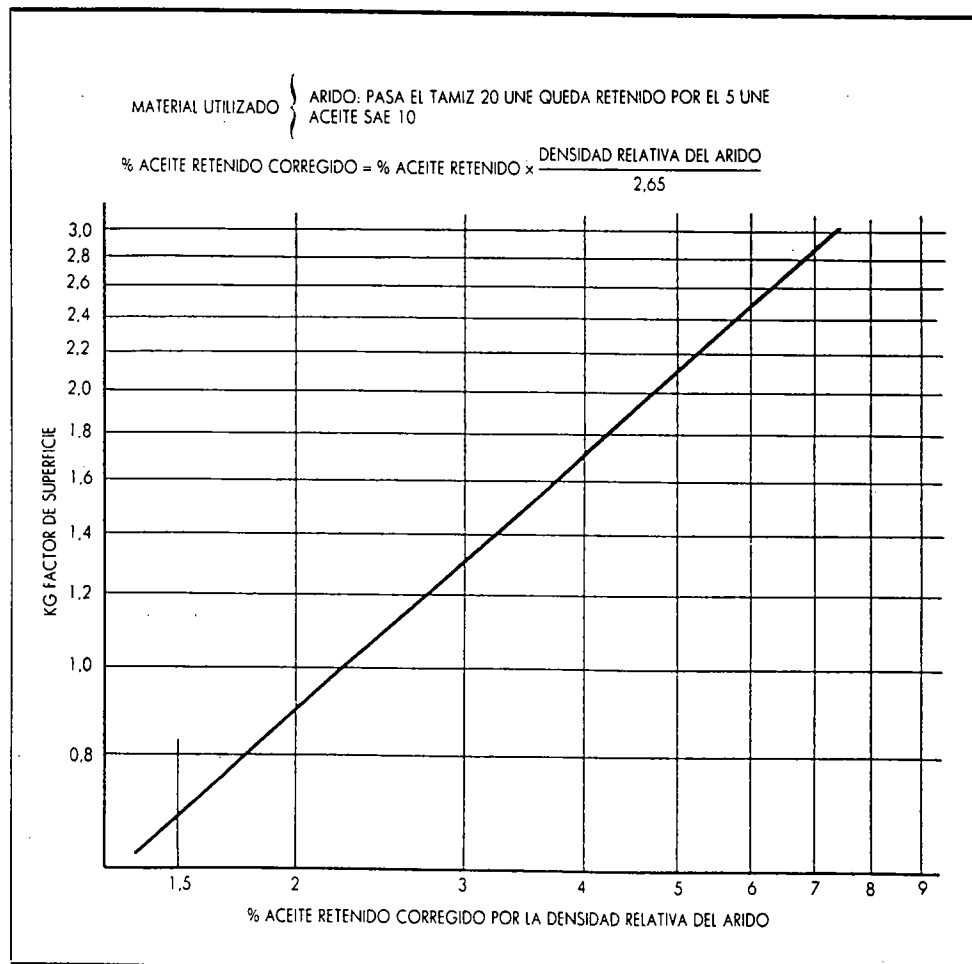


FIGURA 2. Abaco para determinar KG de la absorción del árido grueso.

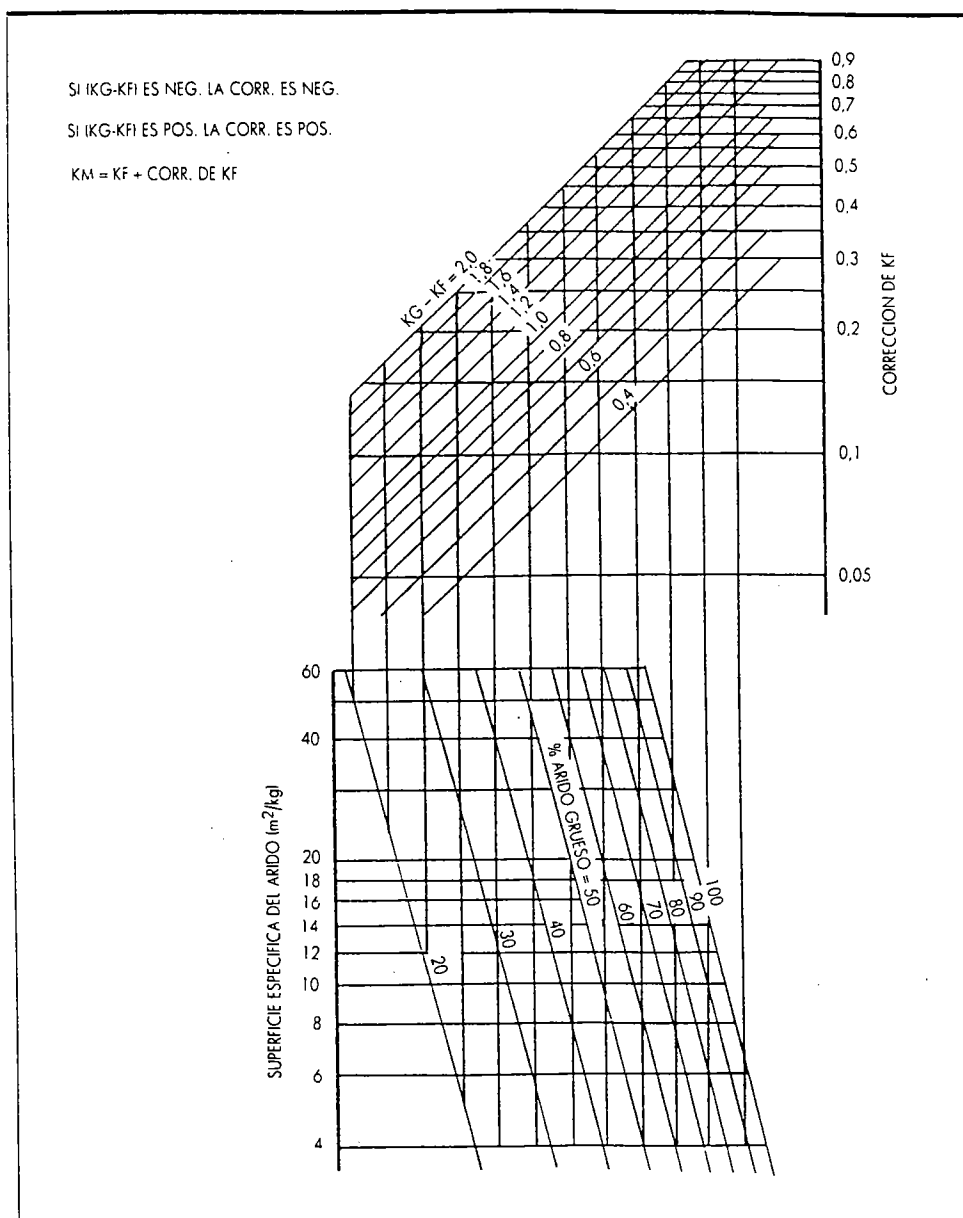


FIGURA 3. Abaco para determinar KM por la combinación de K_f y K_g .

4.1.2.4 Determinación del ligante a partir de KM , SE y densidad relativa «media». Empleo del ábaco de la figura 4:

$$\text{Dens. relat. «media»} = \frac{100}{\frac{\% \text{ árido grueso}}{\text{Dens. relat. árido grueso}} + \frac{\% \text{ árido fino}}{\text{Dens. relat. árido fino}}}$$

Se parte del borde superior izquierdo con el valor de la SE ; se sigue la horizontal hacia la derecha hasta el punto de intersección con la recta de la densidad relativa «media»; luego, verticalmente hacia abajo,

hasta la intersección con la oblicua de KM , y se sigue la horizontal hacia la derecha. El valor obtenido será la proporción de ligante para los betunes fluidificados SC-2, MC-2 y RC-2.

Para betunes fluidificados más pesados, o betunes de penetración, debe realizarse una corrección.

4.1.2.5 Corrección de la proporción de ligante en los casos últimamente mencionados, betunes fluidificados más pesados y betunes de penetración. Empleo del ábaco de la figura 5. Unir mediante una recta el punto de la escala A correspondiente al grado de consistencia del ligante empleado y el de la

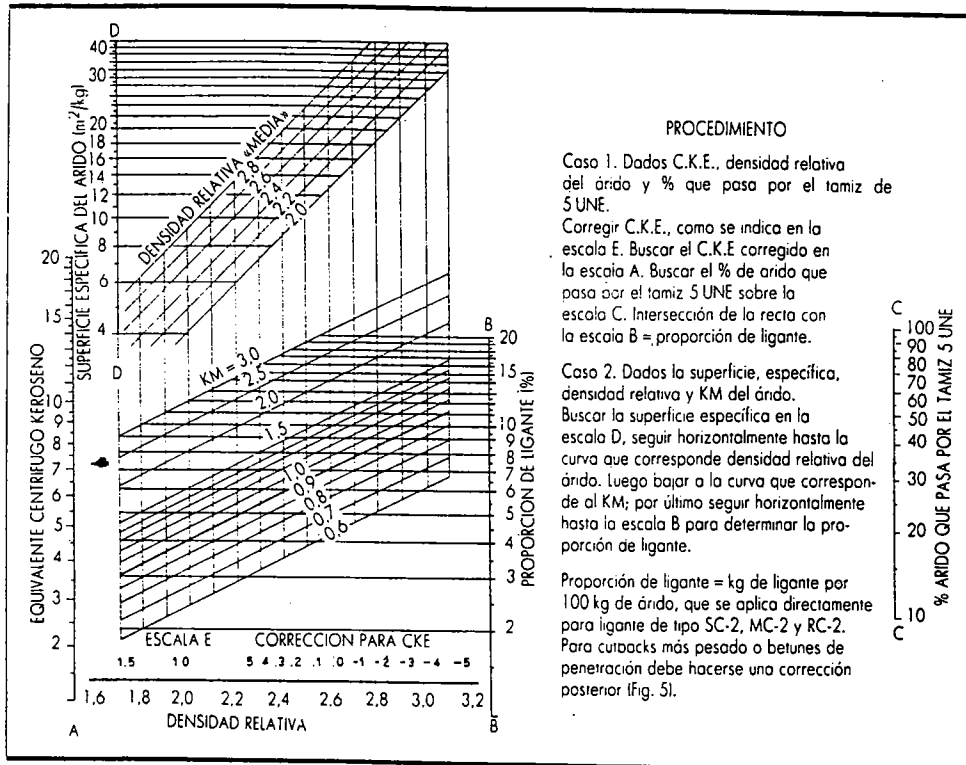


FIGURA 4. Abaco para determinar la proporción de ligante para mezclas bituminosas de granulometría densa.

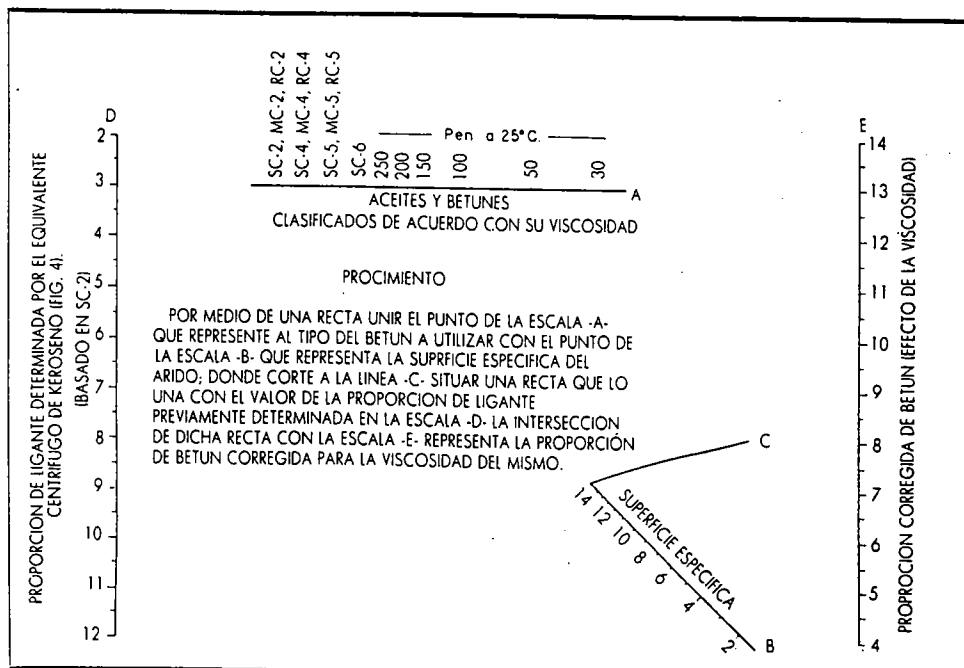


FIGURA 5. Abaco para determinar la proporción corregida de betún, teniendo en cuenta el aumento de la viscosidad o la penetración más baja del betún.

escala B, que corresponde al valor de la SE del árido. Unir el punto de intersección de esta recta en la escala C con el punto de la escala D a que corresponda la proporción de ligante determinada previamente. La intersección de esta línea recta en la escala E nos da la proporción de ligante ya corregida para la viscosidad del mismo.

4.1.2.6 Ejemplo:

Para ilustrar el empleo de los ábacos de las figuras 1 a 5 supongamos las siguientes condiciones aplicadas a la dosificación de una mezcla asfáltica usando betún de penetración 80-100:

Densidad relativa «real», árido grueso = 2,50
 Densidad relativa «real», árido fino = 2,72
 % que pasa tamiz 5 UNE = 60 %

$$\text{Densidad relativa «media»} = \frac{100}{\frac{40}{2,50} + \frac{60}{2,72}} = 2,63$$

GRANULOMETRIA Y SUPERFICIE ESPECIFICA

TAMAÑO TAMIZ		% QUE PASA	FACTOR SE	SUPERFICIE ESPECIFICA m ² /kg
UNE	ASTM			
20	3/4 pulg.	100	-	
10	3/8 pulg.	86	-	0,40
5	Núm. 4	60	0,4	0,24
2,5	Núm. 8	45	0,8	0,36
1,25	Núm. 16	32	1,6	0,51
0,63	Núm. 30	21	2,8	0,59
0,32	Núm. 50	12	6,0	0,72
0,16	Núm. 100	10	12,0	1,20
0,080	Núm. 200	8	32,0	2,56

Superficie específica = 6,58
 Superficie específica del árido total = 6,58
 CKE = 4,9 (corregido por la densidad relativa este valor es 5,0 (Fig. 1))

Porcentaje de aceite retenido árido grueso = 2,1 (corregido por la densidad relativa, este valor es 2,0) (Fig. 2).

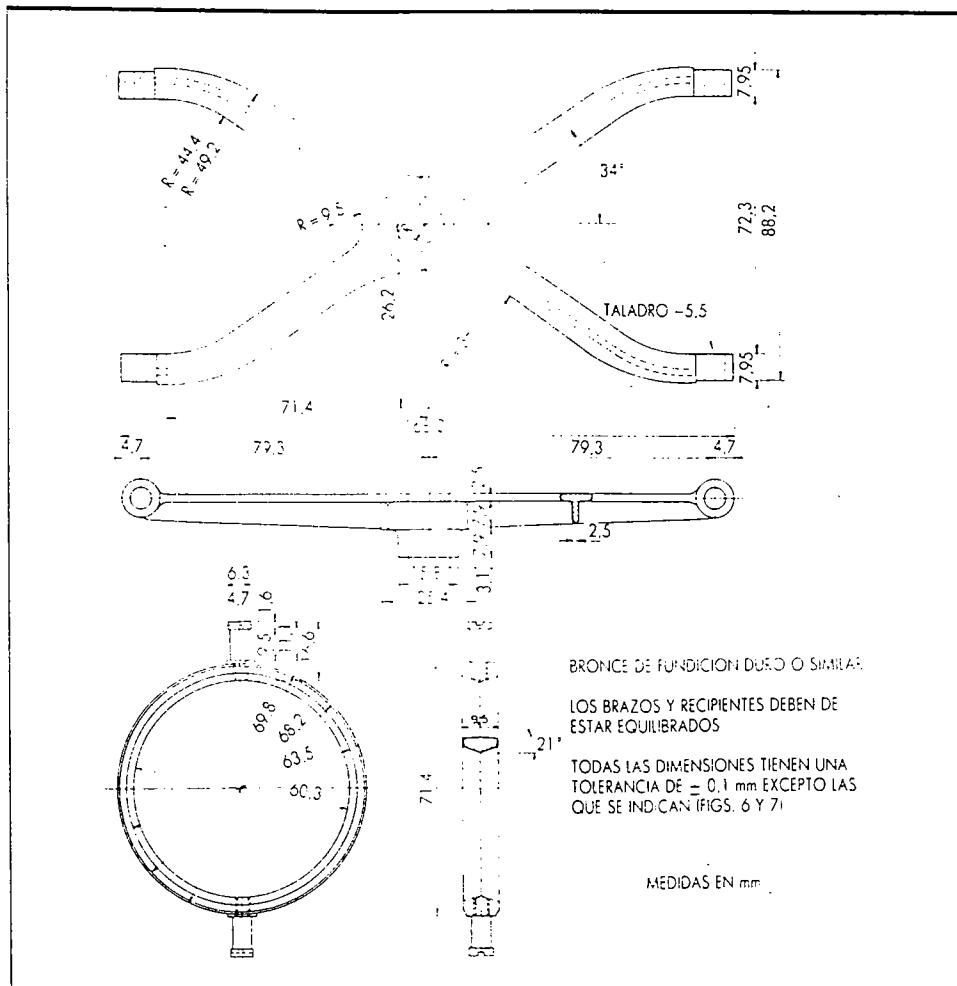


FIGURA 6. Cabeza de la centrifuga.

De la figura 1 determinar $KF = 1,35$.
 De la figura 2 determinar $KG = 0,90$.
 De la figura 3 determinar $KM = 1,24$.
 De la figura 4 determinar el contenido de ligante óptimo para betunes fluidificados, obteniéndose 4,8 %.
 De la figura 5 determinar el contenido óptimo de ligante para betún de penetración 80-100, obteniéndose 6,0 % en peso de árido seco.

4.2 Expresión de los resultados

4.2.1 Expresar la cantidad de betún obtenida en tanto por ciento en peso sobre áridos.

5 CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

Estado de California. Método de ensayo núm. 303-E/1966 «Method of Test for Centrifuge Kerosene Equivalent Including K Factor».

6 NORMAS PARA CONSULTA

- NLT-153 «Densidad relativa y absorción de áridos gruesos».
- NLT-154 «Densidad relativa y absorción de áridos finos».
- NLT-170 «Dosificación y ensayo de mezclas de suelo-betún».

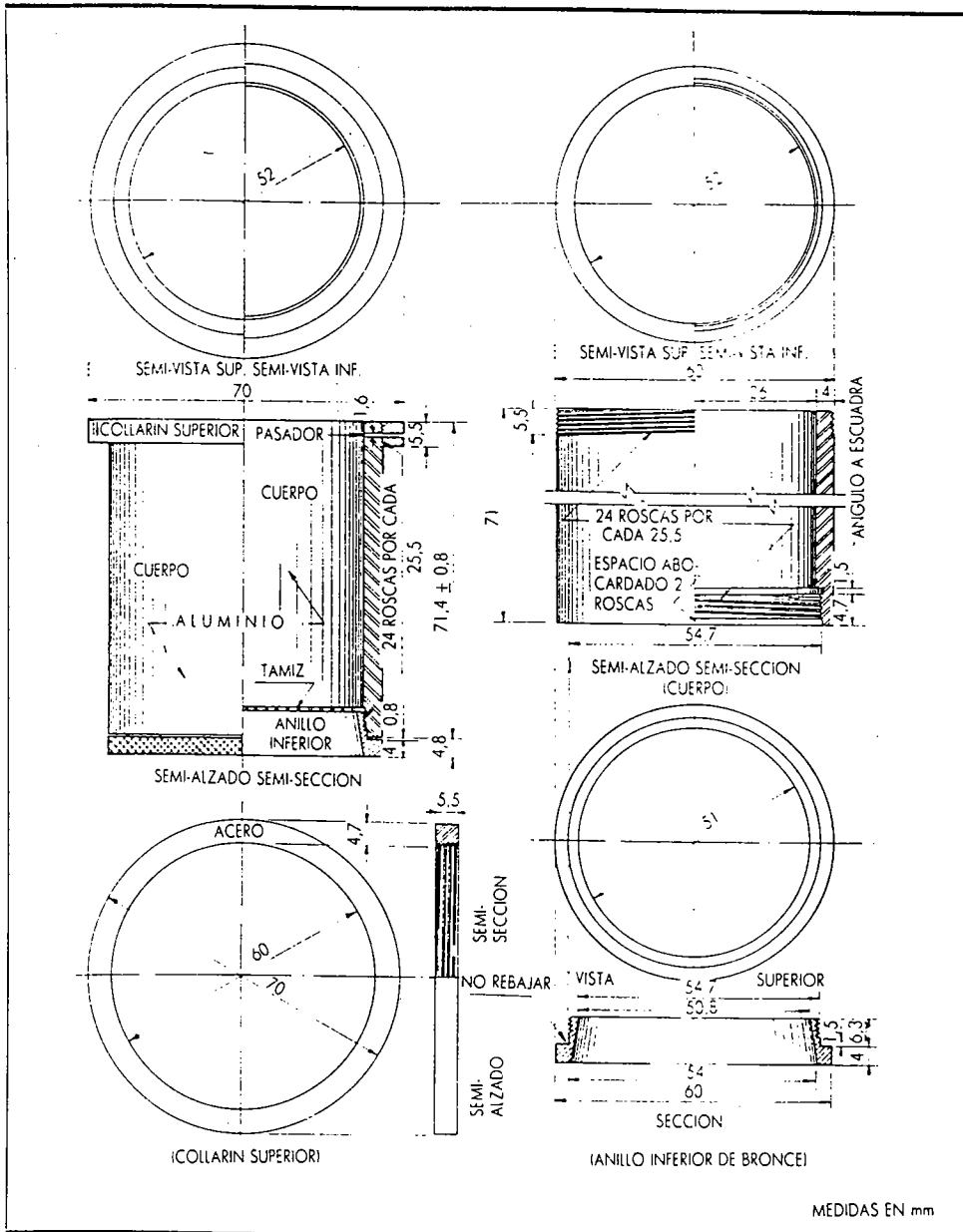


FIGURA 7. Vaso de la centrifuga (masa total 215 ± 3 gramos).