

Equivalente centrífugo de queroseno (CKE) *

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACION

1.1 Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación del contenido óptimo aproximado de ligante en las mezclas bituminosas, mediante la utilización de factores de superficie específica de los áridos grueso y fino, las proporciones de árido de cada tamaño considerado y la absorción de queroseno por el árido fino y de aceite lubricante SAE 10 por el árido grueso, usados en la fabricación de la mezcla.

1.2 El método se aplica en la estimación de los contenidos de ligante en mezclas bituminosas para carreteras en las que se empleen ligantes fluidificados o de penetración.

2 APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

2.1 **Centrífuga** (manual o motorizada), que pueda producir una aceleración de 400 veces la de la gravedad (400 g) sobre el centro de gravedad de la muestra de 100 gramos de árido (Figura 1).

La velocidad angular requerida es:

$$W = \frac{1.980}{\sqrt{r}}, \text{ rad/s} \quad \left(W = \frac{18.900}{\sqrt{r}}, \text{ rpm} \right)$$

donde r es la distancia entre el eje de giro y el centro de gravedad de la muestra, expresada en mm.

2.2 **Vasos para la centrífuga**, cilíndricos, metálicos, de 71,4 mm de altura y 52,4 mm de diámetro interior (Figura 2). En el extremo inferior del vaso se dispondrá de una placa metálica perforada de 1 mm de espesor, con un mínimo de 100 perforaciones 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 90 mm de diámetro mayor, 115 mm de altura y 12,5 mm de orificio de

salida. Este orificio de salida estará cerrado por una malla del tamiz UNE 2 mm debidamente soldada.

2.5 **Vasos de cristal**, de 1.500 cm³ de capacidad.

2.6 **Cronómetro**.

2.7 **Estufa(s)** que pueda alcanzar y mantener una temperatura de 60 ± 3 °C y 110 ± 5 °C.

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

2.9 **Tamices** UNE 10 mm y UNE 5 mm que cumplan los requisitos especificados en la norma UNE 7.050.

2.10 **Queroseno** fracción de petróleo entre 175 y 325 °C de punto de ebullición, o petróleo de alumbrado.

2.11 **Aceite lubricante**, SAE núm. 10.

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

3 PROCEDIMIENTO

3.1 Preparación de la muestra.

3.1.1 *Fraccionamiento de la muestra.* Se separa el árido en dos fracciones utilizando los tamices UNE 10 mm y UNE 5 mm. El material que pasa por 10 mm y queda retenido en 5 mm se designa por «material G» y el que pasa por 5 mm se designa por «material F».

3.1.2 *Deseccación de la muestra.* Se colocan las dos fracciones del material G y F en la estufa a 110 ± 5 °C hasta desecación del árido y posteriormente se deja enfriar a temperatura ambiente.

3.1.3 Previamente a la realización del ensayo, hay que determinar, si no se conocen, las densidades relativas de ambas fracciones G y F (NLT, 153 y 154).

3.2 **Determinación de la superficie específica (SE).** Para determinar la superficie específica de los áridos se utilizan los datos del análisis granulométrico.

* Centrifuge Kerosen Equivalent. Método desarrollado en el Department of Public Works, Division of Highways de Estado de California (USA).

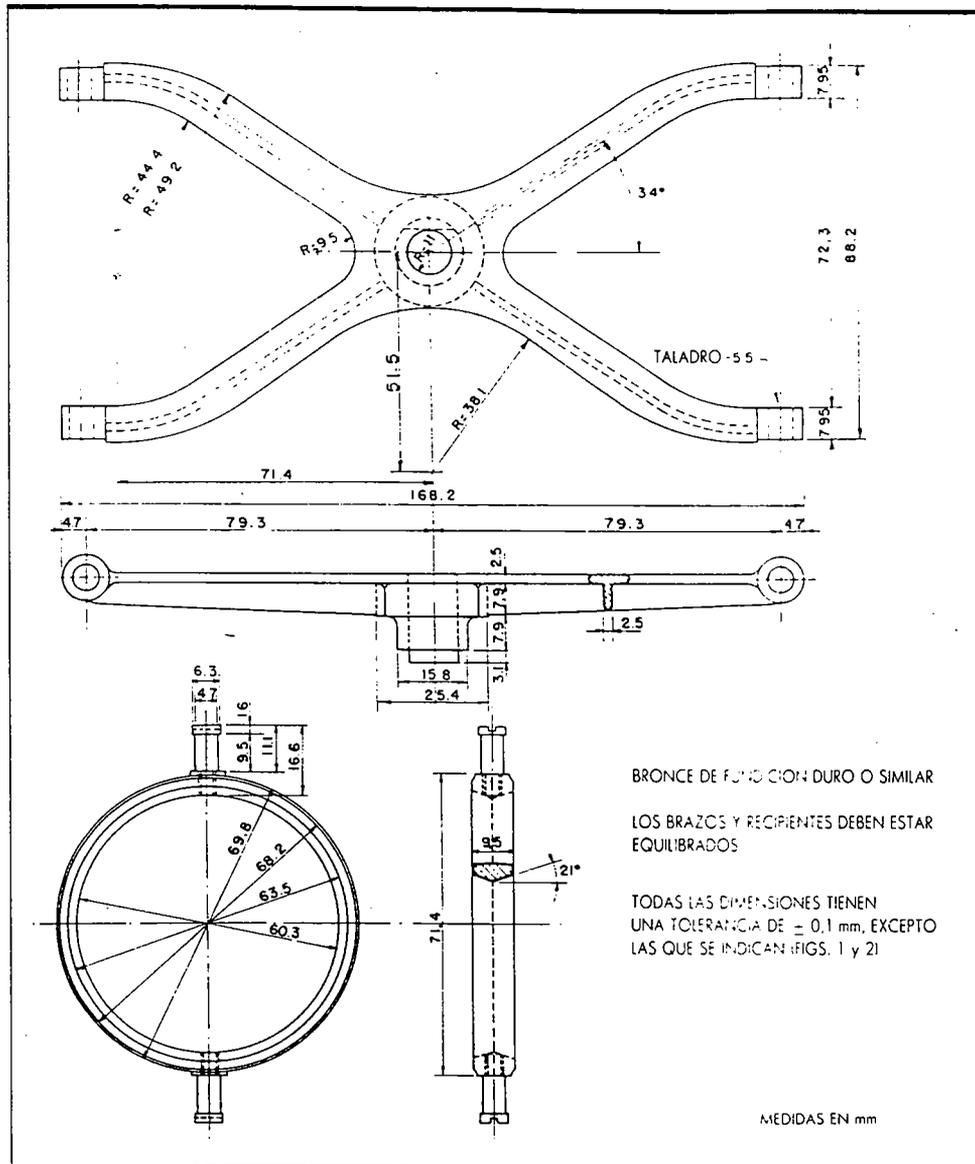


FIGURA 1. Cabeza de la centrifuga.

trico del árido o de la combinación de áridos que formarán parte de la mezcla en estudio. El análisis granulométrico se realiza según la norma NLT-150. El cálculo consiste en multiplicar el porcentaje del árido que pasa cada tamiz por los «factores de superficie específica» procedentes que se muestran en la tabla. Se suman los productos así obtenidos y el resultado representa la superficie específica de la muestra, expresada en m^2/kg . Se consideran todos los factores de superficie específica implicados al realizar el cálculo; así, si de una muestra pasa el 100 por 100 por el tamiz UNE 5 mm, se incluirá en los cálculos los dos sumandos, uno $100 \times 100 \times 0,4$ correspondiente a la «fracción» de tamaño superior a 5 mm y, otro, $100 \times 100 \times 0,4$ correspondiente

a la «fracción» que pasa por el tamiz de 5 mm. En ambos casos las «fracciones» representan el 100×100 del árido, al pasar todo él por el tamiz 5 mm.

Los factores que se muestran en la tabla son solamente aplicables cuando en el tamizado se utilizan todos los tamices que se indican.

Para todo el material superior a 5 mm (retenido en el tamiz UNE 5 mm) se le asigna una superficie específica igual a $0,4 m^2/kg$.

3.3 Procedimiento para el árido fino (F).

3.3.1 Se cuartea la muestra hasta conseguir 105 g del material representativo que pasa el tamiz UNE 5 mm.

3.3.4 Se pone en marcha la centrífuga durante 2 minutos \pm 1 segundo, desarrollando una aceleración de 400 g.

Nota 1. Si se ensaya una sola muestra, se contrapesará ésta en la centrífuga, para conseguir el equilibrio másico necesario en el proceso de centrifugación.

3.3.5 Terminada la centrifugación, se saca de la centrífuga el vaso con la muestra y se determina la masa del conjunto con precisión de 0,1 g. La diferencia entre la masa del árido **F** seco y la masa del árido después del centrifugado, es el queroseno retenido, CKE, expresado como porcentaje con respecto al árido seco.

3.4 Procedimiento para el árido grueso (G)

3.4.1 Se cuartea la muestra hasta conseguir 105 g del material representativo que pasa el tamiz UNE 10 mm y quede retenido en el tamiz UNE 5 mm.

3.4.2 El material obtenido en 3.4.1 se coloca en una bandeja y se introduce en la estufa a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ hasta masa constante; se deja enfriar.

3.4.3 Se transfieren al embudo, descrito en 2.4, $100,0 \pm 0,1$ g del árido grueso desecado y frío y se sumerge completamente el conjunto en aceite SAE núm. 10 durante 5 minutos \pm 5 segundos.

3.4.4 Se deja escurrir el aceite de la muestra en el embudo durante 2 minutos \pm 5 segundos, manteniendo el eje del embudo en posición vertical.

3.4.5 Se coloca el embudo con la muestra escurrida en la estufa a $60 \pm 3^\circ\text{C}$ durante 15 minutos \pm 30 segundos de manera que siga escurriendo el aceite.

3.4.6 Se pasa la muestra desde el embudo a una bandeja (con su masa previamente determinada con precisión de 0,1 g), se deja enfriar y se determina la masa con precisión de 0,1 g. La diferencia entre la masa del árido **G** seco y la masa del árido después del escurrimiento es el aceite retenido, expresado como porcentaje con respecto al árido seco.

4 NOMENCLATURA Y METODO PARA DETERMINAR LA CANTIDAD DE LIGANTE BITUMINOSO NECESARIO EN LA MEZCLA

4.1 Nomenclatura.

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

«**G**» Arido grueso, porción de la muestra retenida entre los tamices UNE 10 mm y UNE 5 mm.

«**KG**» Es un factor que se determina a partir del aceite SAE núm 10 retenido por el árido **G**, y representa el efecto total de la superficie específica, las propiedades de absorción y la rugosidad superficial de la muestra.

«**KF**» Factor análogo al **KG**, pero para el árido fino **F**, que se determina a partir de los factores siguientes:

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

2.º Superficie específica calculada en función de la granulometría del árido, y

3.º Porcentaje de la muestra que pasa por el tamiz UNE 5 mm.

«**KM**» Representa la «media» o el valor compuesto de los factores «**K**» para una combinación dada de árido grueso y de árido fino, cuyos coeficientes **KG** y **KF** se han resuelto independientemente.

«**SE**» Superficie específica que, como se ha referido en el apartado 3.2, se calcula a partir de los datos del análisis granulométrico de la muestra y de los coeficientes aplicables correspondientes. Se expresa en m^2/kg .

4.2 Cálculo de la proporción de ligante bituminoso

4.2.1 Determinación de **KF.** Se utiliza el nomograma de la figura 3.

a) Si la densidad relativa real de **F** (NLT-154) es mayor de 2,70 o menor de 2,60, se corrige el porcentaje de queroseno retenido en función de la densidad relativa de **F** mediante la expresión siguiente:

CKE, corregido =

$$= \% \text{ queroseno retenido} \cdot \frac{\text{dens. relat. de } F}{2,65}$$

b) A partir de la escala inferior izquierda del nomograma de la figura 3, se entra con el valor del CKE corregido por la densidad relativa, se sigue en línea horizontal hasta cortar la línea oblicua correspondiente a la superficie específica calculada; desde este punto se sigue en línea vertical ascendente, hasta intersección con la línea oblicua del porcentaje correspondiente de material que pasa el tamiz UNE 5 mm. Finalmente, se prosigue desde este último punto de intersección y horizontalmente hacia la derecha hasta encontrar la escala superior derecha del gráfico, en cuyo punto de encuentro se lee el valor de **KF** correspondiente, que es un factor de superficie para la fracción **F** de árido.

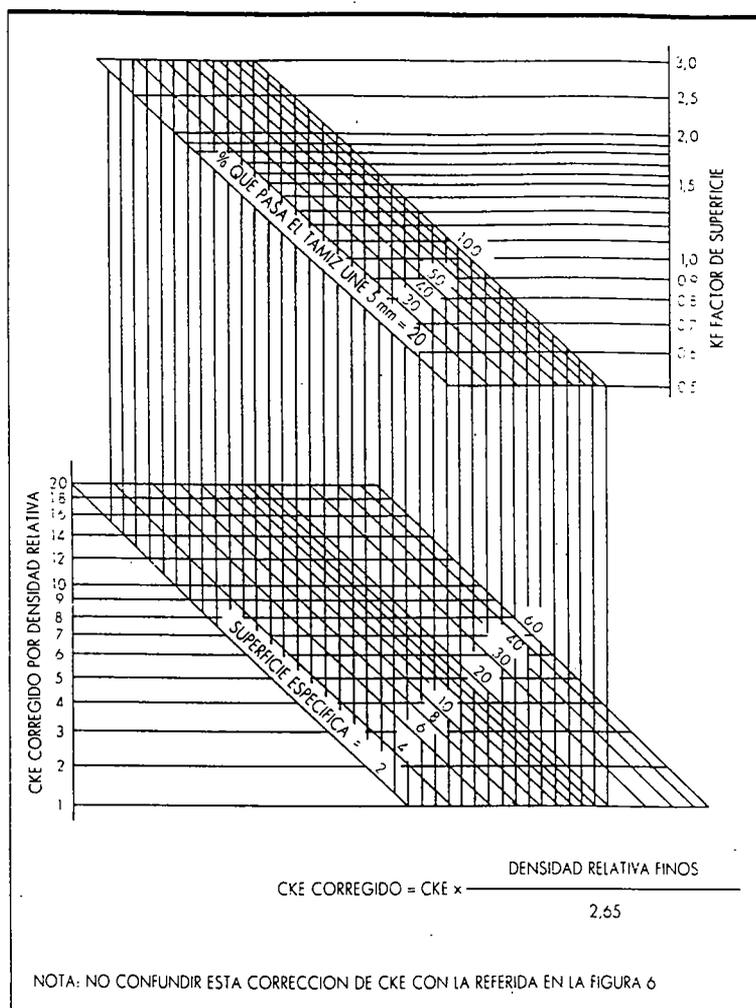


FIGURA 3. Nomograma para determinar KF a partir del CKE.

4.2.2 **Determinación de KG.** Se utiliza el nomograma de la figura 4.

a) Si la densidad relativa real de G (NLT-153) es mayor de 2,70 o menor de 2,60 se corrige el porcentaje de aceite, SAE núm. 10, retenido en el ensayo, en función de la densidad relativa de G mediante la expresión siguiente:

$$\begin{aligned} \text{\% aceite SAE corregido} &= \\ &= \text{\% aceite retenido} \cdot \frac{\text{dens. relat. de G}}{2,65} \end{aligned}$$

b) A partir del dato de % aceite retenido y corregido, se entra en la escala de abscisas del nomograma de la figura 4 con tal valor hasta, ascendiendo verticalmente, la intersección con la diagonal y desde ésta hacia la izquierda para encontrar el valor KG

correspondiente en el eje de ordenadas, que es un factor de superficie para la fracción G del árido.

c) El nomograma de la figura 4 es el único necesario para determinar el tanto por ciento de ligante necesario en mezclas de granulometría abierta, llevando el valor de KG obtenido en el mismo a la fórmula siguiente:

$$\text{\% betún en mezclas abiertas} = 1,5 \text{ KG} + 3,5$$

No procede efectuar corrección alguna por razón de la viscosidad del ligante. La proporción de betún determinada con la fórmula anterior es la misma independientemente de que se trate de betunes de penetración distinta, tales como B80/100 o B200/300.

4.2.3 **Determinación de KM a partir de KF y KG.** Se utiliza el nomograma de la figura 5.

a) $\text{KM} = \text{KF} + \text{corrección para KF}$
El valor para corrección de KF, obtenido en el no-

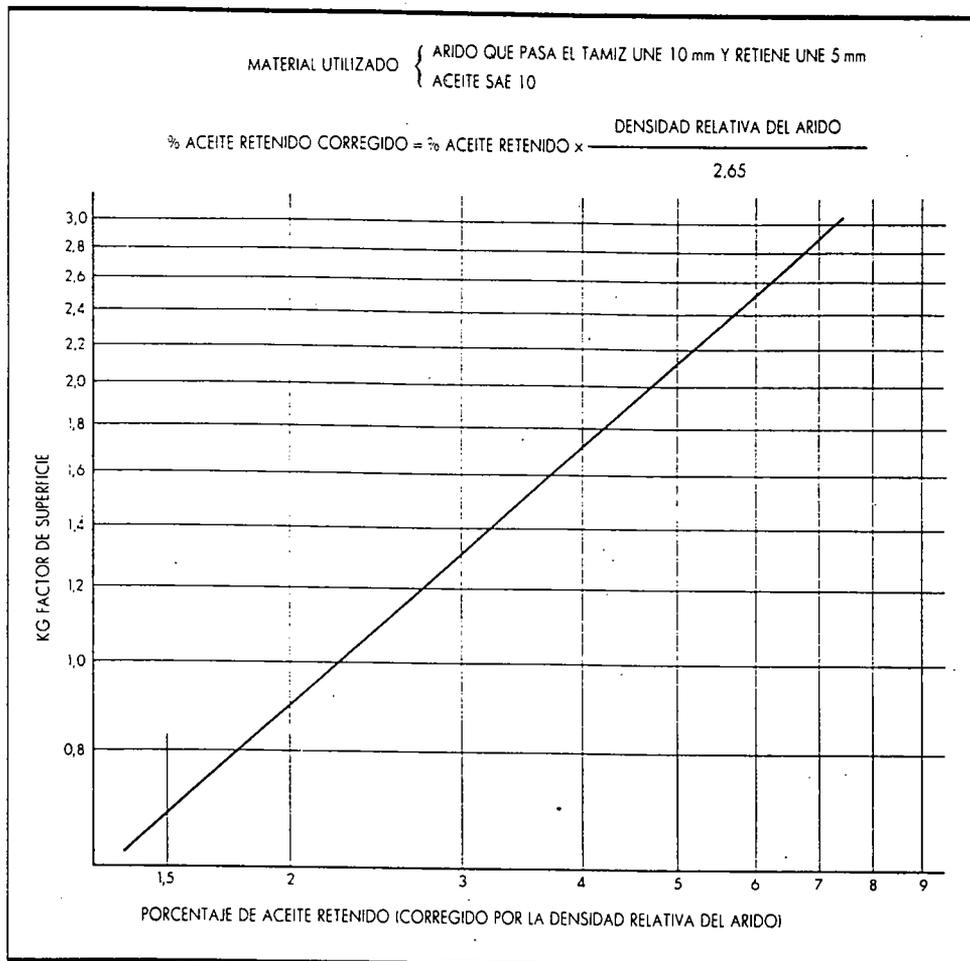


FIGURA 4. Nomograma para determinar KG en función del porcentaje de aceite retenido por el árido grueso.

nomograma de la figura 5, es positivo si $KG - KF > 0$ y negativo si $KG - KF < 0$

b) La determinación de **KM** se realiza como se refiere en el siguiente ejemplo:

Datos supuestos:

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

Se parte de la escala inferior izquierda (figura 5) con el dato de **SE** ($5 \text{ m}^2/\text{kg}$) siguiendo horizontalmente hacia la derecha hasta encontrar la recta del porcentaje (40 %) de árido grueso ($100 \% - 60 \% = 40 \%$); desde este punto se asciende verticalmente hasta la línea oblicua correspondiente a la diferencia entre **KG** y **KF** (en el ejemplo 0,8) y desde esta intersección se sigue horizontalmente hasta encontrar el valor de corrección de **KF** en la escala superior derecha (que en el supuesto del ejemplo es 0,2).

Como $KG (= 1,0) - KF (= 1,8) < 0$, la corrección, según 4.2.3 a), es negativa; por tanto,

$$KM = 1,8 - 0,2 = 1,6$$

(Si **KG** hubiera sido = 1,8 y **KF** = 1,0, $KG - KF$ sería igual a 0,2 > 0 , por lo que la corrección hubiera sido positiva y el valor de $KM = 1,0 + 0,2 = 1,2$)

c) Si la corrección para **KF** es inferior a 0,1, no se aplica tal corrección y, por tanto, $KM = KF$.

d) Si la proporción de árido grueso es igual o menor del 20 %, no se utiliza el valor de **KG**, y entonces $KM = KF$.

4.2.4 *Determinación de la cantidad de ligante bituminoso necesario en la mezcla, a partir de **KM**, **SE** y de la densidad relativa media.* Se utiliza el nomograma de la figura 6.

Densidad relativa media =

$$= \frac{100}{\frac{\% \text{ árido grueso}}{\text{Densidad relativa árido grueso}} + \frac{\% \text{ árido fino}}{\text{Densidad relativa árido fino}}}$$

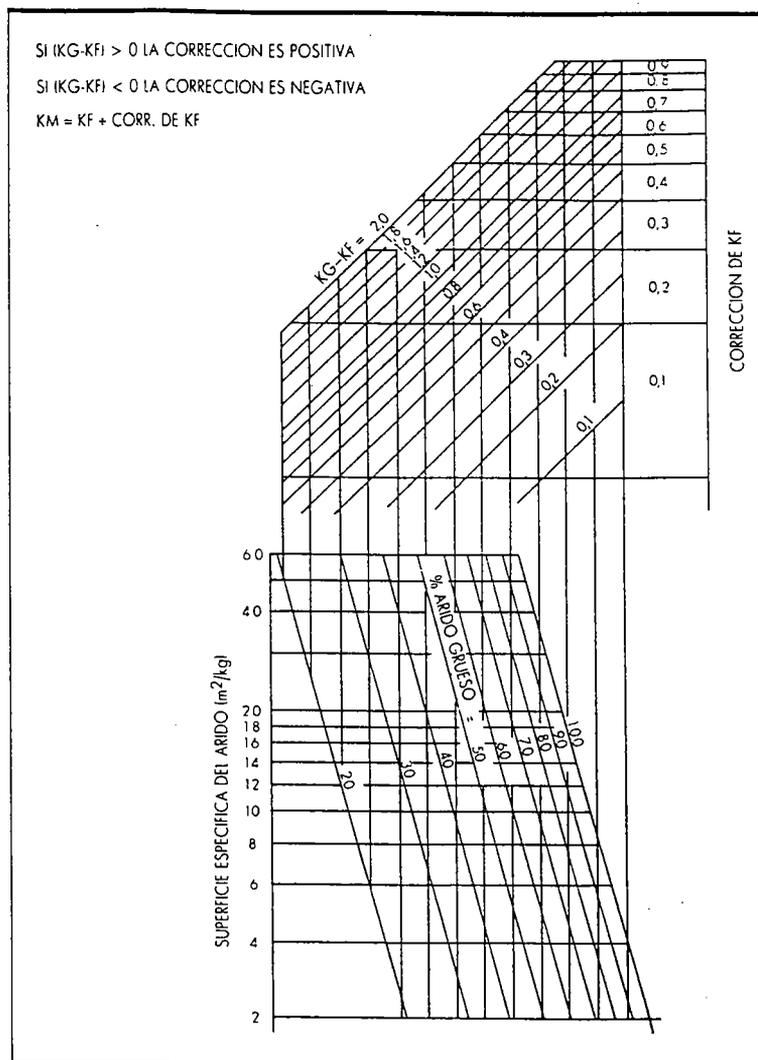


FIGURA 5. Nomograma para determinar KM por combinación de KF y KG.

Esta fórmula se puede aplicar a cualesquiera porcentajes en masa de árido grueso y árido fino, machacados o no, o combinación de ambos, siempre que la suma de tales porcentajes totalice 100.

Se comienza entrando por la escala de **SE** del borde superior izquierdo del nomograma de la figura 6, con el dato que corresponda. Se sigue desde este punto, horizontalmente hacia la derecha, hasta intersección con la línea oblicua de densidad relativa media pertinente; después, hacia abajo verticalmente, hasta la intersección con la línea que represente el **KM** previamente calculado y desde aquí, horizontalmente hacia la derecha, hasta encontrar la escala de proporción de ligante para betunes fluidificados tipos FM 150 y FR 150 (corresponden a los anteriormente denominados MC 2 y RC 2).

Para determinar la cantidad de ligante en el caso de

los betunes fluidificados más pesados o de betunes de penetración, es necesario efectuar una corrección tal como se refiere en el siguiente apartado.

4.2.4.1 Corrección para ligantes fluidificados más pesados y para los betunes de penetración. Se utiliza el nomograma de la figura 7.

Se une mediante una recta el punto de la escala A, de la figura 7, correspondiente al tipo de ligante utilizado, con el punto de escala B que represente la superficie específica **SE** del árido. Esta recta trazada desde A hasta B, cruza otra recta denominada C; desde el punto de cruce o intersección en C, trazar una recta hasta el punto de la escala D que represente el contenido de ligante determinado previamente, según se refiere en el apartado 4.2.4. Se prolonga esta línea recta hacia la derecha hasta que encuentre la escala E. El punto de encuentro en esta

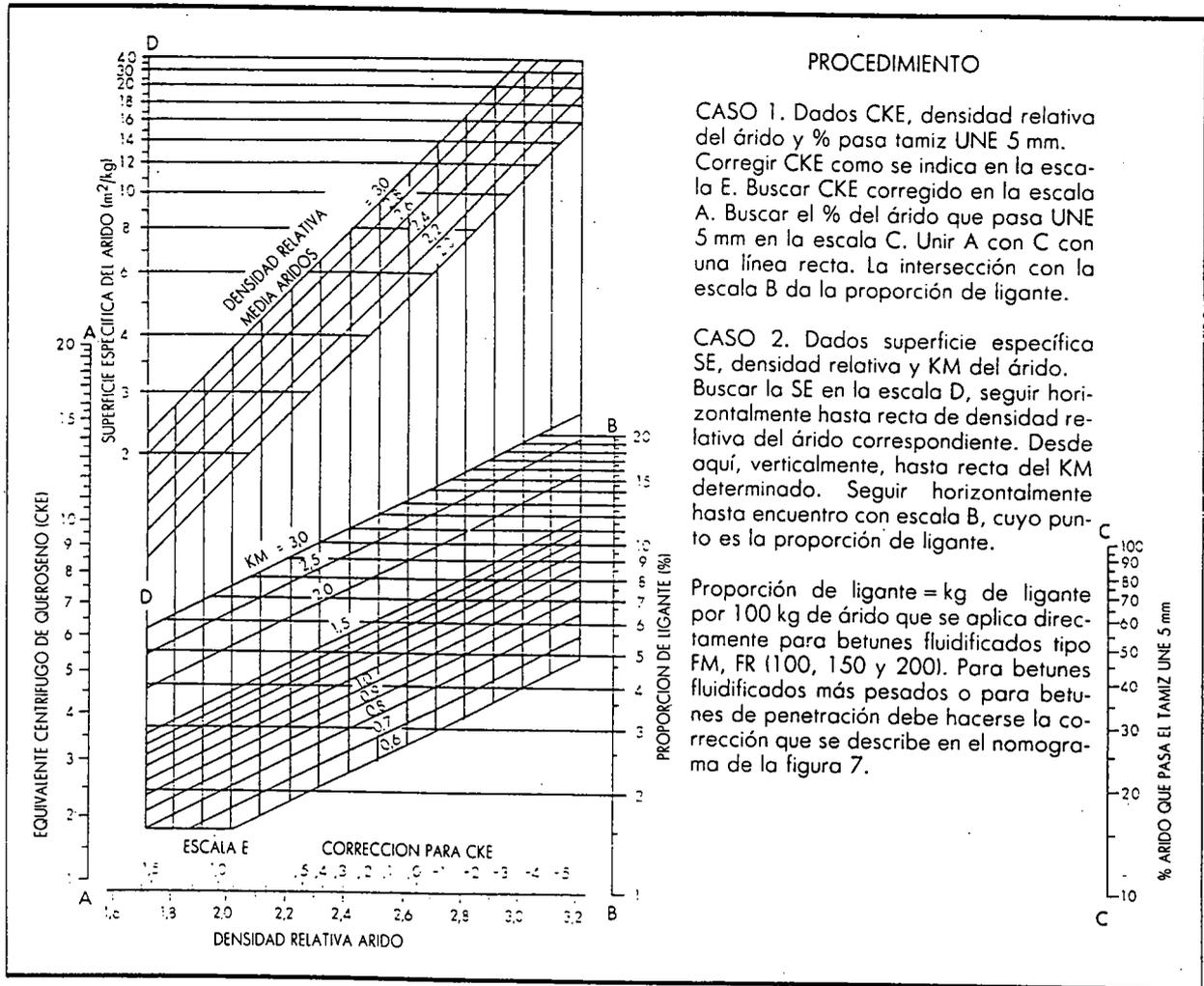


FIGURA 6. Nomograma para determinar la proporción de ligante para mezclas bituminosas de granulometría densa.

escala determina la proporción de ligante, corregida en función de su viscosidad.

4.3 Ejemplo teórico de la utilización de nomogramas. Para ilustrar el manejo de los nomogramas de las figuras 3 a 7 adjuntas a esta Norma, se suponen los siguientes datos y condiciones aplicables a una dosificación de mezcla bituminosa para fabricar con un betún de penetración 80/100.

Densidad relativa real árido grueso 2,50
 Densidad relativa real árido fino 2,72
 Material que pasa el tamiz UNE 5 mm, % ... 60

Densidad relativa media =

$$= \frac{100}{\frac{40}{2,50} + \frac{60}{2,72}} = \dots\dots\dots 2,63$$

Granulometría y superficie específica:

Tamiz UNE	% que pasa	Factor SE	Superficie específica m ² /kg
20 mm	100	0,4	0,40
10 mm	86	0,4	
5 mm	60	0,4	0,24
2,5 mm	45	0,8	0,36
1,25 mm	32	1,6	0,51
630 μm	21	2,9	0,61
320 μm	12	6,0	0,72
160 μm	10	12,0	1,20
80 μm	8	33,0	2,64

Superficie específica del árido = 6,68 m²/kg

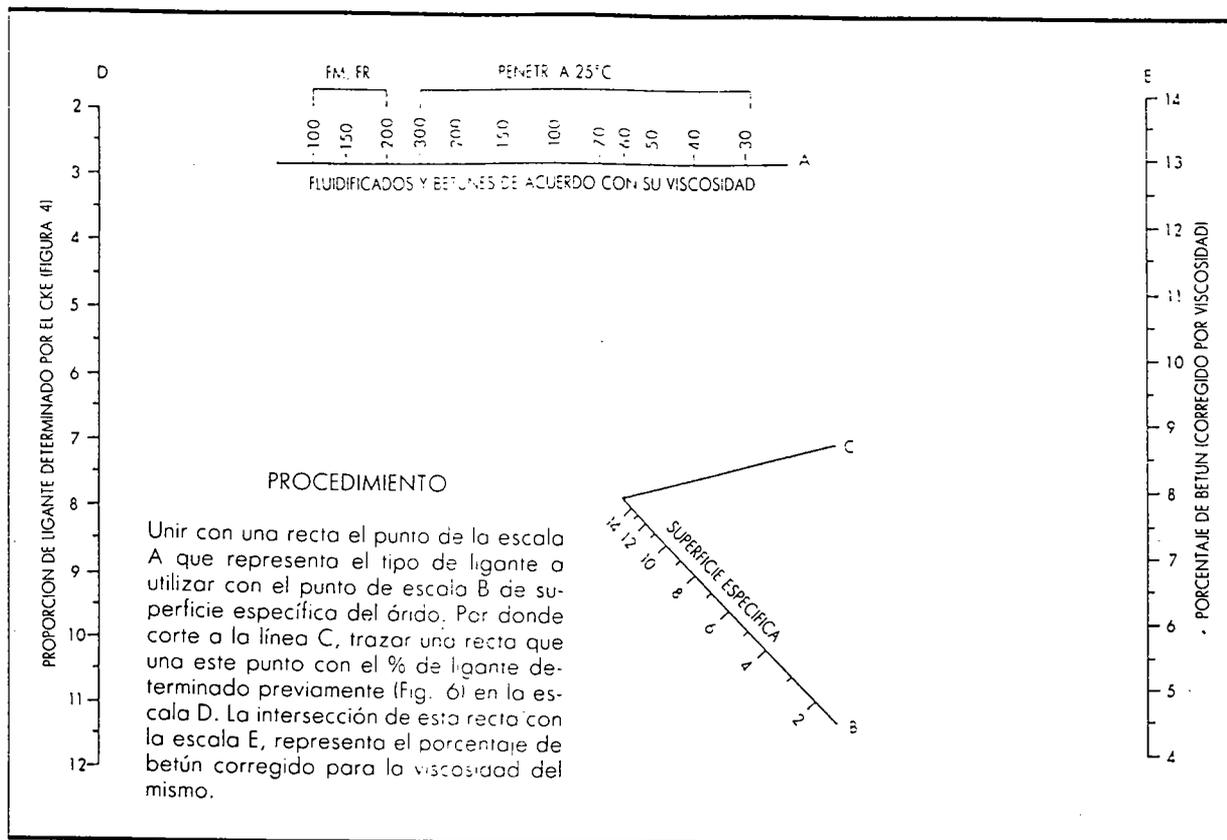


FIGURA 7. Nomograma para determinar la proporción de betún corregido por viscosidad o penetración más baja.

CKE = 4,9

CKE corregido (figura 3) =

$$= 4,9 \cdot \frac{2,72}{2,65} = 4,9 \cdot 1,026 = 5,0$$

Aceite SAE retenido en árido grueso, % = 2,1

Aceite SAE corregido (figura 4) =

$$= 2,1 \cdot \frac{2,50}{2,65} = 2,1 \cdot 0,943 = 2,0$$

Se determina:

De la figura 3, KF = 1,32

De la figura 4, KG = 0,90 KG - KF = -0,42 (<0)

De la figura 5, KM = 1,32 - 0,1 (corrección negativa) = 1,22

De la figura 6, cont. ligante ~ 4,7 % s/a

De la figura 7, cont. ligante ~ 5,7 % s/a

5 RESULTADO

5.1 El contenido de ligante obtenido por este mé-

todo se expresará como porcentaje del mismo respecto a la masa del árido seco.

6 CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

Test Method No. Calif. 303 E 1966 «Method of Test for Centrifuge Kerosene Equivalent Including K-Factor».

AASHTO T 270-80 (1986) «Centrifuge Kerosene Equivalent and Approximate Bitumen Ratio (ABR)».

7 NORMAS PARA CONSULTA

UNE 7.050 «Tamices de ensayo».

NLT-150 «Análisis granulométrico de áridos gruesos y finos».

NLT-153 «Densidad relativa y absorción de áridos gruesos».

NLT-154 «Densidad relativa y absorción de áridos finos».