

**DETERMINACIÓN DE LA PROPORCIÓN Y DEL GRADO DEL
AGENTE DE RECICLADO EN MEZCLAS DE CONCRETO
ASFÁLTICO ELABORADAS EN CALIENTE CON MATERIAL
RECICLADO**
INV E – 812 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe el procedimiento para determinar el porcentaje y el grado del agente de reciclado requerido para la elaboración de mezclas de concreto asfáltico fabricadas en planta y en caliente.

2 DEFINICIONES

- 2.1** *Pavimento asfáltico recuperado (RAP)* – Materiales de pavimento removidos y/o reprocesados que contienen asfalto y agregados pétreos.
- 2.2** *Material granular recuperado (RAM)* – Materiales de pavimento removidos y/o reprocesados que no contienen agente ligante reutilizable.
- 2.3** *Agente de reciclado* – Material orgánico con características químicas y físicas seleccionadas para devolverle al asfalto las condiciones deseadas.

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1** El proceso consiste en la evaluación del pavimento asfáltico recuperado (RAP); la caracterización del asfalto extraído de éste; la evaluación del material granular recuperado (RAM) cuando se vaya a utilizar; la definición de la combinación de agregados para la elaboración de una nueva mezcla en caliente que incluya los materiales recuperados, y la determinación del grado y la proporción del agente de reciclado que debe ser añadido al asfalto presente en el RAP y al asfalto nuevo, con el fin de obtener un ligante con la viscosidad apropiada para la elaboración de la mezcla.

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1** El reciclado de mezclas asfálticas en caliente es una técnica de rehabilitación de pavimentos, que comprende la remoción de un pavimento de concreto asfáltico en servicio y, eventualmente, de materiales granulares del mismo, y la mezcla posterior del material removido con agregados vírgenes y un ligante nuevo, empleando calor.
- 4.2** Se considera que una mezcla reciclada en caliente, adecuadamente diseñada y fabricada, es estructuralmente equivalente a una elaborada con agregados completamente nuevos y tiene las mismas aplicaciones. Por otra parte, el aprovechamiento de materiales existentes en las vías puede representar beneficios técnicos, económicos y ambientales.

5 EQUIPO

- 5.1** Se requieren los elementos necesarios para la ejecución de los ensayos descritos en la normas INV E-213, INV E-717, INV E-732, INV E-759 e INV E-782.

6 MATERIALES

6.1 Agentes de reciclado:

- 6.1.1** Los agentes de reciclado son materiales orgánicos, con características químicas y físicas seleccionadas para restaurar el asfalto envejecido a las especificaciones deseadas. Bajo esta definición, pueden ser clasificados como tales los cementos asfálticos blandos y los agentes de reciclado comerciales.
- 6.1.2** Los primeros se pueden emplear cuando se requiere un incremento en el contenido de ligante de la mezcla reciclada y existe en el mercado un grado de cemento asfáltico que puede ser mezclado con el ligante envejecido en el RAP, para obtener un asfalto que cumpla los requisitos de la especificación para elaborar una mezcla nueva. Generalmente, cumplen este propósito los cementos asfálticos 85–100, 120–150 o 200–300 (AC-10, AC-5 o AC-2.5; AR-4000, AR-2000 o AR-1000) (Figura 812 - 1).

Nota 1: Las especificaciones de los asfaltos de los grados AC y AR se encuentran en la norma ASTM D 3381.

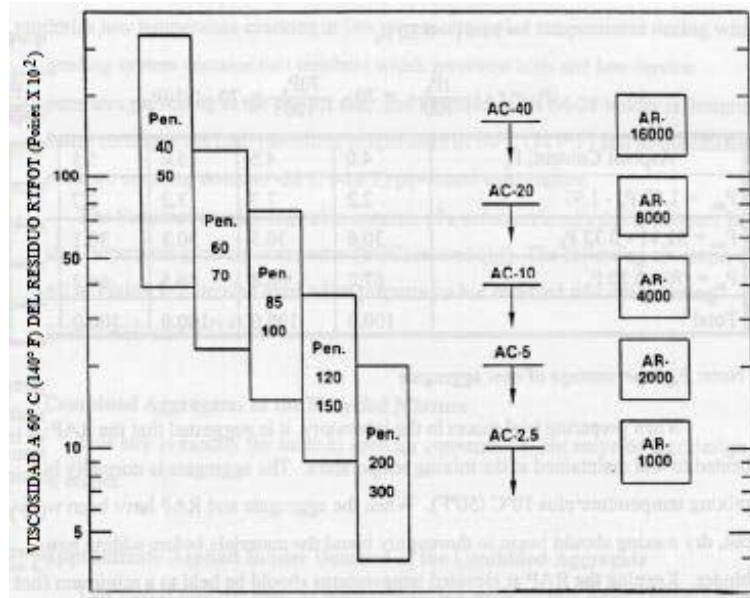


Figura 812 - 1. Comparación de grados de penetración y grados de viscosidad

6.1.3 Cuando el asfalto proveniente del RAP presenta una viscosidad muy alta o el porcentaje de RAP en la mezcla reciclada es muy alto, además del asfalto nuevo, es necesario incorporar un agente comercial de reciclado para modificar el asfalto envejecido, sin alterar el contenido deseado de ligante. La Tabla 812 - 1 presenta las propiedades de los agentes de reciclado comerciales (RA) incluidos en la norma ASTM D 4552. En general, los RA de baja viscosidad se emplean para restaurar asfaltos envejecidos de alta viscosidad y viceversa.

Tabla 812 - 1. Especificaciones para los agentes de reciclado de mezclas asfálticas en caliente

Ensayo	Norma INV	RA 1		RA 5		RA 25		RA 75		RA 250		RA 500	
		Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Viscosidad a 60°C, cSt	E-717	50	175	176	900	901	4500	4501	12500	12501	37500	37501	60000
Punto de inflamación, °C (°F)	E-709	219 (425)	-	219 (425)	-	219 (425)	-	219 (425)	-	219 (425)	-	219 (425)	-
Saturados, % en peso	ASTM D2007	-	30	-	30	-	30	-	30	-	30	-	30
Ensayos sobre el residuo de ensayos INV E-720 o INV E-721 a 163°C (325°F)													
Relación de viscosidades(1)	-	-	3	-	3	-	3	-	3	-	3	-	3
Cambio de masa, ± %	-	-	4	-	4	-	3	-	3	-	3	-	3
Gravedad específica	E-707	Informar											
(1) Relación de viscosidades = $\frac{\text{Viscosidad del residuo de los ensayos INV E-720 o INV E-721 a } 60^{\circ}\text{C (140°F), cSt}}{\text{Viscosidad original a } 60^{\circ}\text{C (140°F), cSt}}$													

7 PROCEDIMIENTO

7.1 Combinación de agregados en la mezcla reciclada:

- 7.1.1** Se obtienen muestras representativas de RAP y de RAM, si este último va a formar parte de la nueva mezcla. Las muestras se tomarán de acuerdo con lo que resulte aplicable de la norma INV E-731. Así mismo, se obtiene una muestra representativa del agregado nuevo que se va a incorporar en la mezcla. Sus cantidades deberán ser suficientes para la ejecución de los ensayos que se mencionan en los numerales 7.1.2, 7.1.3 y 7.2.1.
- 7.1.2** A la muestra proveniente del RAP se le determinan el contenido de asfalto y la granulometría de los agregados, aplicando las normas INV E-732 e INV E-782. El porcentaje de asfalto, en masa, se denomina P_a .
- 7.1.3** A la muestra de agregado nuevo y a la de RAM (si se va a incorporar en la mezcla), se les determinan sus granulometrías, aplicando la norma INV E-213.
- 7.1.4** Mediante tanteos, se definen las proporciones en las que se deben mezclar los diferentes agregados, de manera que el material resultante cumpla el requisito granulométrico exigido por la especificación aplicable al proyecto. La proporción en masa de RAM más agregados nuevos dentro de la mezcla total de agregados se designa con el símbolo “ r ”.

Nota 2: Además de cumplir con la granulometría, se debe verificar que los agregados pétreos satisfacen todos los requisitos de calidad exigidos por la especificación aplicable.

Nota 3: De acuerdo con el Instituto del Asfalto de los Estados Unidos de América, los límites aconsejables de pavimento recuperado – RAP, en una mezcla elaborada en una planta discontinua se encuentran entre 20 y 35 %, mientras el rango práctico para las mezclas con tambor mezclador es entre 20 y 50 %. Ello no implica que no se puedan usar proporciones mayores bajo circunstancias favorables.

7.2 Caracterización del asfalto envejecido:

- 7.2.1** Se recupera el asfalto proveniente de la muestra representativa del RAP de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma INV E-759.
- 7.2.2** Se determina la viscosidad del asfalto recuperado a 60° C, de acuerdo con la norma INV E-717.
- 7.3 Demanda aproximada de ligante asfáltico en la mezcla con el agregado combinado:**

7.3.1 Empleando la granulometría del agregado mezclado (recuperado + virgen), se determina la cantidad aproximada de asfalto en la nueva mezcla, con la fórmula:

$$P_c = 0.04a + 0.07b + 0.12 c$$

[812.1]

Donde: P_c : Demanda aproximada de asfalto en la mezcla reciclada, %;

a: Proporción del agregado combinado, que queda retenida en el tamiz de 2.36 mm (No. 8), %;

b: Proporción del agregado que pasa el tamiz de 2.36 mm (No. 8) y queda retenido en el de 75 μm (No. 200), %;

c: Proporción del agregado que pasa el tamiz de 75 μm de abertura (No. 200).

7.4 *Determinación del porcentaje requerido de asfalto nuevo para la mezcla reciclada:*

7.4.1 En primer lugar, se calcula el porcentaje de asfalto recuperado presente en la mezcla total combinada (P_s), con la expresión:

$$P_s = \frac{P_a \times P_b}{100}$$

[812.2]

Donde: P_a : Contenido de asfalto en el RAP, %;

P_b : Proporción en masa del RAP dentro de la mezcla de agregados, %.

7.4.2 A continuación, se determina el porcentaje de asfalto nuevo requerido en la mezcla reciclada (P_r), con la fórmula:

$$P_r = P_c - P_s$$

[812.3]

7.4.3 Se calcula la cantidad de asfalto nuevo requerido, como porcentaje del contenido total de ligante requerido, con la expresión:

$$R = \frac{P_r}{P_c} \times 100$$

[812.4]

7.5 Selección del grado del cemento asfáltico nuevo:

7.5.1 Se determina el grado que debe tener el asfalto nuevo, con ayuda del gráfico de la Figura 812 - 2, de la siguiente manera:

- Se representa en la escala vertical izquierda la viscosidad del asfalto envejecido presente en el RAP (punto A).
- Se ubica en la misma escala la viscosidad a la cual se quiere llegar con la combinación de asfaltos.
- Se ubica el valor correspondiente a R en la escala horizontal y desde allí se levanta una vertical, determinando su intersección con la horizontal que representa la viscosidad deseada (punto B).
- Se unen con una recta los puntos A y B, la cual se prolonga hasta encontrar la escala vertical de la derecha (punto C).
- El punto C representa la viscosidad a 60° C (140° F) que debe tener el ligante asfáltico nuevo, para ser mezclado con el asfalto presente en el RAP, con el fin de obtener la viscosidad deseada en la mezcla. En consecuencia, se debe escoger el grado del nuevo ligante asfáltico que tenga un rango de viscosidad dentro del cual se encuentre la que representa el punto C.

Nota 4: Si la intersección en la escala derecha determina una viscosidad inferior a la mínima aceptable del asfalto de grado AC-2.5, será necesario incorporar un agente comercial de reciclado y/o reducir la cantidad de RAP usada en la mezcla reciclada.

Nota 5: Se sugiere que cuando el contenido de RAP excede de 20 %, se emplee un cemento asfáltico un grado más blando que el especificado para una mezcla totalmente nueva.

7.6 Diseño de la mezcla por tanteos:

7.6.1 El diseño por tanteos de la mezcla reciclada se deberá realizar con el método Marshall. Las fórmulas incluidas en la Tabla 812 - 2 se deberán emplear para proporcionar los diferentes ingredientes: nuevo asfalto (P_r), RAP (P_{sm}) y agregado nuevo y/o RAM (P_{ns}). En dichas fórmulas, P_b representa el contenido total de asfalto en la mezcla reciclada.

Tabla 812 - 2. Fórmulas para la dosificación de materiales en mezclas recicladas en caliente

PROPORCIONES EN MASA DE LA MEZCLA TOTAL	
% Asfalto nuevo, P_r	$\frac{(10000 - rP_a)P_b}{100(100 - P_a)} - \frac{(100 - r)P_a}{100 - P_a}$
% RAP, P_{sm}	$\frac{100(100 - r)}{100 - P_a} - \frac{(100 - r)P_b}{100 - P_a}$
% de agregado nuevo y/o RAM, P_{ns}	$r - \frac{rP_b}{100}$
Total	100
% de asfalto nuevo en relación con el contenido total de asfalto, R	$\frac{100P_r}{P_b}$

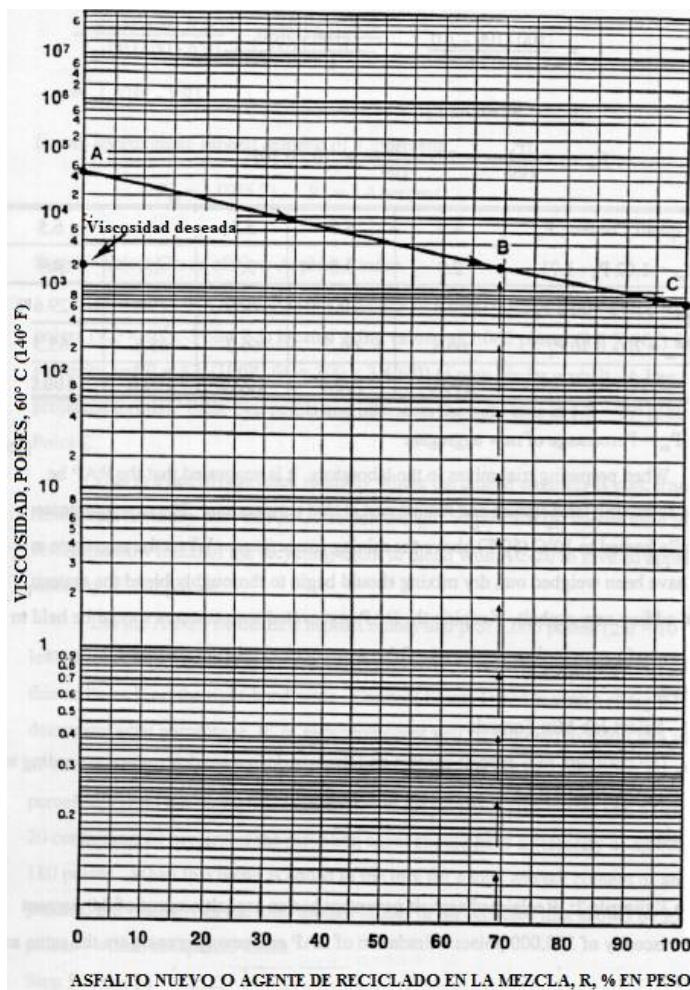


Figura 812 - 2. Diagrama para determinar el grado del asfalto nuevo o del agente de reciclado en la mezcla a partir de su proporción en la mezcla y de la viscosidad del cemento asfáltico recuperado

8 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

ASPHALT INSTITUTE, "Mix design methods for asphalt concrete and other hot-mix types", MS-2 Sixth Edition, Lexington KY, 1995

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, "Hot mix asphalt recycling (materials and mix design)", 2006

CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, California Test 377, Sacramento, California, March 2000

ANEXO A (Informativo)

EJEMPLOS

A.1 Ejemplo 1:

Un pavimento asfáltico recuperado (RAP) tiene un contenido de cemento asfáltico de 5.2 % (P_a), con una viscosidad de 46 000 Poises a 60° C (140° F). El grado del asfalto especificado para la elaboración de la nueva mezcla es 60–70, y la viscosidad deseada a 60° C (140° F) es 2000 Poises. Las gradaciones del RAP y del agregado nuevo son las siguientes:

TAMAÑO ABERTURA DE TAMIIZ	PORCENTAJE QUE PASA	
	RAP	AGREGADO NUEVO
25.4 mm (1")	100	100
19.0 mm (3/4")	98	93
9.5 mm (3/8")	85	53
4.75 mm (No. 4)	65	30
2.36 mm (No. 8)	52	16
300 µm (No. 50)	22	5
75 µm (No. 200)	8	1

A.1.1 *Determinación de la gradación combinada:*

Si la planta a emplear es discontinua, se elige 30 % de RAP para la nueva mezcla (Ver nota 3), obteniéndose la gradación combinada que se muestra a continuación, junto con la gradación especificada:

TAMAÑO TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA			
	30% RAP	70% AGREGADO NUEVO	COMBINADA	ESPECIFICACIÓN
25.4 mm (1")	30.0	70.0	100	100
19.0 mm ($\frac{3}{4}$ ")	29.4	65.1	94.4	90–100
9.5 mm (3/8")	25.5	37.1	62.6	56–80
4.75 mm (No. 4)	19.5	21.0	40.5	35–65
2.36 mm (No. 8)	15.6	11.2	26.8	23–49
300 μm (No. 50)	6.6	3.5	10.1	5–19
75 μm (No. 200)	2.4	0.7	3.0	2–8

A.1.2 *Demanda aproximada de ligante asfáltico en la mezcla con el agregado combinado:*

$$P_c = 0.04a + 0.07b + 0.12 c = 0.04 \times (100 - 26.8) + 0.07 \times (26.8 - 3.0) + 0.12 \times 3.0 = 5.0 \%$$

A.1.3 *Porcentaje requerido de asfalto nuevo en la mezcla reciclada:*

$$P_s = \frac{P_p \times P_a}{100} = \frac{30 \times 5.2}{100} = 1.56 \%$$

$$P_r = P_c - P_s = 5.0 - 1.56 = 3.44 \%$$

$$R = \frac{P_r}{P_c} \times 100 = \frac{3.44}{5.0} \times 100 = 69 \%$$

A.1.4 *Selección del grado del asfalto para reciclado:*

Se determina el grado que debe tener el asfalto requerido, con ayuda del gráfico de la Figura 812 - 2:

- Se representa en la escala vertical de la izquierda la viscosidad del asfalto envejecido presente en el RAP = 46 000 Poises (punto A).
- Se ubica en la misma escala la viscosidad a la cual se quiere llegar con la combinación de asfaltos (2000 Poises).
- Se ubica el valor correspondiente a R (69 %) en la escala horizontal y desde allí se levanta una vertical, determinando su intersección con la horizontal que represente la viscosidad deseada (punto B).
- Se unen con una recta los puntos A y B, la cual se prolonga hasta alcanzar la escala vertical de la derecha, encontrándose que la viscosidad del nuevo ligante debe ser 700 Poises (punto C).
- El punto C representa la viscosidad a 60° C (140° F) que debe tener el nuevo ligante asfáltico, para ser mezclado con el asfalto presente en el RAP, con el fin de obtener la viscosidad deseada del ligante en la mezcla. En consecuencia, se debe escoger un grado de ligante asfáltico nuevo cuyo rango de viscosidad a 60° C (140° F) incluya el valor señalado por el punto C.

Una viscosidad de 700 Poises es intermedia entre las que presentan los asfaltos AC-5 y AC-10, entre los cuales se puede escoger el que se mezclará con el asfalto envejecido, debiéndose verificar que la viscosidad de la mezcla de los dos ligantes a 60° C (140° F) es cercana a 2000 Poises.

A.1.5 Mezclas de prueba para diseño:

Por último, empleando una mezcla de agregados compuesta por 30 % de RAM y 70 % de agregado nuevo, se deben preparar mezclas de prueba, con distintos contenidos de asfalto (en incrementos de 0.5 %), para diseñar la mezcla en el laboratorio mediante el método Marshall. Al efecto, se aplican las fórmulas de la Tabla 812 - 2 de la siguiente manera:

Porcentaje de asfalto nuevo, P_r :

$$P_r = \frac{(10000 - rP_a)P_b}{100(100 - P_a)} - \frac{(100 - r)P_a}{100 - P_a} \quad [812.5]$$

Como $r = 70\%$ y $P_a = 5.2\%$,

$$P_r = \frac{(10000 - 70 \times 5.2)P_b}{100(100 - 5.2)} - \frac{(100 - 70) \times 5.2}{100 - 5.2} = 1.016P_b - 1.646$$

Porcentaje de RAP, P_{sm} :

$$P_{sm} = \frac{100(100 - r)}{100 - P_a} - \frac{(100 - r)P_b}{100 - P^a}$$

$$P_{sm} = \frac{100(100 - 70)}{100 - 5.2} - \frac{(100 - 70)P_b}{100 - 5.2} = 31.65 - 0.316P_b$$

Porcentaje de agregado Nuevo, P_{ns} :

$$P_{ns} = r - \frac{rP_b}{100}$$

$$P_{ns} = 70 - \frac{70 \times P_b}{100} = 70 - 0.7P_b$$

Las proporciones de materiales en las mezclas recicladas de tanteo para los diferentes contenidos totales de asfalto serán:

ASFALTO TOTAL, Pb	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5
$P_r = 1.016 Pb - 1.646$	2.92	3.43	3.94	4.45	4.95
$P_{sm} = 31.65 - 0.316Pb$	30.23	30.07	29.91	29.75	29.60
$P_{ns} = 70 - 0.7Pb$	66.85	66.50	66.15	65.80	65.45
Total	100	100	100	100	100

A.2 Ejemplo 2:

El pavimento asfáltico recuperado (RAP) tiene un contenido de cemento asfáltico de 6.5 % (P_a), con una viscosidad de 100 000 Poises a 60° C (140° F). De acuerdo con la gradación del RAP y del agregado nuevo, la demanda aproximada de ligante asfáltico del agregado combinado (P_c) es 5.3 %. La proporción de RAP en la nueva mezcla es del 35 % (P_p). Por las características del proyecto, se desea que el diseño de la mezcla se realice con un asfalto de características equivalentes a un AC-20, con una viscosidad media a 60° C de 2000 Poises.

A.2.1 Porcentaje requerido de asfalto nuevo en la mezcla reciclada:

$$P_s = \frac{P_p \times P_a}{100} = \frac{6.5 \times 35}{100} = 2.28 \%$$

$$P_r = P_c - P_s = 5.30 - 2.28 = 3.02\%$$

$$R = \frac{P_r}{P_c} \times 100 = \frac{3.02}{5.30} \times 100 = 57 \%$$

A.2.2 Selección del grado del asfalto nuevo:

Se determina el grado que debe tener el asfalto requerido para la mezcla reciclada, con ayuda del gráfico de la Figura 812 - 3:

- Se representa en la escala vertical de la izquierda la viscosidad del asfalto envejecido presente en el RAP = 100 000 Poises (punto A).
- En la misma escala, se ubica la viscosidad a la cual se quiere llegar con la combinación de asfaltos (2000 Poises) (punto D).
- Se localiza el valor correspondiente a R en la escala horizontal (57 %) y, desde allí, se levanta una vertical, determinando su intersección con la horizontal que represente la viscosidad deseada (punto B).
- Se unen con una recta los puntos A y B, la cual se prolonga hasta encontrar la escala vertical de la derecha, hallándose que la viscosidad del nuevo ligante debe ser 180 Poises (punto C).
- El punto C representa la viscosidad a 60° C (140° F) que debe tener el nuevo ligante asfáltico, para ser mezclado con el ligante presente en el RAP, con el fin de obtener la viscosidad deseada en la mezcla. En consecuencia, se debe escoger el grado del nuevo ligante asfáltico que tenga un rango de viscosidad a 60° C (140° F) dentro del cual se encuentre el punto C.

Como la viscosidad de los cementos asfálticos más blandos es superior a 180 Poises, la solución consiste en añadirle al AC-20 que se desea utilizar, un agente comercial de reciclado, cuya viscosidad y cuantía hagan que el producto nuevo presente una viscosidad de 180 Poises.

A.2.3 *Tipo y proporción del agente comercial de reciclado:*

Si se elige, por ejemplo, un agente comercial del tipo RA-1, con una viscosidad a 60° C de 1 Poise, el procedimiento gráfico que se debe aplicar es el siguiente:

- Se ubica en la escala vertical de la derecha la viscosidad del agente de reciclado (punto E).
- Se conectan los puntos D y E con una recta.
- Se determina la proporción de agente comercial de reciclado, AR, requerida para que su mezcla con el asfalto AC-20 presente una viscosidad de 180 Poises. Ello se logra trazando una horizontal desde el punto C, que corte la recta DE. La proyección vertical del punto de corte, indica la proporción que debe tener el agente de reciclado en su mezcla con el asfalto nuevo (22 %). Esto significa que un tanque que contenga una mezcla de 78 % de asfalto nuevo AC-20 y 22 % del agente RA-1, debe tener una viscosidad aproximada de 180 Poises. Cuando este producto se añada a la mezcla reciclada cuyo contenido total de asfalto sea 5.3 %, la viscosidad del asfalto combinado allí presente debería ser del orden de 2000 Poises.

A.2.4 *Mezclas de prueba para diseño:*

Los tanteos para el diseño de la mezcla en el laboratorio se realizan como en el Ejemplo 1.

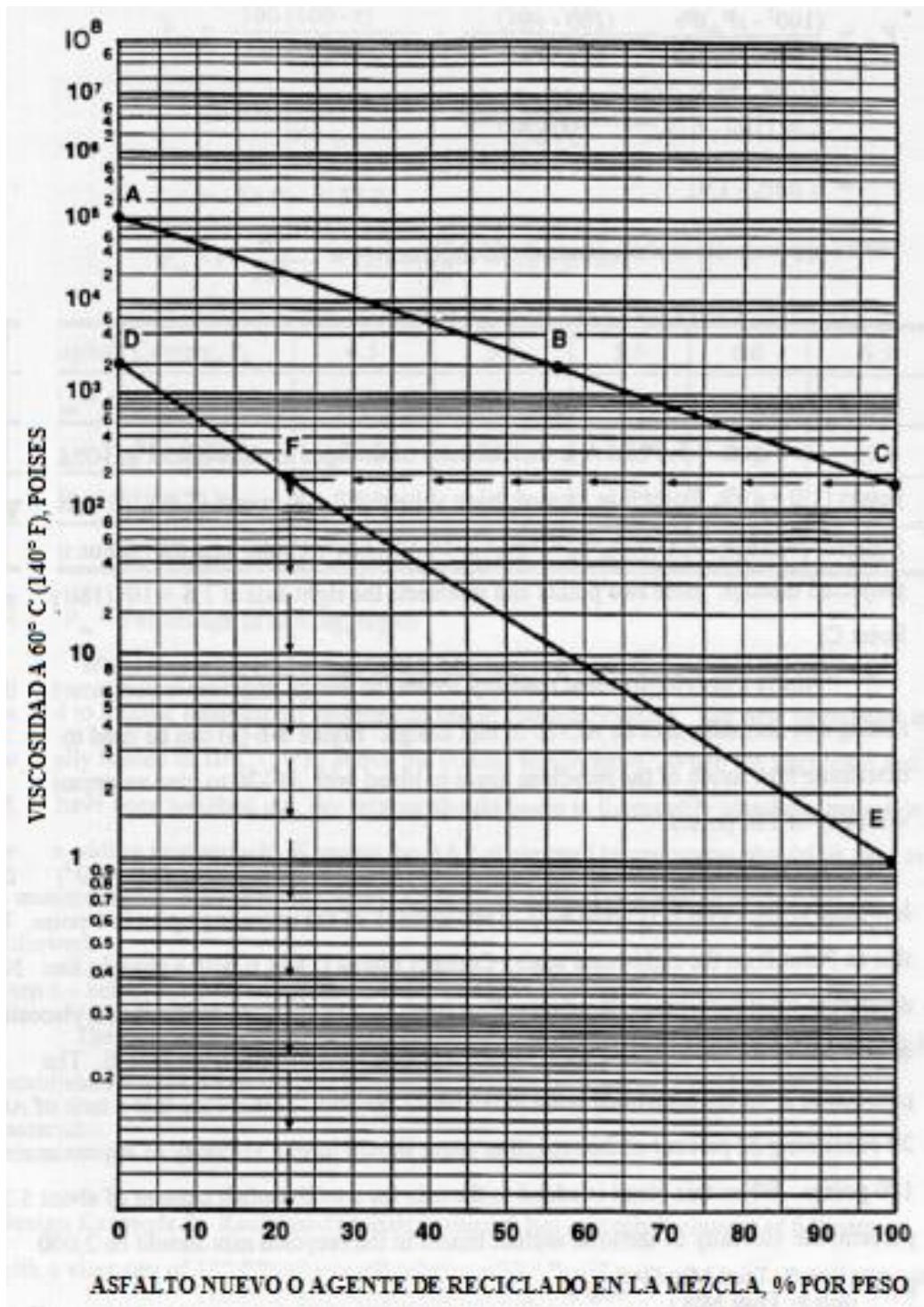


Figura 812 - 3. Diagrama para la combinación de cemento asfáltico recuperado y el asfalto nuevo o elagente de reciclado (Ejemplo 2)