

ÍNDICES DE APLANAMIENTO Y DE ALARGAMIENTO DE LOS AGREGADOS PARA CARRETERAS

INV E – 230 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe el procedimiento que se deben seguir para la determinación de los índices de aplanamiento y de alargamiento de los agregados que se van a emplear en la construcción de carreteras.
- 1.2** Esta norma se aplica a agregados de origen natural o artificial. El ensayo para determinar el índice de aplanamiento no es aplicable a los tamaños de partículas menores de 6.3 mm ($\frac{1}{4}$ ") o mayores de 63 mm ($2\frac{1}{2}$ "); mientras que la prueba para hallar el índice de alargamiento no aplica a los tamaños de partículas menores de 6.3mm ($\frac{1}{4}$ ") o mayores de 50 mm (2").
- 1.3** Esta norma reemplaza la norma INV E–230–07.

2 DEFINICIONES

- 2.1** *Fracción granulométrica d_i/D_i* – Fracción de un agregado comprendida entre los tamices de aberturas D_i (mayor) y d_i (menor).
- 2.2** *Dimensión media de una fracción* – Promedio de las aberturas de los tamices correspondientes a cada fracción en la cual se divide la muestra para ensayo.
- 2.3** *Partícula plana* – Partícula cuya dimensión mínima (espesor) es inferior a 3/5 de la dimensión media de la fracción.
- 2.4** *Índice de aplanamiento de una fracción, d_i/D_i* – Porcentaje en masa de las partículas planas de la fracción d_i/D_i .
- 2.5** *Índice de aplanamiento global* – Masa del total de las partículas planas, expresada como porcentaje de la masa total seca de las partículas sometidas al ensayo.
- 2.6** *Partícula larga* – Partícula cuya dimensión máxima (largo) es superior a 9/5 de la dimensión media de la fracción.

- 2.7 *Índice de alargamiento de una fracción, d_i/D_i* – Porcentaje en masa de las partículas largas de la fracción d_i/D_i .
- 2.8 *Índice de alargamiento global* – Masa total de las partículas largas, expresada como porcentaje de la masa total seca de las partículas sometidas al ensayo.
- 2.9 *Muestra de ensayo* – Muestra utilizada íntegramente para un mismo ensayo.

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1 El ensayo de índice de aplanamiento consiste en dos operaciones sucesivas. En primer lugar, mediante el uso de tamices, se divide la muestra en fracciones. Luego, cada una de las fracciones se criba empleando para ello tamices de barras paralelas colocadas a separaciones $3/5[(d_i + D_i)/2]$. Las partículas que pasen el tamiz son consideradas planas. En lugar de los tamices de barras paralelas, se puede utilizar un calibrador con ranuras cuyas aberturas son del mismo tamaño de las separaciones de las barras de los tamices.
- 3.2 El ensayo de índice de alargamiento consiste en dos operaciones sucesivas. En primer lugar, mediante el uso de tamices, se divide la muestra en fracciones. Luego, cada fracción se analiza utilizando un calibrador de longitudes, el cual tiene barras verticales separadas a distancias $9/5[(d_i + D_i)/2]$. Se considera que todas las partículas retenidas por las barras son alargadas.

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1 La forma de las partículas de los agregados es importante en la construcción de carreteras, porque las partículas de forma defectuosa suelen generar inconvenientes. Las partículas planas y alargadas tienden a producir mezclas de concreto poco trabajables, lo que puede afectar su durabilidad a largo plazo. En las capas granulares y en las mezclas asfálticas, esas partículas son propensas a rotura y desintegración durante el proceso de compactación, modificando la granulometría del agregado y afectando adversamente su comportamiento.

5 EQUIPO

- 5.1 *Tamices de barras* – Siete tamices, formados por barras cilíndricas paralelas (Figura 230 - 1) y con las separaciones entre barras que se muestran a continuación. El bastidor debe ser metálico, de 75 mm de altura y entre 250 y

300 mm de lado. La altura libre del bastidor por encima de las barras se deberá encontrar entre 55 y 65 mm. El diámetro de las barras deberá oscilar entre 5 y 15 mm, dependiendo del ancho de la ranura (a mayor ancho, mayor diámetro).

FRACCIÓN GRANULOMÉTRICA di/Di		ANCHO DE LA RANURA DEL TAMIZ DE BARRAS
mm	pg	mm
50/ 63	2 / 2 ½	33.9 ± 0.3
37.5/50	1 ½ / 2	26.3 ± 0.2
25/37.5	1 / 1 ½	18.8 ± 0.2
19/25	¾ / 1	13.2 ± 0.2
12.5/19	½ / ¾	9.5 ± 0.1
9.5/12.5	3/8 / ½	6.6 ± 0.1
6.3/9.5	¼ / 3/8	4.7 ± 0.1

- 5.2 *Calibradores metálicos* – Dos calibradores metálicos, uno de ranuras (calibrador de espesores) y otro de barras (calibrador de longitudes), cuyas dimensiones deben estar de acuerdo con lo especificado a continuación (Figuras 230 - 2 y 230 - 3). El calibrador de espesores sustituye al juego de tamices de barras paralelas mencionado en el numeral 5.1.

FRACCIÓN GRANULOMÉTRICA di/Di		DIMENSIONES DEL CALIBRADOR	
mm	pg	APLANAMIENTO (ANCHO DE LA RANURA)	ALARGAMIENTO (SEPARACIÓN ENTRE BARRAS)
		mm	mm
50/ 63	2 / 2 ½	33.9 ± 0.3	-
37.5/50	1 ½ / 2	26.3 ± 0.3	78.8 ± 0.3
25/37.5	1 / 1 ½	18.8 ± 0.3	56.3 ± 0.3
19/25	¾ / 1	13.2 ± 0.15	39.6 ± 0.3
12.5/19	½ / ¾	9.5 ± 0.15	28.4 ± 0.3
9.5/12.5	3/8 / ½	6.6 ± 0.1	19.8 ± 0.2
6.3/9.5	¼ / 3/8	4.7 ± 0.1	14.2 ± 0.2

- 5.3 *Tamices* – De los siguientes tamaños de abertura: 6.3 mm ($\frac{1}{4}$ "), 9.5 mm ($\frac{3}{8}$ "), 12.5 mm ($\frac{1}{2}$ "), 19 mm ($\frac{3}{4}$ "), 25 mm (1"), 37.5 mm ($1\frac{1}{2}$ "), 50 mm (2") y 63 mm ($2\frac{1}{2}$ ").
- 5.4 *Balanza* – Con una sensibilidad mínima de 0.1 % de la masa de la muestra de ensayo.
- 5.5 *Horno* – Horno de ventilación forzada, regulado por un termostato que mantenga la temperatura a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$).
- 5.6 *Equipo misceláneo* – Cuarteador de agregados, bandejas, tamizadora mecánica (opcional) etc.



Figura 230 - 1. Tamices de barras

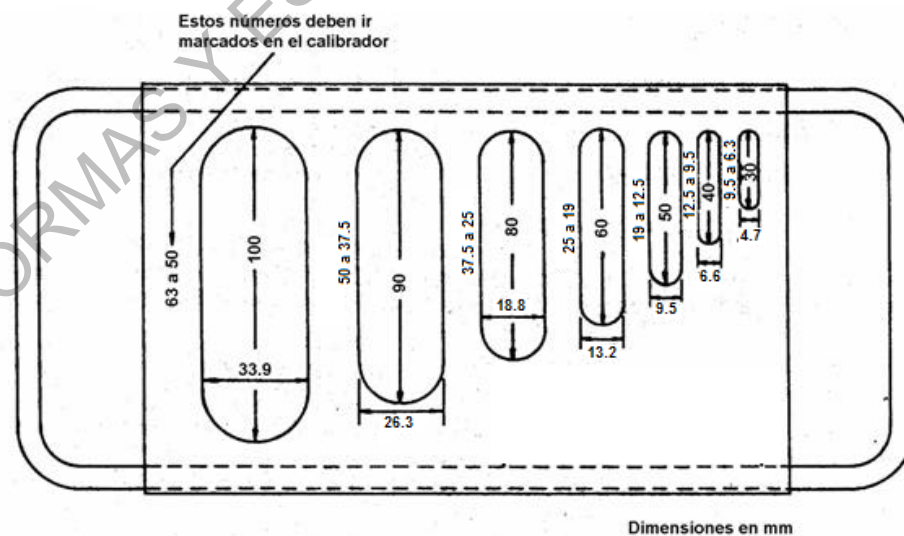


Figura 230 - 2. Calibrador de espesores (para el índice de aplanamiento)

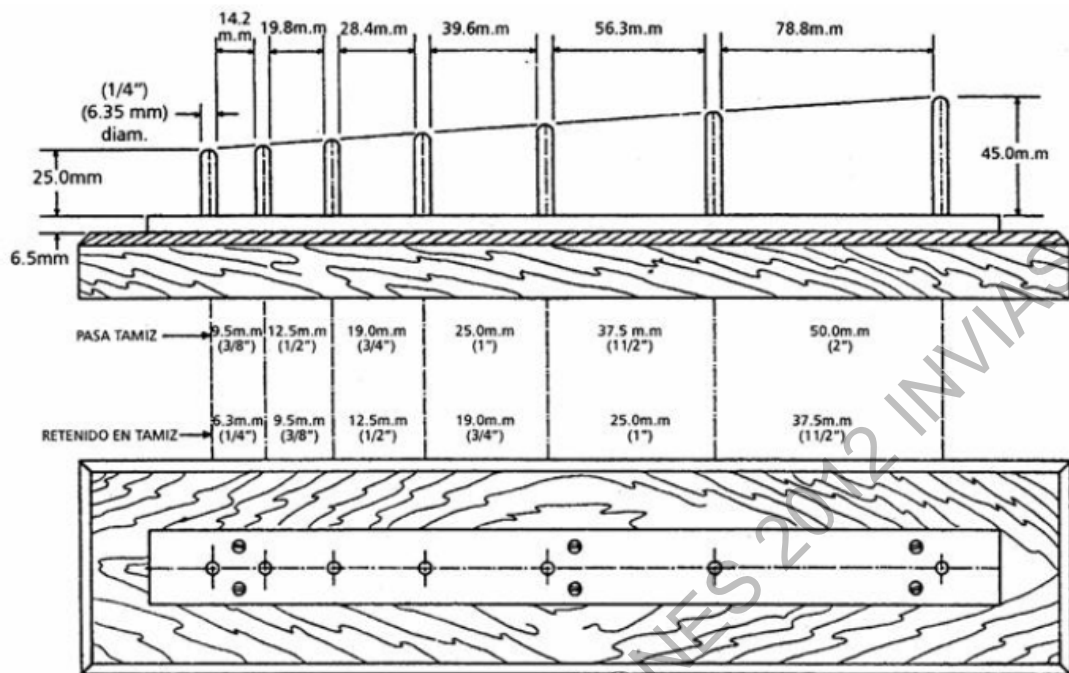


Figura 230 - 3. Calibrador de longitudes (para el índice de alargamiento)

6 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- 6.1** El material recibido en el laboratorio, se reduce por cuarteo hasta obtener una muestra representativa de ensayo, de masa mínima acorde con el tamaño máximo nominal del agregado, como se muestra en la Tabla 230 - 1, teniendo en cuenta que más adelante se deberán rechazar tanto las partículas consideradas sobretamaños como las menores de 6.3 mm (1/4").
- 6.2** Se seca la muestra a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) hasta alcanzar masa constante. Se retira del horno y se permite que alcance la temperatura ambiente.
- 6.3** Se realiza un ensayo de granulometría, conforme a la norma INV E-213. Para el ensayo del índice de aplanamiento se deben descartar las partículas retenidas en el tamiz de 63 mm ($2 \frac{1}{2}$ ") y las que pasan el de 6.3 mm (1/4"); mientras que para el ensayo del índice de alargamiento se deben descartar las partículas retenidas en el tamiz de 50 mm (2") y las que pasan el de 6.3 mm (1/4").
- 6.4** Se pesa cada una de las fracciones retenidas entre tamices (R_i) y se coloca en una bandeja separada, debidamente marcada. La suma de las masas de las

diferentes fracciones para el ensayo del índice de aplanamiento se llamará M_1 y la suma de las destinadas a la prueba de alargamiento se llamará M_{11} . Se calcula el porcentaje individual retenido entre cada par de tamices $[(R_i/M_1) \times 100]$ o $[(R_i/M_{11}) \times 100]$ Si alguna de las fracciones R_i representa menos del 5 % de M_1 o de M_{11} , se deberá descartar. En tal caso, la masa total se reducirá a un valor M_2 o M_{12} .

- 6.5 Se calculan y anotan los porcentajes que representan los valores de R_i en relación con la masa total de la muestra (para el índice de aplanamiento, la masa total es M_1 o M_2 , según corresponda; y para el índice de alargamiento será M_{11} o M_{12}).

Tabla 230 - 1. Masa mínima de la muestra de ensayo después del rechazo de partículas grandes y pequeñas

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO, mm (pg.)	MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA PARA EL ENSAYO DEL ÍNDICE DE APLANAMIENTO, kg	MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA PARA EL ENSAYO DEL ÍNDICE DE ALARGAMIENTO, kg
50 mm (2")	35	-
37.5 mm (1 ½")	15	15
25 mm (1")	5	5
19 mm (¾")	2	2
12.5 mm (½")	1	1
9.5 mm (3/8")	0.5	0.5

7 PROCEDIMIENTO

7.1 Índice de aplanamiento:

7.1.1 Se mide el aplanamiento por alguno de los procedimientos mencionados en los numerales 7.1.1.1 y 7.1.1.2.

7.1.1.1 Usando el tamiz de barras apropiado para cada fracción, se tamiza la fracción respectiva por él. El cribado se realizará manualmente y se considerará terminado cuando el rechazo no varíe en más de 1 % durante un minuto de tamizado. Entonces, se tratan de pasar manualmente las partículas retenidas en el tamiz, pero sin forzarlas ni romperlas.

7.1.1.2 Usando el calibrador de aplanamiento, se intentan hacer pasar a mano, una por una, las partículas de cada fracción por

la abertura correspondiente del calibrador, sin forzarlas ni romperlas.

7.1.2 Cualquiera haya sido el procedimiento utilizado, una vez pasadas todas las partículas posibles se determina la masa de las que pasaron por cada uno de los tamices o de los espacios del calibrador (m_i), o sea las partículas planas, con una aproximación del 0.1 % de la masa M_1 o M_2 , según corresponda.

7.1.3 Se combinan y pesan todas las partículas que pasaron las barras de los tamices o las ranuras del calibrador de aplanamiento. La masa total de ellas será $\Sigma(m_i) = M_3$.

7.2 Índice de alargamiento:

7.2.1 Se toma una de las fracciones de material (d_i/D_i) y, de manera manual, se intenta pasar cada una de las partículas por su mayor dimensión entre el par de barras del calibrador que representa dicha fracción. Una partícula alargada que será aquella cuya mayor dimensión le impide pasar por dicho espacio. Las partículas alargadas de la fracción se colocan a un lado. El procedimiento se repite con todas las fracciones.

7.2.2 Se determina la masa de las partículas que quedaron retenidas entre cada par de barras (n_i), o sea las partículas alargadas, con una aproximación del 0.1 % de la masa M_{11} o M_{12} , según corresponda.

7.2.3 Se combinan y pesan todas las partículas que quedaron retenidas entre las barras del calibrador de alargamiento. La masa total de ellas será $\Sigma(n_i) = M_{13}$.

8 CÁLCULOS

8.1 Índice de aplanamiento:

8.1.1 El índice de aplanamiento de cada fracción d_i/D_i , IA_i , se calcula como sigue:

$$IA_i = \frac{m_i}{R_i} \times 100 \quad [230.1]$$

Donde: R_i : Masa de la fracción d_i/D_i , g;

m_i : Masa de las partículas planas de la fracción d_i/D_i , g.

8.1.2 El índice de aplanamiento global, IA, se calcula como sigue:

$$IA = \frac{M_3}{M_1 \text{ o } M_2} \times 100 \quad [230.2]$$

M_1 o M_2 : Masa total de la muestra empleada en la determinación del índice de aplanamiento, g;

M_3 : Masa de todas las partículas que pasaron las barras de los tamices o las ranuras del calibrador de aplanamiento, g.

8.1.3 El valor calculado de IA se deberá redondear al entero más cercano.

8.2 *Índice de alargamiento:*

8.2.1 El índice de alargamiento de cada fracción d_i/D_i , IL_i , se calcula como sigue:

$$IL_i = \frac{n_i}{R_i} \times 100 \quad [230.3]$$

Donde: R_i : Masa de la fracción d_i/D_i , g;

n_i : Masa de las partículas alargadas de la fracción d_i/D_i , g.

8.2.2 El índice de alargamiento global, IL, se calcula como sigue:

$$IL = \frac{M_{13}}{M_{11} \text{ o } M_{12}} \times 100 \quad [230.4]$$

Donde: M_{11} o M_{12} : Masa total de la muestra empleada en la determinación del índice de alargamiento, g;

M_{13} : Masa de todas las partículas que quedaron retenidas en las barras del calibrador de alargamiento, g.

8.2.3 El valor calculado de IL se deberá redondear al entero más cercano.

9 INFORME

9.1 El informe deberá incluir la siguiente información:

9.1.1 Identificación de la muestra.

9.1.2 Masa de la muestra de ensayo, indicando las masas de sobretamaños y de partículas pequeñas que fueron rechazadas.

9.1.3 Fracciones rechazadas por constituir menos del 5 % de la muestra total.

9.1.4 Índice de aplanamiento de cada fracción, IA_i .

9.1.5 Índice de aplanamiento global, IA .

9.1.6 Índice de alargamiento de cada fracción, IL_i .

9.1.7 Índice de alargamiento, IL .

10 PRECISIÓN Y SESGO

10.1 Los estimativos de repetibilidad y reproducibilidad de la determinación del índice de aplanamiento fueron 4.9 y 9.1, respectivamente. Los valores se obtuvieron en un experimento realizado en 1982 entre 8 laboratorios, cada uno de los cuales ensayó, por duplicado, muestras de un basalto y una arenisca de 14 mm. Los valores promedio fueron muy similares y no hubo diferencia significativa en la precisión de los datos para los dos agregados.

11 NORMAS DE REFERENCIA

BS 812-105.1: 1989

BS 812-105.2: 1990

ANEXO A (Informativo)

EJEMPLO DE CÁLCULO DEL ÍNDICE DE APLANAMIENTO

TAMICES		MASA INICIAL DE CADA FRACCIÓN (R _i)	GRANULOMETRÍA (FRACCIÓN ENTRE TAMICES)	GRANULOMETRÍA CORREGIDA (SI HAY ALGUNA FRACCIÓN QUE REPRESENTA MENOS DE 5 % DEL TOTAL)	MASA DE LAS PARTÍCULAS PLANAS (m _i)	ÍNDICE DE APLANAMIENTO POR FRACCIÓN (m _i / R _i)×100
Pasa	Retiene	g	%	%	g	
63 mm (2 ½")	50 mm (2")	-	-		-	-
50 mm (2")	37.5 mm (1 ½")	-	-		-	-
37.5 mm (1 ½")	25 mm (1")	274	5.3		55	20.1
25 mm (1")	19 mm (¾")	1088	21.0		146	13.4
19 mm (¾")	12.5 mm (½")	1742	33.7		181	10.4
12.5 mm (½")	9.5 mm (3/8")	1278	24.7		166	13.0
9.5 mm (3/8")	6.3 (¼")	789	15.3		102	12.9
Totales		M ₁ =5171	100		M ₃ =650	
$IA = \frac{M_3}{M_1 \text{ o } M_2} \times 100 = \frac{650}{5171} \times 100 = 13$						

ANEXO B (Informativo)

EJEMPLO DE CÁLCULO DEL ÍNDICE DE ALARGAMIENTO

TAMICES		MASA INICIAL DE CADA FRACCIÓN (R _i)	GRANULOMETRÍA (FRACCIÓN ENTRE TAMICES)	GRANULOMETRÍA CORREGIDA (SI HAY ALGUNA FRACCIÓN QUE REPRESENTE MENOS DE 5% DEL TOTAL) ^c	MASA DE LAS PARTÍCULAS ALARGADAS(n _i)	ÍNDICE DE ALARGAMIENTO POR FRACCIÓN (n _i / R _i)×100
Pasa	Retiene	g	%	%	g	
63 mm (2 ½")	50 mm (2")	-	-	-	-	-
50 mm (2")	37.5 mm (1 ½")	-	-	-	-	-
37.5 mm (1 ½")	25 mm (1")	-	-	-	-	-
25 mm (1")	19 mm (3/4")	687	32.7	33.9	216	31.4
19 mm (3/4")	12.5 mm (½")	847	40.3	41.7	125	14.8
12.5 mm (½")	9.5 mm (3/8")	495	23.5	24.4	108	21.8
9.5 mm (3/8")	6.3 (¼")	73	3.5 ^A	-	-	-
Totales		M ₁₁ =2102 M ₁₂ =2029 _B	100	100	M ₁₃ =449	-
$IL = \frac{M_{13}}{M_{11} \text{ o } M_{12}} \times 100 = \frac{449}{2029} \times 100 = 22$						

^A La fracción entre 9.5 mm y 6.3 mm (3.5 %) es inferior a 5.0 % de la muestra original y, por lo tanto se debe descartar para el ensayo

^B Debido a que la fracción entre 9.5 mm y 6.3 mm debe ser descartada, la nueva masa total tendrá 73 gramos menos

^C Porcentaje de cada fracción respecto de la nueva masa total M₁₂