

DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE PULIMENTO ACELERADO (CPA) DE LAS PARTÍCULAS DE AGREGADO GRUESO

INV E – 232 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe el procedimiento de laboratorio para determinar la susceptibilidad de los agregados pétreos al pulimento, mediante la máquina de pulimento acelerado, valorando esta susceptibilidad por medio del Coeficiente de Pulimento Acelerado (CPA), determinado con ayuda del péndulo de fricción.
- 1.2** Este pulimento, conseguido mediante la acción de la llanta de caucho macizo de la máquina de ensayo y de los abrasivos empleados, pretende reproducir, de manera acelerada, aquel que experimenta el agregado bajo la acción del tránsito real cuando forma parte de la capa de rodadura de una vía. Este ensayo incluye, por lo tanto, dos procesos: (1) Un pulimento acelerado al cual se someten las probetas de agregado en la máquina de pulimento, y (2) Una medida del grado de pulimento conseguido para cada muestra, mediante el ensayo de fricción con el péndulo del TRL, el cual se expresa como coeficiente de pulimento del agregado, determinado en el laboratorio.
- 1.3** Esta norma reemplaza la norma INV E–232–07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** Empleando un mortero de resina, se montan catorce probetas compuestas por partículas de gravilla sobre la periferia lisa de una rueda de 40 cm de diámetro, sometiéndolas a la acción de una rueda neumática de 20 cm, cargada de un material abrasivo. El ensayo dura seis horas; durante las tres primeras, el material abrasivo que se aplica a la rueda es un esmeril granulado con tamaños entre 600 y 300 μm , mientras que en las tres horas siguientes se utiliza polvo de esmeril muy fino. La velocidad periférica del neumático es de aproximadamente 24.5 km/h. El estado de pulimento alcanzado por cada probeta después de tratada en la máquina se mide por el coeficiente de fricción entre su superficie y una zapata de caucho de un aparato portátil de tipo péndulo, para determinar el coeficiente de pulimento acelerado (CPA).

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** Estudios de laboratorio muy extensos y experimentos realizados en carreteras con una amplia variedad de agregados, han demostrado que el estado de pulimento de las probetas al cabo de las seis horas se aproxima al estado de pulimento que alcanzan las mismas piedras después de varios meses en una carretera sometida a tránsito muy intenso, o de varios años en una vía con tránsito ligero.
- 3.2** La resistencia al pulimento de las partículas del agregado, es la resistencia a perder aspereza en su textura superficial y tiene gran importancia desde el punto de vista de la resistencia al deslizamiento cuando dichas partículas van a ser empleadas en una capa de rodadura, por la incidencia que tiene este factor sobre la seguridad de los usuarios de las carreteras. Por lo tanto, el ensayo es fundamental para la selección de los agregados destinados a la construcción de este tipo de capas.

4 EQUIPO

- 4.1** *Máquina de pulimento acelerado* – La máquina para el ensayo de pulimento de los agregados, representada en la Figura 232 - 1, se deberá montar bien nivelada y anclada sobre una superficie rígida, de concreto o de piedra, y tendrá los componentes que se indican a continuación:
- 4.1.1** *Rueda porta-probetas* – Una rueda con una periferia lisa y dispositivos de fijación para albergar 14 probetas con agregados de las dimensiones mostradas en la Figura 232 - 2a. Las probetas se deben fijar sobre la periferia de la rueda para componer una superficie continua de rodadura, formada por las partículas de agregado, de 406.4 ± 3 mm ($16 \pm 1/8$ ") de diámetro.
- 4.1.2** *Mecanismo de giro* – Un dispositivo para hacer girar la rueda porta-probetas alrededor de su eje, a una velocidad de 320 ± 5 rpm.
- 4.1.3** *Dos ruedas macizas con llantas de caucho* – De 200 ± 3 mm ($8 \pm 1/8$ ") de diámetro y de 38 ± 2 mm ($1 \frac{1}{2} \pm 1/16$ ") de ancho, con una periferia lisa. Las ruedas deben ser de colores diferentes. El color oscuro identifica la rueda que se empleará en el ciclo de pulimento con el abrasivo grueso. La otra rueda, de color claro, se utilizará en el ciclo de pulimento con abrasivo fino. Las llantas de caucho se pueden obtener

del fabricante de la máquina de pulimento y deberán tener una dureza inicial de (69 ± 3) IRHD (*International Rubber Hardness Degree*), según se especifica en la norma ISO 7619.

Nota 1: Las ruedas con llantas de caucho pueden ser del mismo color, siempre y cuando estén debidamente marcadas e identificadas de forma visible como “grueso” y “fino”.

4.1.4 *Un brazo de palanca y una pesa* – Para llevar la superficie de la rueda correspondiente con llanta de caucho a apoyarse sobre la rueda porta-probetas con una fuerza libre total de 725 ± 10 N (74 ± 1 kgf). La rueda maciza con llanta de caucho deberá girar libremente sobre su eje, el cual deberá ser paralelo al eje de la rueda porta-probetas. Los planos de rotación de las dos ruedas deberán estar alineados.

4.1.4.1 La máquina deberá estar correctamente alineada, de manera que la rueda porta-probetas y cualquiera de las ruedas con llantas de caucho giren libremente sin holguras en los rodamientos. Se admitirán las siguientes tolerancias: (1) Los planos de rotación de las dos ruedas no diferirán, en lo que a su paralelismo se refiere, en un ángulo mayor de 5.8×10^{-3} rad (20 minutos); (2) La distancia entre los planos de rotación, medida entre los centros de las ruedas en movimiento, no deberá ser mayor de 0.8 mm.

4.1.5 *Tolva de alimentación del abrasivo grueso* – Identificada para su empleo con la rueda con llanta de caucho de color oscuro (grueso), para la alimentación del esmeril granulado y agua en las cantidades especificadas. El esmeril y el agua se deben alimentar directamente sobre la rueda porta-probetas en las proximidades del punto de contacto con la rueda con llanta de caucho.

4.1.6 *Tolva de alimentación del abrasivo fino* – Identificada para su empleo con la rueda con llanta de caucho de color claro (fino). La alimentación se efectuará de modo que el abrasivo fino y el agua sean vertidos continua y uniformemente sobre la superficie de la rueda de caucho macizo y las probetas, respectivamente, en las cantidades especificadas.

4.1.7 *Dispositivo para la alimentación del agua durante el ensayo* – Recipiente cilíndrico transparente con boca ancha, provisto de tapa sifón, que va situado en un soporte superior y a cierta altura con respecto al punto de entrada del agua en la zona de alimentación sobre la rueda de ensayo. El agua, desde el depósito, desemboca en un

compartimento solidario con la rampa de caída del abrasivo grueso. Entre los puntos de entrada y salida del recipiente del agua va intercalado un caudalímetro, para regular su alimentación.

- 4.1.8 Seguro** – Dispositivo que asegura que las ruedas con llantas de caucho no permanezcan en carga cuando estén en reposo, para prevenir el riesgo de deformación de las llantas.

Nota 2: Cuando no se emplee la máquina, es recomendable desmontar las ruedas con llantas de caucho y guardarlas como se indica en el Anexo C.

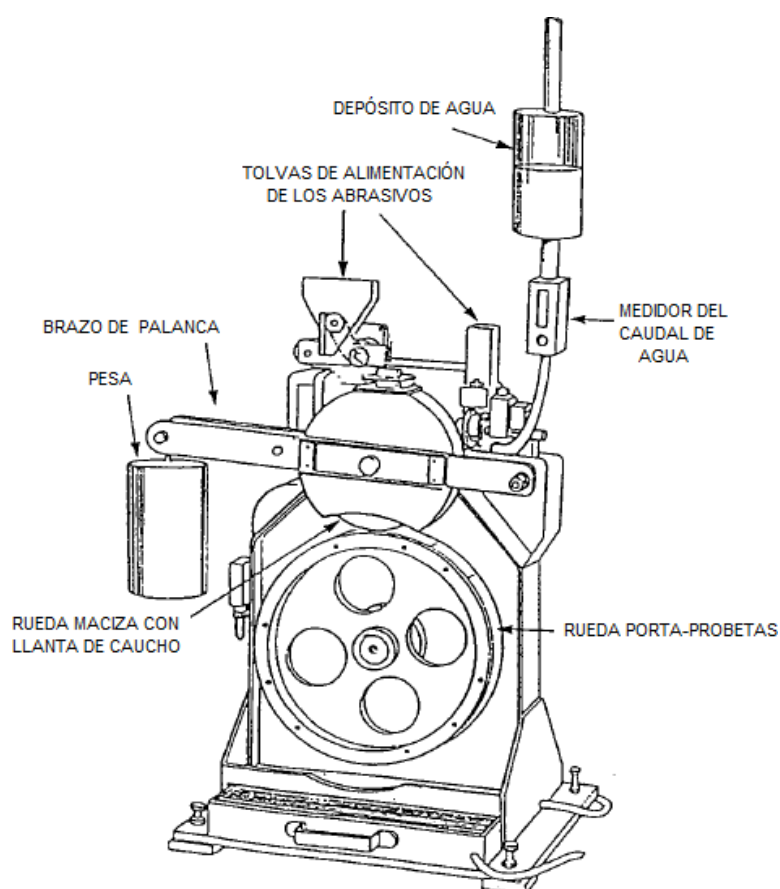


Figura 232 - 1. Máquina de pulimento acelerado

- 4.2 Moldes para la preparación de las probetas** – Los moldes metálicos empleados para la fabricación de las probetas serán mecanizados con precisión y consistirán en segmentos circulares de la rueda de ensayo, que permitan fabricar probetas de las dimensiones mostradas en la Figura 232 - 2.
- 4.3 Tamices** – De las siguientes aberturas: 9.5 mm (3/8"), 6.3 mm (¼"), 600 µm (No. 30), 500 µm (No. 35), 425 µm (No. 40), 355 µm (No. 45), 300 µm (No. 50),

212 μm (No.70), 180 μm (No. 80), 50 μm (No. 270), 32 μm (No. 450) y 20 μm (No. 635).

- 4.3.1** Un tamiz especial para eliminar partículas aplanadas en la fracción del agregado a ensayar que proporciona buenos resultados, es un tamiz de barras con amplitud de ranura de 6.3 mm ($\frac{1}{4}$ ").

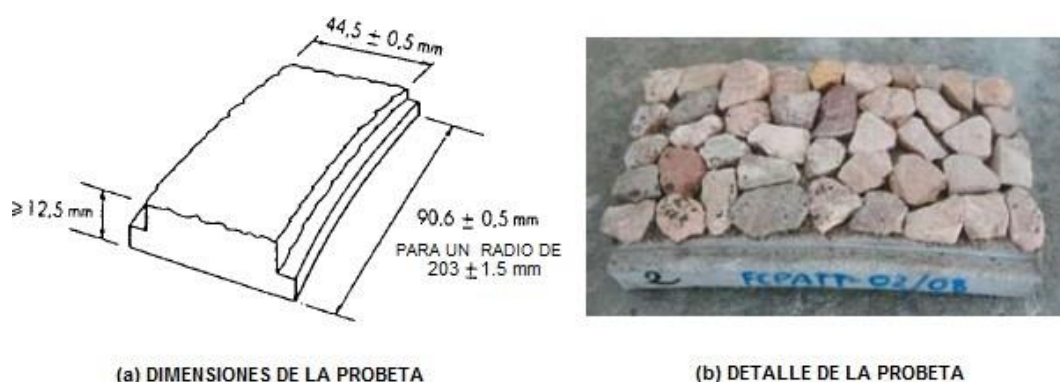


Figura 232 - 2. Probeta de ensayo

- 4.4** *Péndulo de fricción* – El aparato utilizado para efectuar la medida del pulimento acelerado a que son sometidos los agregados en el laboratorio, será el péndulo de fricción inglés (*Skid Resistance Tester*), Figura 232 - 3, cuyas características estarán de acuerdo con lo indicado en la INV E-792. El péndulo deberá ser calibrado una vez al año, conforme se indica en el Anexo D. Una escala auxiliar (escala F) será utilizada en las medidas de fricción sobre probetas de ensayo curvadas, con una longitud de deslizamiento de 76 mm.

- 4.4.1** *Zapata de caucho* – La zapata de caucho que se empleará en la medida del grado de pulimento de los agregados debe tener 31.75 ± 0.50 mm de longitud, 25.4 ± 1.0 mm de ancho (en la dirección de las oscilaciones del péndulo) y 6.35 ± 0.5 mm de espesor. Debe ir montada sobre una placa de soporte de aluminio con un eje de giro central. La masa del conjunto conformado por la zapata de caucho y la placa de soporte será de 20 ± 5 g. Sus aristas de trabajo, presentarán bordes rectos y bien definidos; el caucho no presentará contaminación con aceites, abrasivos, etc. El conjunto de zapata y placa de soporte va montado en el extremo del brazo del péndulo, de modo que, cuando el brazo oscilante se encuentre en el punto más bajo de su oscilación, con el borde posterior de la zapata en contacto con la superficie a ensayar, el plano de la zapata forme con la horizontal un ángulo de $26 \pm 3^\circ$ (Figura 232 - 4). En esta posición, la zapata se puede mover alrededor del eje o

pivote sin obstrucción, para seguir las irregularidades de la superficie con la oscilación del péndulo.

4.4.1.1 En el proceso de medidas con el péndulo, la zapata estará presionada mediante un resorte contra la superficie de ensayo. La fuerza estática sobre ella es de 22 ± 0.5 N (2.18 ± 0.05 kgf) en su posición central. La fuerza estática sobre la zapata no podrá sufrir variaciones superiores a 0.2 N (0.02kgf) por cada milímetro de deflexión de la misma.

4.4.1.2 Debido a la medida del pulimento sobre probetas de ensayo, se va originando en la arista de la zapata un desgaste o rebaba, que aumenta la adherencia entre zapata y probeta, obteniéndose por ello valores superiores a los normales en las medidas de fricción. Cuando la arista de la zapata presenta una zona de rozamiento superior a los 2,5 mm, excluido su proceso de acondicionamiento, se debe cambiar de arista de rozamiento de la zapata, o bien desechar la propia zapata si ya han sido empleadas ambas aristas de medida. Las zapatas se deberán almacenar en la oscuridad y a una temperatura de $20 \pm 5^\circ$ C.

4.4.1.3 La dureza y la resiliencia iniciales de las zapatas deberán ser las especificadas en la Tabla 232 - 1.

Tabla 232 - 1. Propiedades de la zapata

PROPIEDAD	TEMPERATURA ($^\circ$ C)				
	0	10	20	30	40
Resiliencia (%) ^A	43 a 49	58 a 65	66 a 73	71 a 77	74 a 79
Dureza (IRHD) ^B	50 a 65	50 a 65	50 a 65	50 a 65	50 a 65

^A Ensayo por rebote de Lüpke, según la norma ISO 4662

^B Dureza del caucho, según la norma ISO 48

4.4.2 *Dispositivo para sujetar las probetas durante la medida del pulimento* – Un dispositivo (Figuras 232 - 3 y 232 - 5) para sujetar rígidamente la probeta curva, una vez desmontada de la rueda de ensayo, con su dimensión mayor en el sentido del plano de deslizamiento del péndulo, y centrada respecto de la zapata de caucho y del eje de suspensión de aquel. En la zona curva del lateral exterior del sujetador de probetas deberá estar marcada la longitud de deslizamiento (76 mm).

4.5 Material auxiliar – Cepillo para limpieza de las probetas, frasco lavador, bandejas, etc.

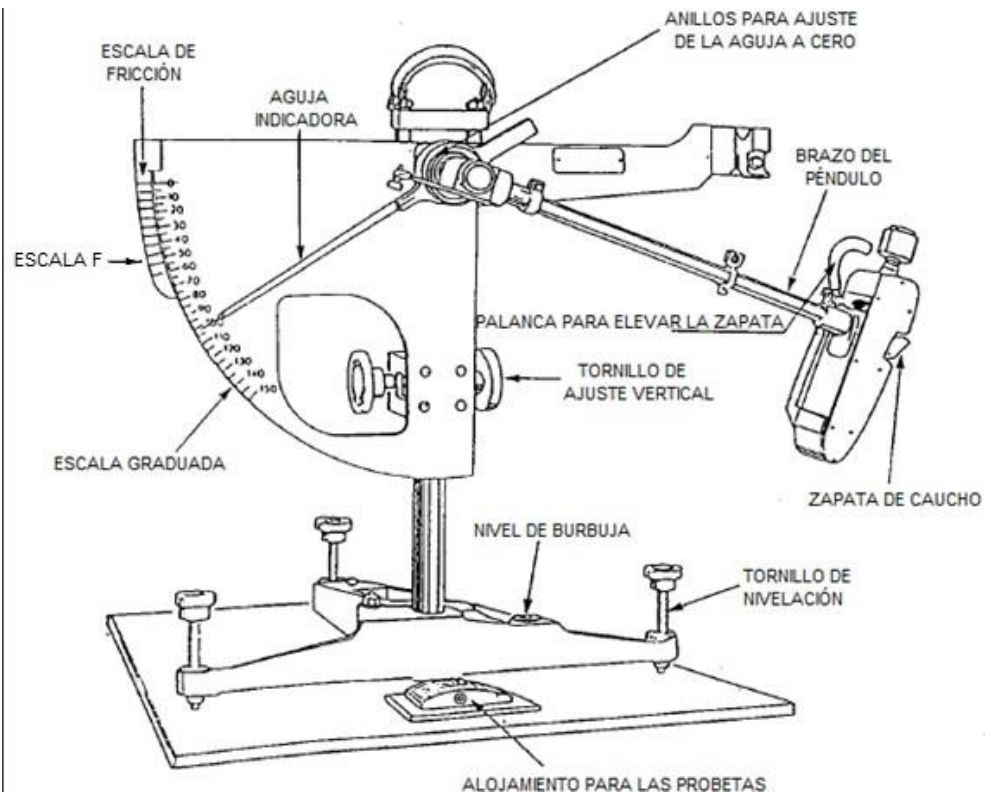


Figura 232 - 3. Péndulo de fricción

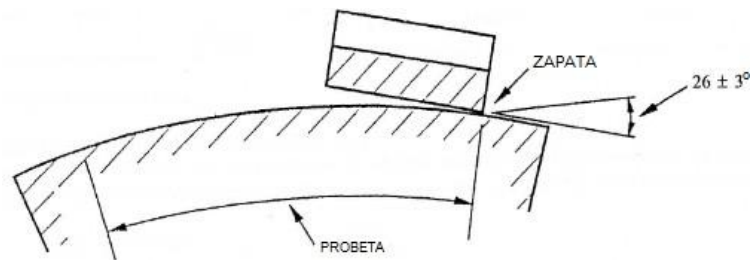


Figura 232 - 4. Posición de la zapata y la probeta

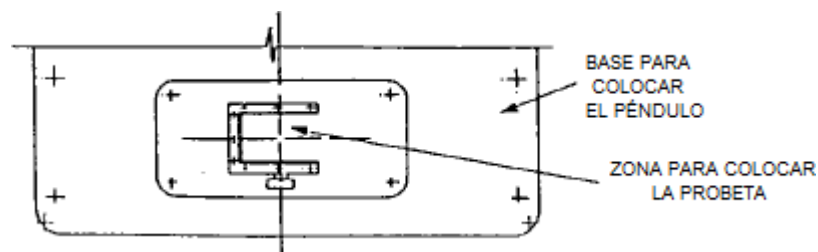


Figura 232 - 5. Dispositivo de fijación de las probetas desmontadas de la rueda porta-probetas

5 MATERIALES

- 5.1 Abrasivo grueso** – Esmeril granulado natural, cuya granulometría esté de acuerdo con la Tabla 232 - 2. Se deberá emplear una sola vez

Tabla 232 - 2. Granulometría del abrasivo grueso

ABERTURA TAMIZ μm	% PASA
600	98 – 100
500	70 – 100
425	30 – 90
355	0 – 30
300	0 - 5

- 5.2 Abrasivo fino** – Polvo de esmeril fino, separado por corriente de aire o por lavado con agua, que pase prácticamente en su totalidad por el tamiz de 50 μm (No. 270). Se deberá emplear una sola vez.

Nota 3: Por resultados previos, se considera adecuado un esmeril de corindón con las siguientes características: (1) contenido en $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 50\%$; (2) gravedad específica de partículas $\geq 3,5 \text{ g/cm}^3$; (3)

distribución granulométrica (por tamizado con chorro de aire) conforme con la Tabla 232 - 3.

Tabla 232 - 3. Granulometría del abrasivo fino

ABERTURA TAMIZ μm	% PASA
50	99 – 100
32	75 – 98
20	60 – 80

- 5.3 Piedra de referencia del coeficiente de pulimento acelerado (CPA)** – Proveniente de una fuente reconocida, con un CPA comprendido entre 50 y 60.

Nota 4: Hasta el momento, la única fuente reconocida de piedra de referencia del coeficiente CPA es un depósito de dolerita de cuarzo controlado por el Transport Research Laboratory. Se podrá emplear una fuente alternativa de piedra de referencia del coeficiente CPA, que tenga un CPA promedio comprendido entre 50 y 60, siempre que se haya determinado en un experimento controlado realizado por un mínimo de diez laboratorios, por medio de ensayos inter-laboratorios con la piedra de referencia tipo del TRL. Si hay divergencias, se deberá emplear la piedra tipo del TRL.

- 5.4** *Piedra de referencia del péndulo de fricción* – Proveniente de una fuente reconocida, para la preparación de zapatas nuevas y la verificación del péndulo, con un CPA comprendido entre 60 y 65.

Nota 5: Hasta el momento, la única fuente reconocida de piedra de referencia del péndulo de fricción, es un depósito de basalto de olivino, controlado por el Transport Research Laboratory. Se podrá emplear una fuente alternativa de piedra de referencia del péndulo de fricción, que tenga un CPA promedio comprendido entre 60 y 65, siempre que se haya determinado en un experimento controlado realizado por un mínimo de diez laboratorios, por medio de ensayos inter-laboratorios con la piedra de referencia tipo del TRL. Si hay divergencias, se deberá emplear la piedra tipo del TRL.

- 5.5** *Materiales para la preparación de las probetas de ensayo con mortero de resina* – Se necesitan los siguientes materiales y utensilios:

- 5.5.1** Agente desmoldante (puede servir una cera líquida para brillar automóviles).
- 5.5.2** Disolvente para limpieza de los equipos después de su empleo.
- 5.5.3** Resina sintética y endurecedor.
- 5.5.4** Vasos desechables u otros recipientes adecuados, para realizar la mezcla de la resina y el endurecedor.
- 5.5.5** Hojas de plástico flexible y transparente, hechas de materiales como acetato de polivinilo.
- 5.5.6** Moldes mecanizados con precisión para la preparación de las probetas con las dimensiones especificadas (Ver numeral 4.2).
- 5.5.7** Tapas metálicas rígidas (Figura 232 - 6) que tengan, cada una de ellas, una cara plana y la otra curvada con un radio de 189 ± 0.5 mm, para que se puedan ajustar al molde de ensayo de pulimento, y que sean un poco mayores que éste.
- 5.5.8** Dispositivos para mantener las tapas sobre el relleno de resina, por ejemplo, prensas de encolar o pesas.
- 5.5.9** Dos cepillos de pelo fino de unos 3 mm de diámetro.
- 5.5.10** Un cepillo de cerdas duras, de 80 a 100 mm de longitud.
- 5.5.11** Una espátula.

5.5.12 Pinzas de puntas rectas o curvas.

5.5.13 Agregado fino seco, que pase el tamiz de 300 μm (No. 50).

Nota 6: Se podrá añadir llenante a la resina para hacerla menos fluida. La resina se podrá añadir al molde en dos capas.

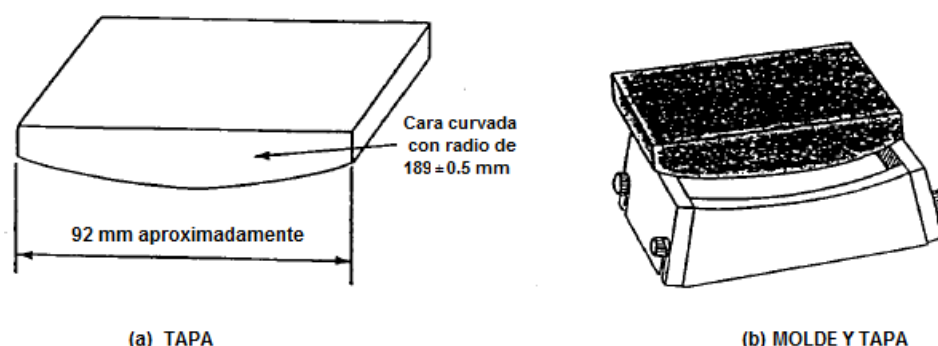


Figura 232 - 6. Molde y tapa para fabricar probetas con resina

6 PREPARACIÓN DE LOS AGREGADOS

6.1 *Preparación del agregado para ensayo* – La cantidad mínima de agregado necesaria para el ensayo de cada muestra será de 2 kg. El agregado a ensayar deberá ser gravilla limpia de polvo por lavado y secada en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$, con tamaño comprendido entre los tamices de 9.5 mm (3/8") y 6.3 mm (1/4"). Las partículas del agregado no podrán ser aplanadas (nota 7).

Nota 7: Una forma de eliminar las partículas aplanadas del agregado consiste en utilizar solamente el material retenido por la plantilla especial de aplanamiento o en el tamiz de barras de 6.3 mm de separación, empleados en la determinación del índice de aplanamiento (norma INV E-230).

6.1.1 El agregado a ensayar deberá ser una muestra representativa del material producido por la planta de trituración, ya que las gravillas que se trituran en el laboratorio pueden dar resultados altos y, por lo tanto, erróneos.

6.2 *Preparación de la piedra de referencia del coeficiente de pulimento acelerado (CPA)* – Empleando los métodos indicados en los numerales 6.1 y 6.1.1, se obtiene una masa de 1 kg de la piedra de referencia del CPA.

7 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

- 7.1** Operando en la forma que se describe a continuación, se preparan cuatro (4) probetas de cada muestra del agregado para ensayar, y otras cuatro (4) probetas piedra de referencia CPA. Cada probeta constará de entre 36 y 46 partículas del agregado preparado como se indica en la Sección 6.

Nota 8: La textura superficial de las partículas que se va a exponer a la acción de pulimento de la rueda con llanta de caucho deberá ser representativa de la textura superficial media del agregado. Las partículas de aspecto diferente se deberán distribuir de manera aleatoria entre las cuatro probetas. Los resultados obtenidos con materiales seleccionados de manera incorrecta darán resultados no satisfactorios.

- 7.2** Se recubren ligeramente las superficies internas expuestas y los bordes superiores de los moldes metálicos con el agente desmoldante, empleando uno de los cepillos de pelo fino. Se prepara cada probeta colocando cuidadosamente las partículas seleccionadas aleatoriamente en una única capa, con sus superficies más planas sobre el fondo del molde. Las partículas de piedra se colocarán una a una lo más próximas posible (ver Figura 232 - 2b), de forma de cubrir el fondo del molde lo más que se pueda. Una vez completado el fondo del molde con la capa de partículas del agregado así dispuestas, se deberán rellenar los intersticios entre las partículas hasta tres cuartas de su profundidad, con arena fina que pase el tamiz de 300 μm (No. 50). Se nivela con un cepillo fino y soplando ligeramente, a la vez que se verifica que no se altere la disposición de las partículas de agregado.

- 7.3** Se mezcla el endurecedor con la resina en el recipiente dispuesto para ello, siguiendo las instrucciones del fabricante. Se rellena el molde con resina mezclada hasta que desborde, y se remueve el exceso con la espátula, sin alterar la parte principal de la resina.

Nota 9: Como alternativa, se podrá retirar el exceso de resina cubriendo el molde con una hoja de plástico y presionando la tapa metálica sobre la hoja de plástico,

- 7.4** Cuando la resina comience a endurecer (normalmente a los 5 o 10 minutos), se recorta el exceso con el filo de una cuchilla. Se presiona la tapa metálica sobre la parte posterior de la probeta con una pinza o unas pesas, para evitar que se deforme al endurecerse. Se extrae la probeta del molde cuando la resina se haya endurecido y enfriado (normalmente, 30 minutos después de la mezcla). Se retira la arena suelta con el cepillo de cerdas rígidas. Cuando la resina se haya enfriado por completo, se esperan 30 minutos antes de proceder al pulido de la probeta, según la Sección 9. Se limpian los moldes y utensilios utilizados.

- 7.5** Se comprueba que cada probeta terminada presente a la rueda con llanta de caucho la superficie natural de las partículas, sin bordes salientes cortantes. Se comprueba que el espesor de la probeta sea superior a 12.5 mm ($\frac{1}{2}$ "). Se deberá rechazar cualquier probeta con resina expuesta en la superficie o con partículas descolocadas.

Nota 10: Las superficies expuestas de las probetas deberán sobresalir del relleno de resina.

8 PREPARACIÓN DE LAS RUEDAS CON LLANTAS DE CAUCHO

- 8.1** Cuando se trate de ruedas nuevas, antes de ser utilizadas en un ensayo, se efectuará una prueba preliminar utilizando el abrasivo apropiado. Para ello, se emplea la rueda con llanta de caucho nueva como en un ensayo real (Ver Sección 9), pero colocando en la rueda porta-probetas doce (12) probetas de reserva y dos (2) de la piedra de referencia CPA no pulimentadas.

Nota 11: Se podrán emplear como probetas de reserva las probetas empleadas en ensayos anteriores.

- 8.2** A continuación del pulimento acelerado de las probetas, se someten las probetas de la piedra de referencia al ensayo de fricción, de acuerdo con la Sección 10 y se anota el coeficiente promedio obtenido. Este valor se deberá encontrar dentro de los límites especificados de CPA para la piedra de referencia empleada. Si este coeficiente medio de fricción es mayor que el límite superior, se deberán efectuar más ensayos de prueba utilizando nuevas probetas de la piedra de referencia. En caso de que el resultado medio de fricción haya sido menor al límite inferior especificado, o si la diferencia entre los dos ensayos es superior a 5, la nueva rueda con llanta de caucho no se podrá emplear para la ejecución de los ensayos.

9 PULIMENTO ACELERADO DE LAS PROBETAS

- 9.1** El ensayo de pulimento acelerado se debe realizar a una temperatura ambiente de $20 \pm 5^\circ \text{C}$.
- 9.2** Las 14 probetas empleadas en cada prueba se deberán numerar como sigue:

Dos probetas del primer agregado	Numeradas 1 y 2
Dos probetas del segundo agregado	Numeradas 3 y 4
Dos probetas del tercer agregado	Numeradas 5 y 6
Dos probetas del cuarto agregado	Numeradas 7 y 8
Dos probetas del quinto agregado	Numeradas 9 y 10

Dos probetas del sexto agregado

Numeradas 11 y 12

Dos probetas con la piedra de referencia CPA

Numeradas 13 y 14

- 9.3** Las probetas se deben ordenar de la siguiente manera: 13, 9, 3, 7, 5, 1, 11, 14, 10, 4, 8, 6, 2, 12.

Nota 12: Se podrán colocar probetas de reserva para completar la rueda si no se van a ensayar seis agregados

- 9.4** Se fijan las 14 probetas en el orden recién indicado en la periferia de la rueda porta–probetas. Las probetas se deben marcar de modo que se pueda determinar posteriormente la dirección de giro de la rueda (Ver numeral 10.3). La superficie de ensayo de las probetas deberá formar una banda continua de partículas con una periferia de 406 ± 3 mm de diámetro, sobre la que la rueda con llanta de caucho pueda rodar libremente, sin sacudidas ni deslizamientos. Cualquier posible hueco entre las probetas se cubrirá con una pieza de relleno adecuada, nivelando con la superficie de las probetas contiguas. Se instala la rueda porta–probetas en la máquina de pulimento acelerado (Figura 232 - 7).

- 9.5** Se pone en movimiento la rueda porta–probetas, hasta que alcance una velocidad de 33 a 34 rad/s ($320 \text{ rpm} \pm 5 \text{ rpm}$) y se lleva la rueda con llanta de caucho de color oscuro (grueso) hasta que se apoye sobre la superficie de las probetas. Se alimenta el esmeril granulado a un ritmo de 27 ± 7 g/min, con agua, sobre la rueda porta-probetas, durante 180 ± 1 min. El caudal de agua debe ser suficiente para hacer llegar el esmeril granulado a la rueda. La prueba debe interrumpir a los 60 ± 5 min y a los 120 ± 5 min, para limpiar el exceso de esmeril granulado que se haya acumulado en la base. Transcurridos los 180 ± 1 min, se desmonta la rueda porta–probetas de la máquina. Se lavan y limpian a fondo la máquina y las probetas para eliminar cualquier resto de esmeril granulado.

Nota 13: En condiciones normales, el caudal de agua es, aproximadamente, el mismo que el del grano de esmeril.

Nota 14: Es importante que el esmeril granulado no se ponga en contacto con la llanta de caucho de color claro (fino).



Figura 232 - 7. Instalación de la rueda porta-probetas

- 9.6** Se ajusta la rueda con llanta de caucho de color claro (fino) y el dispositivo de alimentación de polvo de esmeril. Se vuelve a montar la rueda porta-probetas y se hace funcionar la máquina durante otros 180 ± 1 min, como en el numeral 9.5, pero sin hacer interrupciones. El polvo de esmeril se alimenta de manera continua a un ritmo de 3.0 ± 1 g/min, acompañado de agua a un caudal doble del ritmo de alimentación del polvo de esmeril ± 1 g/min.

Nota 15: Las ruedas con llantas de caucho solo deben estar bajo carga cuando están girando pues, de lo contrario, se pueden deformar.

- 9.7** Las ruedas con llantas de caucho se deben sustituir cuando se observe un desgaste no uniforme o cualquier otro deterioro, o cuando el coeficiente de la piedra de referencia no caiga dentro del intervalo especificado para él. Las ruedas de repuesto con llantas de caucho se deben preparar como se especifica en la Sección 8.

Nota 16: La experiencia muestra que la sustitución de las ruedas puede ser necesaria cada 25 pruebas, especialmente la rueda con llanta de caucho de color oscuro (grueso) empleada con el esmeril granulado.

- 9.8** Finalizada la operación de pulimento, se desmota la rueda porta-probetas y se limpia la máquina. Se desmontan las probetas de la rueda y se lavan a fondo con un chorro de agua, para eliminar todo resto de polvo de esmeril. Se limpian los intersticios entre las partículas de piedra, con ayuda del cepillo de cerdas.

Nota 17: Los restos de polvo de esmeril sobre las partículas del agregado o entre ellas, alteran los resultados de los ensayos de fricción (CPA).

- 9.9** Tras el lavado, se guardan las probetas boca abajo, sumergidas en agua a una temperatura de $20 \pm 2^\circ \text{C}$ ($68 \pm 4^\circ \text{F}$), durante un lapso de 30 a 120 min. Transcurrido este tiempo, se extraen del agua y se realiza inmediatamente el ensayo de fricción, según lo indicado en la Sección 10. No se debe dejar que las probetas se sequen antes del ensayo.
- 9.10** Se repite el procedimiento completo (numerales 9.1 a 9.9) con las dos probetas restantes de cada agregado que se está ensayando y del agregado de referencia (Ver Sección 7).

10 PROCEDIMIENTO OPERATORIO CON EL PÉNDULO DE FRICCIÓN

- 10.1** Se mantienen el péndulo y la zapata en un recinto de trabajo en el que la temperatura esté controlada a $20 \pm 2^\circ \text{C}$, por lo menos desde 2 horas antes del comienzo del ensayo y durante el proceso del mismo.
- 10.2** Se coloca el péndulo sobre una superficie firme y nivelada y se ajustan seguidamente los tornillos de nivelación de forma que la columna quede en posición vertical. A continuación, se eleva el eje de suspensión del péndulo hasta que el brazo oscile libremente y se ajusta la fricción en el mecanismo de la aguja indicadora, de manera que ésta se apoye sobre el cero en la escala de ensayo cuando el brazo del péndulo y la aguja indicadora sean liberados de su posición horizontal derecha. Se comprueba que el recorrido de la zapata sea paralelo a la dimensión mayor de la probeta en todo el recorrido de deslizamiento.
- 10.3** La probeta a ensayar se sujeta firmemente en dispositivo de sujeción descrito en el numeral 4.4.2 (Figura 232 - 8). Para realizar las medidas de fricción, la probeta se debe situar de manera que la zapata del péndulo la recorra en sentido opuesto al sentido de rotación que tenía en la rueda porta-probetas.

Nota 18: Por ejemplo, si la marca (ver numeral 9.4) se encuentra en el lado de la probeta más alejado del operario durante la operación de pulimento, se deberá encontrar en el lado más cercano a él durante el ensayo de fricción.



Figura 232 - 8. Probeta colocada en el dispositivo de sujeción

- 10.4** Se ajusta la altura del brazo del péndulo de forma que al pasar la zapata de caucho sobre la probeta entre en contacto con ella en todo el ancho de la zapata y a lo largo de $76 \pm 1\text{mm}$ de longitud, tan exactamente como se pueda comprobar visualmente. El ajuste se debe mantener durante todas las medidas de fricción de la probeta.
- 10.5** Previamente a la realización de las medidas de fricción, la superficie de las probetas y la arista de la zapata se mojan con abundante agua limpia, a una temperatura de $20 \pm 5^\circ\text{C}$, procurando no descolocar la zapata de su posición correcta. Se liberan el brazo del péndulo y la aguja indicadora de su posición horizontal y se anota el número entero más próximo a la posición donde la aguja indicadora se apoye sobre la escala F. Se devuelve la aguja indicadora a la posición horizontal. Esta operación se realiza cinco veces, volviendo a humedecer la probeta y la zapata cada vez. Se anota el promedio de las tres últimas lecturas, redondeadas a la décima (0.1).
- 10.6** Se ensayan siete probetas en el siguiente orden: 13, 1, 10, 3, 5, 12 y 8. Se invierte la zapata y se usa su segundo borde de ataque para ensayar las otras siete probetas en el siguiente orden: 7, 11, 6, 4, 9, 2 y 14.
- 10.7** Se repite el procedimiento de ensayo completo (pasos 10.1 a 10.6) con las probetas restantes.

11 CÁLCULOS

- 11.1** Se calcula el promedio de los coeficientes de pulimento registrados de las dos probetas de la piedra de referencia del CPA de cada prueba de ensayo, redondeado a 0.1.

- 11.2** Se deben rechazar los resultados del ensayo completo si la diferencia entre los dos resultados de ensayo obtenidos en el numeral 11.1 es superior a 5.0 unidades, o si uno de ellos cae por fuera del intervalo especificado para el agregado de referencia empleado. Si se rechazan estos resultados, se debe repetir el ensayo completo.

Nota 19: El intervalo especificado para la piedra de referencia del CPA tipo TRL es 49.5 – 55.5.

- 11.3** Para las pruebas de ensayo satisfactorias (que no sean rechazadas según el criterio del numeral 11.2), se calcula el coeficiente de pulimento acelerado (CPA) de cada agregado, según se indica en los numerales 11.3.1 a 11.3.3.

11.3.1 Se calcula el valor medio “S” de los valores anotados de las cuatro probetas del agregado (dos en cada prueba), sumando el promedio de cada ensayo y dividiendo por 2. Se anota el resultado redondeado a la décima.

11.3.2 Se calcula el valor medio “C” de los valores anotados de las cuatro probetas de la piedra de referencia del CPA (dos en cada prueba), sumando el promedio de cada ensayo y dividiendo por 2. Se anota el resultado redondeado a la décima.

11.3.3 Se calcula el coeficiente CPA, redondeado al entero más próximo, a partir de la ecuación:

$$CPA = S + X_m - C \quad [232.1]$$

Donde: S: Valor medio de los valores obtenidos con las cuatro probetas de agregado;

X_m : Valor medio aceptado de la piedra de referencia. Si se emplea la piedra de referencia del CPA tipo TRL, este valor es 52.5;

C: Valor medio de los valores obtenidos con las cuatro probetas de la piedra de referencia del CPA.

12 INFORME

- 12.1** El informe deberá indicar que el CPA se ha determinado de acuerdo con esta norma. Además, deberá contener:

- 12.2** El reporte sobre la toma de las muestras, si se dispone de él.
- 12.3** La identificación visual de la muestra, según la norma INV E–102.
- 12.4** Presencia de partículas de aspecto diferente al promedio y proporción de ellas.
- 12.5** El coeficiente de pulimento acelerado (CPA) del agregado.
- 12.6** El valor medio global obtenido para el agregado de referencia CPA (ver numeral 5.3).
- 12.7** Los valores individuales y promedios de cada serie de ensayos de las cuatro probetas del agregado y las cuatro probetas de referencia, con indicación clara de la prueba de ensayo con la cual se obtuvo cada valor
- 12.8** Las características de los abrasivos empleados, las condiciones de las llantas macizas de caucho, y cualquier otro dato que pueda ser de importancia para la adecuada interpretación de los resultados.

13 NORMAS DE REFERENCIA

UNE–EN 1097-8 Julio 2000

ANEXO A (Aplicación obligatoria)

DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE ABRASIÓN DEL AGREGADO (AAV)

A.1 Generalidades:

- A.1.1** Este anexo especifica un método para la determinación del coeficiente de abrasión del agregado (AAV), que da una medida de su resistencia al desgaste superficial por la acción de la abrasión producida por el tránsito rodado.

A.2 *Fundamento del método:*

- A.2.1** Se seleccionan dos probetas de una muestra de ensayo. Las partículas se colocan en la orientación adecuada y se embeben en resina; a continuación, se fijan en contacto con una muela pulidora que gira en un plano horizontal. Se cargan las probetas y se alimenta continuamente un agregado fino abrasivo (arena) a través de las superficies en contacto de la probeta y la muela pulidora, durante un número de vueltas especificado.
- A.2.2** El coeficiente AAV se determina a partir de la diferencia entre las masas de las probetas antes y después de la abrasión. El ensayo se realiza con un agregado que pase el tamiz de 12.7 mm ($\frac{1}{2}$ ") y que quede retenido en el tamiz de 9.5 mm ($\frac{3}{8}$ ").
- A.2.3** La densidad SSS de las partículas (saturada y superficialmente seca) de la muestra de laboratorio se determinará de acuerdo con la norma INV E-223.

A.3 *Muestreo:*

- A.3.1** El muestreo se debe realizar según se establece en la Sección 6 de esta norma.

A.4 *Materiales:*

- A.4.1** *Abrasivo* – Compuesto de agregado fino de sílice granulado redondeado (arena), con un contenido mínimo en cuarzo de 96 %. Todo el agregado fino (arena) deberá pasar el tamiz de 850 μ m (No.20) y deberá quedar retenido en el tamiz de 300 μ m (No. 50). Además, un mínimo de 75 % del agregado fino (arena) deberá pasar el tamiz de ensayo de 600 μ m (No. 30) y deberá quedar retenido en el tamiz de 425 μ m (No. 40). El agregado fino deberá estar seco y no deberá haber sido utilizado anteriormente.

Nota A.1: Se necesitan unos 30 kg de arena para cada ensayo.

- A.4.2** *Resina sintética y endurecedor* – Junto con un agente desmoldante, como cera líquida para automóviles o un líquido limpiador adecuado, y un recipiente para el mezclado de la resina.

Nota A.2: El líquido limpiador se debe emplear para limpiar los moldes, utensilios, etc., según sea necesario.

Nota A.3: Se podrá añadir llenante a la resina para hacerla menos fluida. La resina se podrá añadir a los moldes en dos capas.

A.4.3 *Arena* – Para impedir que la resina salga a presión entre las partículas de agregado.

Nota A.4: Resulta adecuada una arena que pase el tamiz de ensayo de 300 μm (No. 50).

A.5 *Equipo:*

A.5.1 *Máquina de abrasión (Figura 232A - 1)* – Compuesta de una muela pulidora circular de acero o de hierro colado, con un diámetro mínimo de 600 mm, que pueda girar en un plano horizontal a una velocidad comprendida entre 28 y 31 rpm. La máquina de abrasión deberá estar equipada con un contador de revoluciones y los accesorios detallados en los apartados A.5.1.1 a A.5.1.6.



Figura 232A - 1. Máquina de abrasión

A.5.1.1 Un mínimo de dos moldes metálicos mecanizados para la preparación de probetas, con extremos desmontables y unas dimensiones interiores de $92.0 \pm 0.1\text{mm}$ de largo, $54.0 \pm 0.1\text{mm}$ de ancho y $16.0 \pm 0.1\text{mm}$ de fondo.

Nota A.5: Algunas resinas se contraen longitudinal y transversalmente unos 0.5 mm para una probeta de estas dimensiones. Si se emplea resina que no encoge, estas dimensiones se disminuirán en 0.5 mm.

A.5.1.2 Un mínimo de dos bandejas metálicas mecanizadas o placas de apoyo metálicas, para dar soporte a las probetas preparadas.

Nota A.6: Son adecuadas las bandejas hechas de plancha de acero suave de 5 mm, con unas dimensiones interiores de 92.0 ± 0.1 mm de largo, 54.0 ± 0.1 mm de ancho y 8.0 ± 0.1 mm de fondo.

A.5.1.3 Un mínimo de dos planchas planas mecanizadas hechas de plancha de acero suave de 5 mm, de 115 ± 0.1 mm de largo y 75 ± 0.1 mm de ancho.

A.5.1.4 Un dispositivo para la colocación de dos bandejas (o probetas con placas de apoyo) con sus puntos centrales a 260 mm del centro de la muela pulidora diametralmente opuestas, y con sus dimensiones mayores apoyadas en la dirección del giro de la muela pulidora. Las bandejas se deberán poder mover libremente en un plano vertical, pero no en un plano horizontal.

A.5.1.5 Dos pesas, con la base redondeada para presionar la probeta contra la superficie de la muela pulidora y con un dispositivo de ajuste de la masa a 2000 ± 10 g, bandeja y probeta incluidas.

A.5.1.6 Un dispositivo para la alimentación continua de arena en la muela pulidora, frente a cada probeta, a un ritmo de 800 ± 100 g/min, y para extraer el agregado fino una vez que haya pasado por las muestras de ensayo.

Nota A.7: La realización habitual de ensayos con agregados de gran dureza puede rayar visiblemente la superficie mecanizada de la muela pulidora. Se debe inspeccionar la superficie después de cada prueba de ensayo y se debe proceder al rectificado de las ranuras de más de 0.2 mm de profundidad.

A.5.2 *Tamices de ensayo* – Con aberturas cuadradas de tamaño 12.5 mm ($\frac{1}{2}$ "), 850 μ m (No. 20), 600 μ m (No. 30), 425 μ m (No. 40) y 300 μ m (No. 50).

Nota A.8: Sólo será necesario emplear los tamices de tela metálica si hay que verificar la granulometría del agregado fino abrasivo.

A.5.3 *Tamiz de barras* – Con una separación de barras de 9.5 ± 0.15 mm.

Nota A.9: Se podrá emplear un tamiz de clasificación de partículas aplanadas con ranuras de 9.5 ± 0.15 mm de ancho y de 40 ± 1 mm de largo.

A.5.4 *Balanza* – Con una capacidad mínima de 2.5 kg, y una legibilidad de 0.1 g.

A.5.5 *Dos cepillos pequeños de pelo fino.*

A.5.6 *Cepillo* – De cerdas rígidas.

A.5.7 *Dispositivo de fijación* – Por ejemplo, prensa de encolar de 200 mm.

A.6 *Preparación de las probetas:*

A.6.1 *Muestra de ensayo* – Se reduce la muestra de laboratorio siguiendo los procedimientos especificados en la norma INV E-202 y se tamiza para obtener una muestra de ensayo compuesta de agregado que pase el tamiz de 12.5 mm ($\frac{1}{2}$ ") y que quede retenido en el tamiz de barras. La masa de la muestra de ensayo deberá ser suficiente para la preparación de dos probetas, tal como se especifica en el numeral

A.6.2. Tras el tamizado, el agregado se lava para eliminar el polvo superficial y se deja secar superficialmente al aire. El agregado se debe ensayar con la superficie seca y deberá estar a temperatura ambiente antes de la preparación de la muestra de ensayo, tal como se especifica en el numeral A.6.2.

A.6.2 *Probetas:*

A.6.2.1 Se preparan dos probetas para cada ensayo.

A.6.2.2 Se aplica una película ligera de agente desmoldante a las caras interiores y a los bordes posteriores del molde, con un cepillo de pelo fino.

A.6.2.3 Se selecciona el mayor número posible de partículas de la muestra de ensayo, nunca menos de 24, y se colocan en el molde en una sola capa, con su superficie más plana sobre el fondo del molde.

Nota A.10: La textura superficial de las partículas que se van a exponer a la acción abrasiva debe ser representativa de la textura superficial media del agregado. Las partículas de diferente aspecto se deben distribuir aleatoriamente entre las dos

probetas. Los resultados obtenidos con probetas incorrectamente seleccionadas darán resultados no representativos.

- A.6.2.4** Se rellenan los intersticios entre las partículas de agregado hasta aproximadamente tres cuartos de su profundidad con agregado fino y se nivela dicho agregado con el otro cepillo de pelo fino. Se mezcla suficiente resina y endurecedor y se rellena el molde hasta que rebose.
- A.6.2.5** Se aplica una película de agente desmoldante a uno de los lados de la plancha plana y se coloca firmemente en el molde, con el lado al que se ha aplicado el agente desmoldante hacia abajo. Se mantiene la plancha en esa posición con el dispositivo de fijación. Cuando se haya endurecido la resina (normalmente, a los 30 min), se quita la plancha y se recorta el exceso de resina con una cuchilla o una espátula.
- A.6.2.6** Se saca la probeta del molde, y se quita la arena suelta con el cepillo de cerdas rígidas. Se pesa la probeta, redondeando a la décima de gramo (masa A). Se descarta cualquier probeta que presente resina expuesta en la superficie o partículas desplazadas.

A.7 Procedimiento:

- A.7.1** Se ajusta cada probeta en una de las bandejas metálicas o placas de apoyo metálicas mecanizadas, poniendo cuidado para asegurar un ajuste firme. Se pesa una probeta en su bandeja con una de las pesas y se ajusta la masa hasta que totalice 2000 ± 10 g. Se repiten las mismas operaciones para la segunda probeta, la bandeja o placa de apoyo y se pesa.

Nota A.11: La abrasión del agregado durante el procedimiento descrito en este anexo puede generar partículas que podrían ser perjudiciales para la salud. Es muy importante adoptar las medidas de protección adecuadas, como el empleo de máscaras antipolvo y/o extractores de polvo.

- A.7.2** Se colocan las dos probetas en la máquina de abrasión con las partículas de agregado apoyadas sobre la muela pulidora en toda la superficie. A continuación, se colocan las pesas adecuadas, centradas sobre las probetas.
- A.7.3** Se hace girar la muela pulidora 500 vueltas a una velocidad entre 28 y 31 rpm. Se alimenta continuamente el agregado fino sobre la muela

pulidora, justo frente a cada probeta, en todo su ancho, con un ritmo de 800 ± 100 g/min para cada probeta.

Nota A.12: Se podrá emplear una ranura de alimentación de 1.3 mm de ancho.

- A.7.4** Para asegurar la alimentación del agregado fino debajo de las probetas, se levantan y separan de la muela pulidora durante una vuelta, antes del inicio de la abrasión, y cada 100 revoluciones. Se quita el agregado fino con una cuchilla rebordeada de caucho, montada de modo que el borde de caucho descansa ligeramente sobre la muela pulidora en todo su ancho, y se desecha el agregado fino.
- A.7.5** Si se observa que la abrasión ha alcanzado al relleno de resina, por el tipo de agregado, se interrumpe el ensayo y se anota que número de vueltas.
- A.7.6** Tras 500 vueltas, se quita la probeta de la máquina y se quitan las bandejas o placas de apoyo y las pesas. Se pesan las probetas, redondeando a la décima de gramo más próxima (masa B).

A.8 Cálculos:

- A.8.1** Se calcula el coeficiente AAV de cada probeta, con tres cifras significativas, a partir de la siguiente ecuación:

$$AAV = \frac{3(A - B)}{\rho_{ssd}} \quad [232.2]$$

Donde: A: Masa de la probeta antes de la abrasión, g;

B: Masa de la probeta después de la abrasión, g;

ρ_{ssd} : Densidad SSS de las partículas del agregado, Mg/m³.

Nota A.13: El cálculo se basa en el porcentaje de pérdida de masa de un volumen de agregado de 33 ml. Por esta hipótesis, el AAV se expresa como una magnitud sin dimensiones.

- A.8.2** Se calcula la media de los dos resultados, con dos cifras significativas.
- A.8.3** Se anota el promedio como AAV, salvo si los resultados individuales difieren en más de 0.2 veces el valor del promedio. En este caso, se repite el ensayo con las otras dos probetas, se calcula el promedio de

los cuatro resultados con dos cifras significativas, y se anota el promedio como AAV.

- A.8.4** La media de los cuatro resultados se calcula excluyendo los valores máximo y mínimo y calculando la media de los dos valores centrales.

A.9 *Informe:*

- A.9.1** El informe del ensayo deberá declarar que el AAV ha sido determinado de acuerdo con esta norma. Además, deberá incluir al menos la siguiente información complementaria:

A.9.1.1 El número de esta norma.

A.9.1.2 El coeficiente de abrasión del agregado, (AAV).

A.9.1.3 Los valores obtenidos con las dos (o cuatro) probetas individuales.

ANEXO B **(Aplicación obligatoria)**

CONTROL DE MATERIALES

B.1 *Grano de esmeril y polvo de esmeril:*

- B.1.1** Se debe comprobar la distribución granulométrica de cada lote recibido de grano de esmeril (Ver numeral 5.1) y del polvo de esmeril (Ver numeral 5.2) antes de su utilización.

Nota B.1: No será necesaria esta verificación si se dispone de certificado del fabricante o proveedor del agregado que acredite la conformidad de estos materiales.

ANEXO C **(Aplicación obligatoria)**

CALIBRACIÓN DE LA MÁQUINA DE PULIMENTO ACELERADO

C.1 *Control de las ruedas con llantas de caucho:*

- C.1.1** Se deben verificar la dureza y las dimensiones de las ruedas con llantas de caucho (Ver numeral 4.1.3). El certificado de conformidad deberá declarar la fecha de fabricación de la llanta de caucho.

Nota C.1: No será necesaria la verificación si se dispone del certificado del fabricante o proveedor de las ruedas que acrediten su conformidad.

- C.1.2** Las ruedas con llantas de caucho se deben conservar en un lugar oscuro a una temperatura de $20 \pm 5^\circ \text{C}$. Si no se pueden conseguir estas condiciones de conservación, se debe verificar anualmente la conformidad de la dureza respecto de los criterios iniciales de dureza (Ver numeral C.1.1). Se deben descartar para su empleo, pasados dos años a partir de la fecha de fabricación.

- C.1.3** Si una llanta de caucho se ha conservado por debajo de 15°C antes de su entrega al laboratorio, el caucho se debe acondicionar elevando su temperatura a $30 \pm 2^\circ \text{C}$ durante un mínimo de 24 h antes de su utilización.

- C.1.4** Se deben comprobar anualmente las dimensiones de cada rueda con llanta de caucho (Ver numeral 4.1.3).

C.2 *Máquina de pulimento acelerado:*

- C.2.1** Cada seis meses, se debe comprobar el indicador de caudal de agua.
- C.2.2** Anualmente, se debe verificar la velocidad de giro de la rueda porta-probetas en las condiciones de ensayo (Ver numeral 4.1.2).
- C.2.3** Anualmente, se debe verificar la fuerza libre aplicada a la rueda porta-probetas por cada rueda con llanta de caucho (Ver numeral 4.1.4).
- C.2.4** Anualmente, se debe verificar el alineamiento de la rueda porta-probetas respecto de cada rueda con caucho (Ver numeral 4.1.4).

Nota C.2: Los requisitos se pueden comprobar empleando una plantilla alargada muescada de acero (Ver Figura 232C - 1), con las dimensiones adecuadas a la configuración de las ruedas de la máquina de pulimento acelerado.

C.3 *Caudal del grano de esmeril y del polvo de esmeril:*

- C.3.1** Al inicio de cada prueba de pulimento, se debe verificar el caudal del grano de esmeril (Ver numeral 9.5) y del polvo de esmeril (Ver numeral 9.6).

Nota C.3: Las medidas indicadas en la Figura 232C - 1 son de carácter ilustrativo. Las medidas reales dependerán del tipo de equipo empleado.

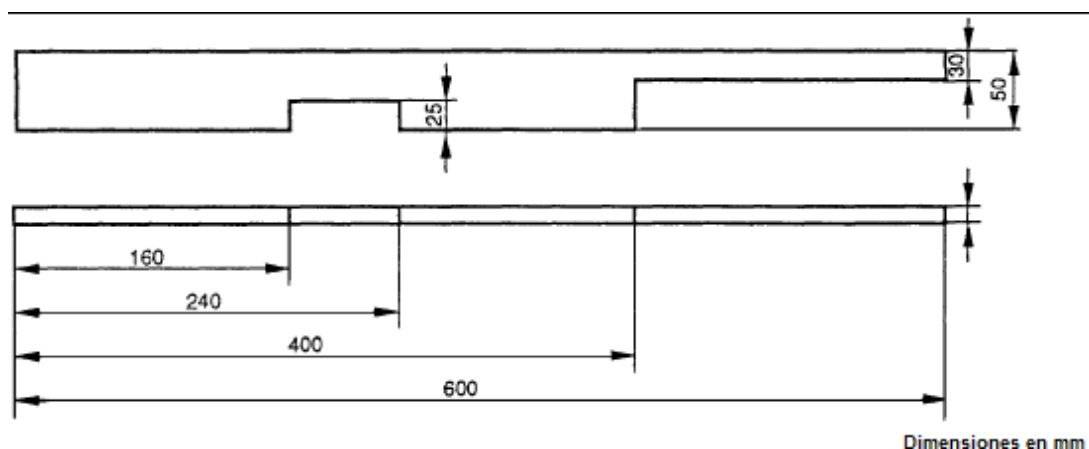


Figura 232C - 1. Plantilla alargada muescada de acero típica

ANEXO D (Aplicación obligatoria)

CALIBRACIÓN DEL PÉNDULO Y DE LAS ZAPATAS DE FRICCIÓN

D.1 Péndulo de fricción:

D.1.1 Generalidades:

D.1.1.1 El péndulo de fricción se debe calibrar anualmente en un laboratorio de calibración reconocido, de acuerdo con el procedimiento especificado en los apartados D.1.2 a D.1.5.

D.1.2 Masa del brazo del péndulo y de la aguja indicadora:

D.1.2.1 Se desmontan el brazo del péndulo y la aguja indicadora.

D.1.2.2 Se pesa la aguja indicadora y se redondea la lectura al gramo más próximo, Se mide su longitud y se redondea al milímetro más cercano; se comprueba que no esté doblada ni deformada.

D.1.2.3 Se pesa el conjunto completo del brazo del péndulo, redondeando a los 5 g más cercanos.

D.1.3 *Equilibrado del conjunto del brazo del péndulo:*

- D.1.3.1** Se hace oscilar el brazo del péndulo sobre el filo de un chuchillo con la tuerca de adaptación en su posición extrema.
- D.1.3.2** Con la zapata en posición horizontal, se ajusta el contrapeso del borde de arrastre del conjunto hasta que esté equilibrado con respecto al brazo del péndulo.
- D.1.3.3** Se mide la distancia entre el centro de oscilación y el centro de gravedad del brazo del péndulo, redondeando al mm más cercano.

D.1.4 *Ajuste de la tensión del muelle:*

- D.1.4.1** Se desmonta la pequeña placa de retención situada en el asa de elevación de la zapata.
- D.1.4.2** Con la zapata invertida, se suspende una carga equivalente a 22.2 N a partir del eje.
- D.1.4.3** Se ajusta la tensión del muelle hasta que el asa de elevación esté en su posición central. El movimiento completo de la zapata (paralelo al brazo del péndulo) cuando se emplee el asa de elevación deberá ser, al menos, de 6.5 mm.
- D.1.4.4** El cambio de la fuerza estática sobre la zapata se comprueba añadiendo y quitando pesos a la carga aplicada y midiendo la deflexión de la zapata a cada incremento de la carga.

Nota D.1: Se consideran adecuados incrementos de 20 g.

- D.1.4.5** El movimiento completo de la zapata (deflexión) deberá ser, al menos, 11 mm.

D.1.5 *Ajuste del punto de parada de la aguja indicadora:*

- D.1.5.1** Se ajusta el punto de parada de la aguja indicadora, de manera que la línea central de la aguja indicadora sea paralela al brazo del péndulo en posición vertical, con el péndulo de fricción montado y nivelado.

D.2 Control de las zapatas y del caucho de las zapatas:

- D.2.1** La resiliencia y la dureza del caucho de la zapata se deberán verificar según los criterios especificados en la Tabla 232 - 1. El certificado de conformidad deberá incluir, también, la fecha de fabricación.

Nota D.2: No será necesaria la verificación, si se dispone de certificado del fabricante o proveedor que acredite la conformidad de tales materiales.

Nota D.3: Si fuese necesario verificar la resiliencia del caucho, se debe tener en cuenta que el ensayo por rebote de Lüpke no es adecuado para el ensayo de las placas de caucho. Una alternativa adecuada es el ensayo especificado en la norma Internacional ISO 4662.

- D.2.2** Las zapatas y las placas de caucho se deberán guardar en un lugar oscuro a una temperatura de $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$, y se debe anotar la fecha del primer uso de cada zapata.

- D.2.3** Antes de cada uso del péndulo de fricción, se debe comprobar el ángulo del plano de la zapata (Ver Figura 232 - 4).

Nota D.4: Una plantilla metálica angular es un medio adecuado para esta comprobación.

- D.2.4** Las zapatas no se deben emplear por más de un año desde su primera utilización, salvo si se confirma que siguen cumpliendo los criterios especificados en la Tabla 232 - 1. Se debe descartar toda zapata con los bordes de ataque rayados o redondeados en exceso.