

Adoquines de hormigón para pavimentos intertrabados

Requisitos y métodos de ensayo IRAM 11656 - ABRIL 2018

EXTRACTO

5 REQUISITOS FÍSICOS

5.1 Geométricos

5.1.1 Medidas

5.1.1.1 Largo. El largo nominal (l_n) de los adoquines debe ser como mínimo de 50 mm y como máximo de 250 mm.

NOTA 3. En 5.1.1.1 se especifica un largo nominal mínimo de 50 mm, éste solo se da en unidades pequeñas pertenecientes a sistemas de adoquines como el clásico (ver figura 3I). Generalmente, el largo nominal de un adoquín está comprendido entre 100 mm y 200 mm.

5.1.1.2 Ancho. El ancho nominal (a_n) de los adoquines debe ser como mínimo de 50 mm.

NOTA 4. En 5.1.1.2 se especifica un ancho nominal mínimo de 50 mm, éste sólo se da en unidades pequeñas pertenecientes a sistemas de adoquines, como el clásico (ver figura 3I). Generalmente el ancho nominal de un adoquín es de 80 mm aproximadamente.

5.1.1.3 Espesor. El espesor estándar (e_e) de los adoquines debe ser como mínimo de 60 mm.

NOTA 5. El conjunto de adoquines con espesores estándares menores que 60 mm, colocados sobre una capa de arena, no constituye un pavimento intertrabado por no generarse una trabazón cerrada entre ellos. Sin embargo, los pisos construidos con estos adoquines son aptos para uso peatonal.

5.1.2 Relación entre las medidas

5.1.2.1 La relación entre el largo nominal (l_n) y el ancho nominal (a_n) de los adoquines no debe ser mayor que 4.

5.1.2.2 La relación entre el largo nominal (l_n) y el espesor estándar (e_e) de los adoquines no debe ser mayor que 4. Este requisito no se aplica a las unidades complementarias o especiales.

5.1.3 Tolerancias

5.1.3.1 Las cuatro medidas del espesor real (e_r), tomadas para cada probeta de la muestra, no deben diferir en más de 3 mm.

5.1.3.2 Tanto el largo real promedio (\bar{l}_r) como el ancho real promedio (\bar{e}_r) para cada probeta de la muestra, no deben diferir del largo estándar (l_e) y del ancho estándar (a_e) en ± 2 mm respectivamente.

5.1.3.3 En los adoquines, el espesor real promedio (\bar{e}_r) para cada probeta de la muestra, no debe diferir del espesor real estándar (e_e) en ± 2 mm.

En adoquines con acabado impreso o acabado arquitectónico (secundario), el fabricante debe indicar la variación adicional que se debe considerar para la tolerancia debida a dicho acabado, tanto para la medición del espesor estándar (ee) como para la diferencia máxima entre cualquier par de medidas.

5.1.4 Bisel

5.1.4.1 Los requisitos para el bisel sólo se deben aplicar para los adoquines biselados o parcialmente biselados, descritos respectivamente, en 4.2.1 y 4.2.2.

5.1.4.2 El bisel debe tener igual forma o perfil en todo su largo.

5.1.4.3 La proyección horizontal (phb) debe ser igual a (4 ± 1) mm, en tanto que la proyección vertical (pvb) del perfil del bisel debe ser igual a (6 ± 1) mm (ver figura 1b).

5.1.4.4 La diferencia entre la mayor y la menor de las cuatro mediciones de la proyección horizontal del bisel (phb) y de la proyección vertical del bisel (pvb), tomadas para cada probeta de la muestra debe ser como máximo de 2 mm.

5.1.5 Separadores

5.1.5.1 El fabricante debe definir las características de los separadores en su catálogo y éstos deben tener un ancho y un espesor uniformes en todo su largo. El espesor debe ser como mínimo igual a 2 mm, excepto en el caso de pavimentos permeables en los que el agua percola por las juntas requiriendo separadores de mayor espesor.

5.1.5.2 Cada cara lateral del adoquín debe contar con un separador, de forma tal que se genere una junta estándar de ancho constante entre los adoquines adyacentes que permita su posterior llenado con arena de sello (ver 4.4.3).

5.1.5.3 El separador debe ser fabricado conjuntamente con el adoquín siempre en una misma posición, de forma tal que ante cualquier patrón de colocación utilizado, nunca se produzca la coincidencia de los separadores entre adoquines adyacentes, respetándose de tal modo, el ancho de la junta estándar generada entre ellos. La ubicación más común de los separadores con respecto al extremo del adoquín, es igual a $1/3$ ó $1/4$ del largo de la cara en la que se generan dichos separadores.

5.1.5.4 Los adoquines pueden ser fabricados con elementos espaciadores, caras laterales con conicidad perimetral o achaflanadas y perfilados. En estos casos, el fabricante debe especificar sus medidas nominales.

El tamaño del espacio donde va colocado el adoquín debe incluir un margen para las juntas y sus tolerancias.

5.1.5.5 En los adoquines que se van a colocar manualmente o con máquina con sujeción por succión en la cara de desgaste, los separadores deben ir desde la cara de apoyo hasta la mitad de su espesor real, pudiendo llegar, como mínimo, hasta el borde del bisel sobre la pared correspondiente. En los adoquines que se van a colocar con máquina con sujeción por empuje lateral sobre las paredes, los separadores deben ir hasta una distancia del borde inferior del bisel hasta 5 mm como máximo.

5.1.6 Capa superficial

5.1.6.1 El espesor de la capa superficial (ecs) debe ser, como mínimo, de 6 mm.

5.1.6.1 El adoquín no debe presentar separación o desprendimiento, total o parcial, de las dos capas de los adoquines bicapa, durante el uso o en el momento del ensayo a flexión.

Estos requisitos se deben aplicar para la capa superficial de los adoquines bicapa (ver 4.5.5).

5.2 Apariencia

Los requisitos de acabado deben cumplirse para cada muestra. Los requisitos de textura, color y eflorescencia de la cara de desgaste sólo se deben exigir cuando las características deseadas en los adoquines así lo requieran.

5.2.1 Acabado

5.2.1.1 El fabricante debe indicar en su catálogo el acabado de sus adoquines, ya sea primario o secundario, utilizando las denominaciones establecidas en 3.5 y dicha denominación debe ser parte de la descripción del producto en los términos del contrato de suministro de los adoquines.

5.2.1.2 Todos los adoquines deben estar sanos y no deben tener fisuras ni otros defectos que interfieran con el proceso de colocación, o que perjudiquen significativamente el comportamiento y estabilidad del pavimento. La presencia de fisuras menores, inherentes al método de fabricación, o las saltaduras menores que resultan de los métodos usuales de manipulación en el despacho y en la entrega, no son motivo de rechazo.

5.2.1.3 El 5% del lote o del despacho puede tener pequeñas fisuras, o saltaduras no mayores que 10 mm en cualquiera de las aristas diferentes a las de la cara de desgaste.

5.2.1.4 Para la verificación del acabado se recomienda emplear el método descrito en el anexo C.

5.2.1.5 Las rebabas horizontales se pueden producir en la parte inferior del adoquín por desgaste del molde. Si son mayores que los separadores pueden generar el desvío de la línea del pavimento dando origen a juntas no homogéneas que deben ser corregidas de acuerdo con la IRAM 11657.

5.2.2 Textura de la cara de desgaste

5.2.2.1 La textura de la cara de desgaste puede ser definida por el proyectista, el fabricante y el director de obra, teniendo en cuenta muestras de los límites dentro de los cuales puede variar la producción.

5.2.2.2 Para la verificación de la textura se recomienda emplear el método descrito en el anexo C.

NOTA 6. El hecho de que la textura de la cara de desgaste de los adoquines sea abierta o cerrada afecta la apariencia, la resistencia al resbalamiento y la generación y atenuación de ruido. La textura puede ser tan abierta como se requiera, siempre y cuando las partículas de agregado no se desprendan de la masa. Las texturas abiertas conllevan mayor acumulación de polvo, suciedad y mayor cambio del color de referencia de dicha superficie, en tanto las texturas cerradas afectan el resbalamiento y se recomienda evitarlas en zonas de tránsito peatonal expuestas a lluvias.

5.2.3 Color de la cara de desgaste

5.2.3.1 El color de la cara de desgaste puede ser definido por el proyectista, el fabricante y el director de obra, en base a los catálogos suministrados por el fabricante y muestras de los límites dentro de los cuales puede variar la producción.

5.2.3.2 Para la verificación del color se recomienda emplear el método descrito en el anexo C.

NOTA 7. El color del hormigón no tiene un valor ni una uniformidad absolutos, pues las variaciones naturales e inevitables en el color de los cementos, de los agregados y del proceso de producción, hacen cambiar, en mayor o menor cantidad, el color de los adoquines, sin que esto sea una falla del fabricante, siempre y cuando ocurra dentro del rango de tonalidades previsto por las muestras suministradas por él.

5.2.4 Eflorescencia de la cara de desgaste

5.2.4.1 Algunos adoquines pueden presentar eflorescencia que desaparece con el uso (ver anexo C).

5.2.4.2 Para la verificación de la eflorescencia se recomienda emplear el método descrito en el Anexo C.

En caso de presentar eflorescencia debe tenerse en cuenta que éstas no son perjudiciales para el comportamiento de los adoquines durante su vida útil. Por lo tanto no se consideran significativas.

5.3 Absorción de agua

En el momento de despacho, los adoquines de hormigón deben tener una absorción de agua total ($A_a\%$) (para todo el volumen de la probeta) como máximo 5% para el promedio y menor o igual a 7% para el valor individual, con relación a la masa del adoquín seco.

5.4 Módulo de rotura a la flexión (M_r)

Los adoquines de hormigón deben cumplir los requisitos del módulo de rotura a la flexión (M_r) establecidos en la tabla 1.

5.5 Resistencia a la abrasión

El valor promedio del largo de la huella de tres especímenes sometidos al método de ensayo no debe ser mayor que 23 mm como se establece en la tabla 1.

Tabla 1 - Requisitos del módulo de rotura a la flexión y resistencia a la abrasión

Módulo de rotura (Mr) a los 28 d¹⁾, mínimo²⁾, (MPa)		Resistencia a la abrasión¹⁾ (largo de la huella (lh) máximo) (mm)
Promedio de 3 especímenes	Individual	Promedio de 3 especímenes
4,2	3,8	23

¹⁾ El módulo de rotura (Mr). La edad mínima se especifica a los 28 d. Sin embargo, los adoquines se pueden utilizar a edades más tempranas, cuando existe un historial sobre la evolución del módulo de rotura (Mr) de adoquines de iguales características, y éste indique que los primeros pueden alcanzar éste módulo y además poseen la resistencia necesaria para ser colocados. Lo anterior, no exime de la verificación directa de la calidad de los adoquines mediante ensayos a los 28 d.

²⁾ Se pueden especificar módulos de rotura (Mr) mayores, o capas superficiales de características especiales, cuando lo requieran las condiciones de servicio como con cargas abrasivas, llantas y orugas metálicas, etc., en cuyo caso se debe consultar con los proveedores locales para averiguar por la disponibilidad de este tipo de adoquines (ver nota 1).

7 MÉTODOS DE ENSAYO

Para cada probeta de cada muestra se deben evaluar, los siguientes parámetros: las medidas, la absorción de agua (Aa%), el largo de la huella (lh) y el módulo de rotura (Mr).

7.1 Mediciones

7.1.1 Especímenes de ensayo

Se deben utilizar tres adoquines enteros.

7.1.2 Instrumental

Para tomar las medidas de los adoquines se debe utilizar un instrumento de medida con divisiones cada 1 mm, por ejemplo una regla milimetrada, un calibre o un calibrador de regla y aguja.

7.1.3 Procedimiento

Las medidas del largo, el ancho y el espesor se deben tomar a una distancia de 10 mm de la arista correspondiente, excepto la del espesor de la capa superficial, la cual se debe tomar directamente sobre la superficie partida o cortada apoyando las puntas de los brazos del instrumento.

7.1.4 Determinación del rectángulo inscripto

7.1.4.1 Para determinar el rectángulo inscripto se debe colocar cada probeta apoyada sobre su cara de desgaste y se debe dibujar el mayor rectángulo que se pueda inscribir dentro de sus caras.

7.1.4.2 A continuación se deben marcar los ejes mayor y menor de dicho rectángulo y se deben prolongar hasta interceptar las paredes de cada probeta. Adicionalmente se deben marcar dos líneas, paralelas al eje menor y localizadas a 10 mm de cada lado, hacia el centro del rectángulo.

7.1.4.3 Cuando el adoquín no sea rectangular se deben tomar y registrar las medidas de los ejes del rectángulo inscripto sobre la cara de apoyo. Si el adoquín es rectangular, se deben registrar como medidas del rectángulo inscripto de cada adoquín, el largo real promedio (\bar{l}_r) de la probeta y como el ancho real promedio (\bar{a}_r) de la probeta, según lo indicado en 7.2.5.

7.1.4.4 Luego se debe repetir la operación para la cara de desgaste proyectando el rectángulo inscripto de manera tal que cuando exista el bisel, éste no sea impedimento para su determinación.

7.1.5 Largo y ancho

7.1.5.1 El largo real (l_r) y el ancho real (a_r) de cada adoquín se deben tomar sobre las prolongaciones del eje mayor y del eje menor del rectángulo inscripto, respectivamente, tanto sobre la cara de desgaste como sobre la cara de apoyo. Se deben registrar dos mediciones para el largo real (l_r) y dos mediciones para el ancho real (a_r) de cada probeta y se debe calcular el largo real promedio (\bar{l}_r) de la probeta y el ancho real promedio (\bar{a}_r) de la probeta, para cada uno de los cinco que conforman la muestra. Luego se debe calcular el promedio de estas cinco mediciones como el largo real promedio (\bar{l}_{r_m}) de la muestra y como el ancho real promedio (\bar{a}_{r_m}) de la muestra, respectivamente.

7.1.5.2 Cuando la línea para la medición coincida con un separador, la medición se debe realizar inmediatamente al lado de éste. Cuando en la línea para la medición existan rebabas se deben quebrar antes de proceder a la medición.

7.1.6 Espesor

7.1.6.1 Para determinar el espesor real (e_r) se deben tomar cuatro mediciones en aquellos puntos donde las prolongaciones de los ejes mayor y menor del rectángulo inscripto intercepten las paredes. Se deben registrar cuatro mediciones para cada probeta y se debe calcular el espesor real promedio

(\bar{e}_r) para cada probeta, la diferencia entre la mayor y la menor de las cuatro mediciones y el espesor real promedio (\bar{e}_{r_m}) para la muestra, así como el promedio de los valores del espesor real promedio

(\bar{e}_r) para cada probeta.

7.1.6.2 En los adoquines con acabado con juntas falsas, cuando éstas coincidan con los ejes del rectángulo inscripto, el espesor se debe tomar inmediatamente al lado de las juntas falsas.

7.1.7 Bisel

7.1.7.1 Para medir el bisel se debe tomar una escuadra de carpintería y se debe colocar, sobre la superficie de desgaste y perpendicular a la cara, en cada uno de los cuatro puntos donde la prolongación de los ejes del rectángulo inscripto interceptan las paredes.

7.1.7.2 Se debe tomar con el instrumento de medida la proyección sobre la superficie de desgaste o de referencia (proyección horizontal del bisel (phb)) y sobre la pared (proyección vertical del bisel (pvb)), o sea el largo de la luz que se genera desde el ángulo de la escuadra hasta que cada brazo se apoya sobre la masa del adoquín. Para ambas proyecciones se deben registrar las cuatro mediciones para cada probeta y se deben calcular y registrar el valor máximo, el mínimo y la diferencia entre el mayor y el menor.

7.1.8 Capa superficial

7.1.8.1 El espesor de la capa superficial (ecs) se debe tomar sobre cada probeta una vez que se haya ensayado a flexión.

7.1.8.2 Sobre uno de los dos trozos de adoquín resultante se debe tomar el espesor mínimo de la capa superficial (ecs) medido con relación a la superficie de referencia de la cara de desgaste apoyando las puntas de los brazos del instrumento directamente sobre el punto de menor espesor observado.

7.1.8.3 Luego se deben partir o cortar los dos trozos en sentido transversal a la superficie de falla, lo más cerca posible al eje mayor del rectángulo inscripto y se debe tomar el espesor mínimo de la capa superficial (ecs) para dos de los trozos, de un mismo lado con relación al eje mayor del rectángulo inscripto.

7.1.8.4 Se debe registrar el valor de las tres mediciones para cada probeta y se debe tomar el valor mínimo de los tres como espesor de la capa superficial (ecs) de la probeta. Entre dichos valores mínimos se selecciona el valor menor y se registra como el espesor de la capa superficial (ecs) para la muestra.

7.2 Absorción de agua

7.2.1 Especímenes de ensayo

Se deben utilizar los tres adoquines de la muestra después de haberles efectuado las mediciones (excepto la del espesor de la capa superficial (ecs)).

Estos adoquines pueden ser utilizados para control de apariencia y control dimensional

7.2.2 Equipo

7.2.2.1 Balanza, con una precisión de 1 g.

7.2.2.2 Horno con ventilación forzada con temperatura controlada entre 100 °C y 115 °C y con un volumen de como mínimo 2,5 veces el de los especímenes que se van a secar al mismo tiempo.

7.2.2.3 Recipientes en los que se pueda sumergir una probeta completamente.

7.2.3 Procedimiento

7.2.3.1 Secado

Todos los especímenes de la muestra se deben secar simultáneamente en el horno con ventilación forzada. Se los debe ubicar separados entre sí y de cualquier superficie caliente como mínimo 25 mm. Se los debe secar hasta obtener una masa seca (Ms) constante, lo que se logra cuando la diferencia entre dos pesadas sucesivas luego de 24 h \pm 2 es menor que 0,2%.

Una vez obtenida la masa seca (Ms), los especímenes se deben retirar del horno y se deben dejar enfriar, a temperatura ambiente, en un salón aireado, para someterlos luego al proceso de saturación.

7.2.3.2 Saturación

Las muestras deben permanecer sumergidas en agua a una temperatura entre 15 °C y 27 °C hasta que la diferencia entre dos pesadas sucesivas luego de 24 h sea menor que 0,2% respecto de la pesada anterior, de manera que quede una altura de agua sobre todo su volumen, entre 25 mm y 50 mm.

Si se colocan varios especímenes en un mismo recipiente, no se deben apilar unos sobre otros, para lo cual se debe utilizar algún tipo de separador.

Se debe ajustar la cantidad de agua tantas veces como sea necesario para compensar la pérdida del nivel por evaporación.

Luego de este período de saturación se deben pesar los especímenes sumergidos en agua suspendidos mediante un alambre para obtener su masa inmersa en agua y suspendida (Ma).

Luego se deben retirar del agua y se deben dejar escurrir durante 1 min, colocándolos sobre una malla metálica con aberturas cómo mínimo de 9,5 mm.

Luego se debe secar el agua superficial con un paño húmedo y se deben pesar inmediatamente para obtener su masa saturada húmeda (Mh).

7.2.4 Cálculos

7.2.4.1 La absorción de agua (Aa) del total de la masa de la probeta se debe calcular con una aproximación de 0,1%. para cada probeta mediante la fórmula siguiente:

Revisar las formulas

$$\text{Absorción (Aa), (kg/m}^3) = \left[\frac{Mh - Ms}{Mh - Ma} \right] \cdot 1000 \quad (1)$$

$$\text{Absorción (Aa), (\%)} = \left[\frac{Mh - Ms}{Ms} \right] \cdot 100 \quad (2)$$

siendo:

Aa la absorción de agua, en kilogramos por metro cúbico;

Mh la masa saturada húmeda de la probeta, en gramos;

Msl la masa seca de la probeta, en gramos;

Ma la masa inmersa en agua y suspendida de la probeta, en gramos.

7.3 Módulo de rotura a la flexión

7.3.1 Equipo

7.3.1.1 Regla graduada que asegure 0,5 mm.

7.3.1.2 Dispositivo de aplicación de la carga. Debe ser un cilindro de diámetro de $(12 \pm 0,5)$ mm o una barra prismática de (5 ± 1) mm de ancho. El dispositivo debe estar montado a una rótula de manera tal que no se introduzca esfuerzo torsional, aplicando la carga axialmente a la probeta. (Ver ejemplos en anexo D).

7.3.1.3 Dispositivo de apoyo. Formado por dos cilindros de diámetro de $(12 \pm 0,5)$ mm o dos barras de (5 ± 1) mm de ancho. Ambos deben estar dispuestos en forma paralela y también paralelos al dispositivo de aplicación de la carga.

Uno de los apoyos debe estar fijo y horizontal, mientras que el otro debe ser móvil para ajustarse a la luz del ensayo y a su vez montado sobre una rótula de manera tal de evitar introducir esfuerzo de torsión (puede ser un pivote que se incline sobre un eje alineado con el eje longitudinal del adoquín).

En el anexo D se describe un ejemplo del equipo.

7.3.2 Máquina de ensayo

7.3.2.1 Capacidad. Debe ser capaz de aplicar cargas de como mínimo 20 kN.

7.3.2.2 Calibración. Se debe realizar una vez por año. De manera extraordinaria, debe calibrarse cada vez que se observe la existencia de algún error o cuando se efectúe cualquier tipo de reparación.

NOTA 8. Para realizar la calibración, se recomienda consultar la ISO 7500-1.

7.3.2.3 Dispositivo de lectura. El error máximo permitido debe ser menor que el 1% de la carga, está definido por el sesgo de la medida y la incertidumbre del procedimiento de medición.

7.3.3 Muestras

7.3.3.1 La muestra debe estar conformada por 3 adoquines.

7.3.3.2 Rectángulo inscripto. Una vez trazado el rectángulo inscripto en el adoquín se debe determinar: el espesor real (e_r), el largo real (l_r), el largo del rectángulo inscripto (l_i), el ancho real (a_r) y el ancho del rectángulo inscripto (a_i). Cada uno de los valores se determina como el promedio de dos lecturas medidas directamente sobre la probeta.

Paralelamente al eje menor de la probeta y a una distancia de aproximadamente 10 mm sobre los bordes del rectángulo inscripto se deben trazar dos líneas. La distancia entre éstas determina la luz de ensayo (L_e).

Para realizar todas estas mediciones se debe utilizar una regla graduada con una precisión de 0,5 mm.

7.3.4 Procedimiento

Las muestras deben permanecer sumergidas en agua a una temperatura entre 15 °C y 27 °C hasta que la diferencia entre dos pesadas sucesivas luego de 24 h sea menor que 0,2% respecto de la pesada anterior. Se deben dejar escurrir durante un minuto y luego se debe eliminar el agua superficial restante con un paño húmedo. Las muestras se colocan en agua en posición horizontal sobre dos guías, para que el agua tenga libre acceso en las seis caras del adoquín.

Se debe colocar la probeta en el dispositivo de ensayo interponiendo en los contactos apoyos-adoquín y el dispositivo de carga-adoquín una planchuela de caucho de 2 mm de espesor para absorber las irregularidades.

La distancia entre apoyos debe ser igual a la luz de ensayo (L_e) y el dispositivo de carga se debe colocar sobre la cara de desgaste a la mitad de dicha luz.

Se debe aplicar la carga a una velocidad tal que produzca un aumento de tensión en las fibras inferiores del adoquín de $(0,1 \pm 0,05)$ MPa/s.

7.3.5 Cálculos

Según el tipo de adoquín se debe utilizar alguna de las fórmulas siguientes:

7.3.5.1 Adoquín Tipo 1, rectangular recto, *Holandés*.

$$M_r = \frac{3 \cdot C_{m\acute{a}x.} \cdot L_e}{2a_r \cdot e_r^2}$$

siendo:

M_r el módulo de rotura a la flexión, en megapascal;

$C_{m\acute{a}x.}$ la carga máxima de rotura, en newton;

L_e la luz de ensayo, en milímetros;

a_r el ancho real de la probeta, en milímetros;

e_r el espesor real de la probeta, en milímetros.

7.3.5.2 Adoquín Tipo 1, rectangular angulado, *Uni-stone*.

Considerando el promedio entre el ancho real y el ancho del rectángulo inscripto:

$$M_r = \frac{3 \cdot C_{\text{máx.}} \cdot L_e}{(a_r + a_i) \cdot e_r^2}$$

siendo:

M_r el módulo de rotura a la flexión, en megapascal;

$C_{\text{máx.}}$ la carga máxima de rotura, en newton;

L_e la luz de ensayo, en milímetros;

a_r el ancho real de la probeta, en milímetros;

a_i el ancho del rectángulo inscripto, en milímetros;

e_r el espesor real de la probeta, en milímetros.

7.3.5.3 Adoquín Tipo 1, octógono + cuadrado, *Uni-Decor*.

Ancho mayor,

$$M_r = \frac{3 \cdot C_{\text{máx.}} \cdot L_e}{2a_{rs} \cdot e_r^2}$$

Ancho menor,

$$M_r = \frac{6 \cdot C_{\text{máx.}} \cdot \left(\frac{L_e}{4} - \frac{x}{2} \right)}{a_n \cdot e_r^2}$$

siendo:

M_r el módulo de rotura a la flexión, en megapascal;

$C_{\text{máx.}}$ la carga máxima, de rotura, en newton;

L_e la luz de ensayo, en milímetros;

a_{rs} el ancho real mayor de la probeta, en milímetros;

a_n el ancho real menor de la probeta, en milímetros;

e_r el espesor real de la probeta, en milímetros;

x la distancia desde el medio de la luz hasta donde el adoquín cambia de sección, en milímetros.

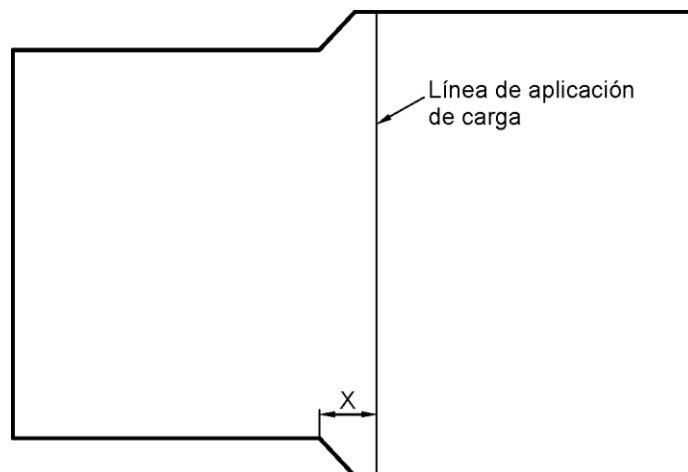


Figura 4 - Ubicación de la línea de aplicación de carga en el adoquín

7.4 Resistencia a la abrasión

7.4.1 Equipo

7.4.1.1 Estufa de aire. Que permita alcanzar una temperatura de $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$.

7.4.1.2 Máquina de desgaste. Debe estar compuesta por el disco de abrasión, una tolva para el almacenamiento del material, con una válvula de control que regula la salida y otra que guía el flujo de material, un carro portaprobeta con sujetador y contrapeso.

Adicionalmente, se puede contar con una tolva que acopie el material ya utilizado y los sistemas que sean necesarios para nivelar y alinear los especímenes.

7.4.1.3 Disco de abrasión. Debe ser de acero A36, que cumpla con la IRAM/IAS U 500-503, con una dureza Brinell de (200 ± 20) HB. Su diámetro debe ser de (200 ± 1) mm y su ancho de (70 ± 1) mm. Si el disco se hace aligerado en su interior con una sección en forma de I en sentido del eje del disco, tanto el espesor del tubo exterior (aletas), como del disco interior (alma), deben ser mayores que 10 mm.

7.4.1.4 Carro portaprobeta. Debe ser rígido, montado sobre un sistema de rieles y rodamientos, que garantice su libre desplazamiento, bajo la acción de un contrapeso, en dirección perpendicular al eje de rotación del disco de abrasión. La probeta debe estar sujeto a un sistema que lo mantenga nivelado y alineado, para que la superficie de ensayo, sea lo más paralela posible al plano tangente del disco de abrasión en el punto de contacto

7.4.1.5 Tolva superior. Capaz de almacenar y controlar el flujo del material abrasivo, como así también de alimentar la tolva inferior de menor tamaño a través de una válvula.

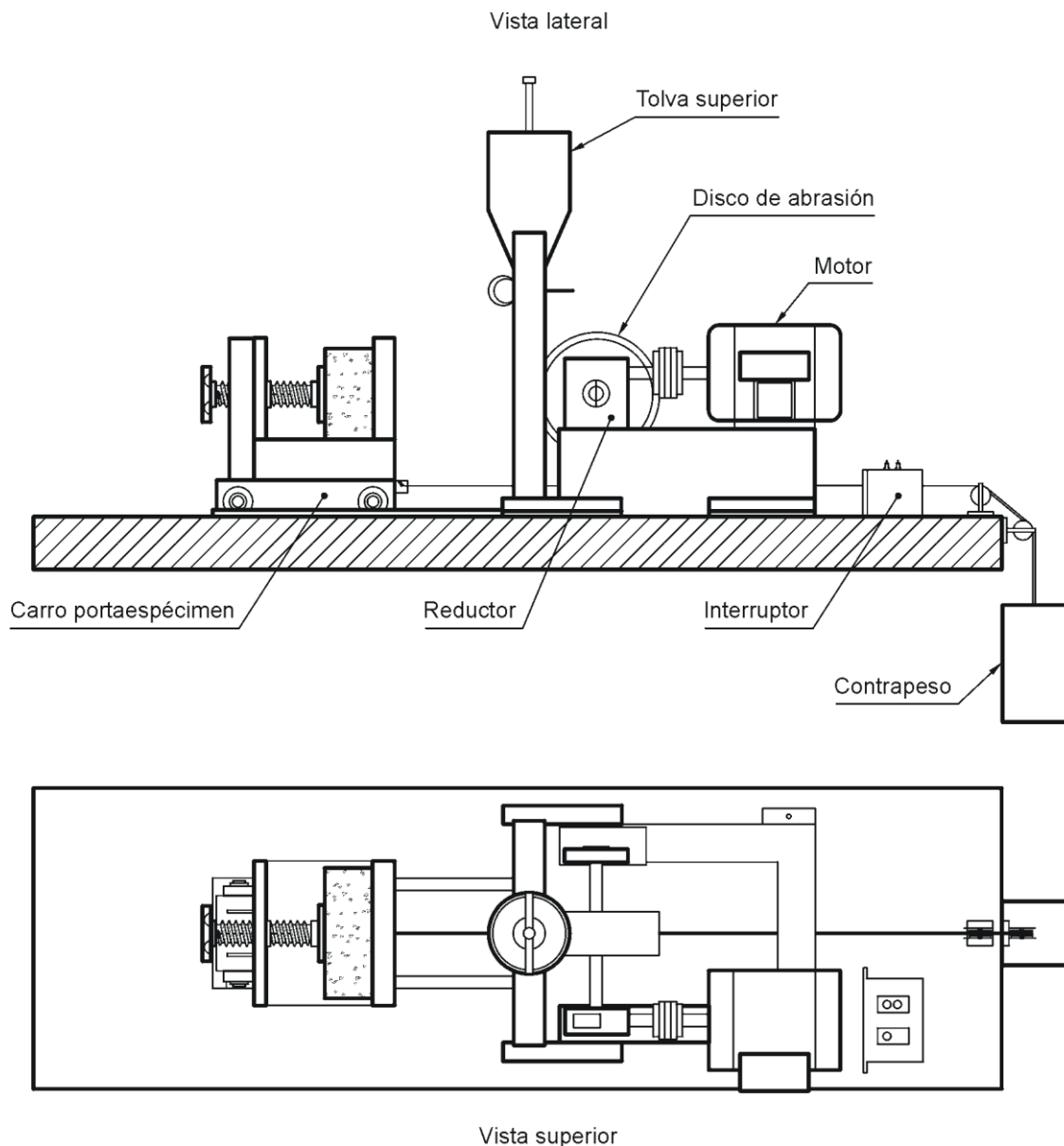


Figura 5 - Componentes de la máquina de desgaste

7.4.1.6 Tolva inferior. Debe tener forma de cuña y su sección debe ser un triángulo rectángulo, con su extremo más agudo dispuesto hacia abajo, es decir, con el cateto mayor coincidiendo con la vertical.

La cara superior debe estar abierta, por el lado del cateto menor. Uno de sus lados inclinado (la hipotenusa) y el otro, debe ser vertical (cateto mayor).

Adicionalmente, a modo de prolongación del extremo inferior, debe tener una boquilla de salida con una ranura cuyas dimensiones interiores deben ser: largo $45 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, ancho $4 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, y alto de boquilla $25 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$. El ancho total, en la dirección paralela al eje del disco de abrasión, debe ser como mínimo de 65 mm (ver figura 6 y 7).

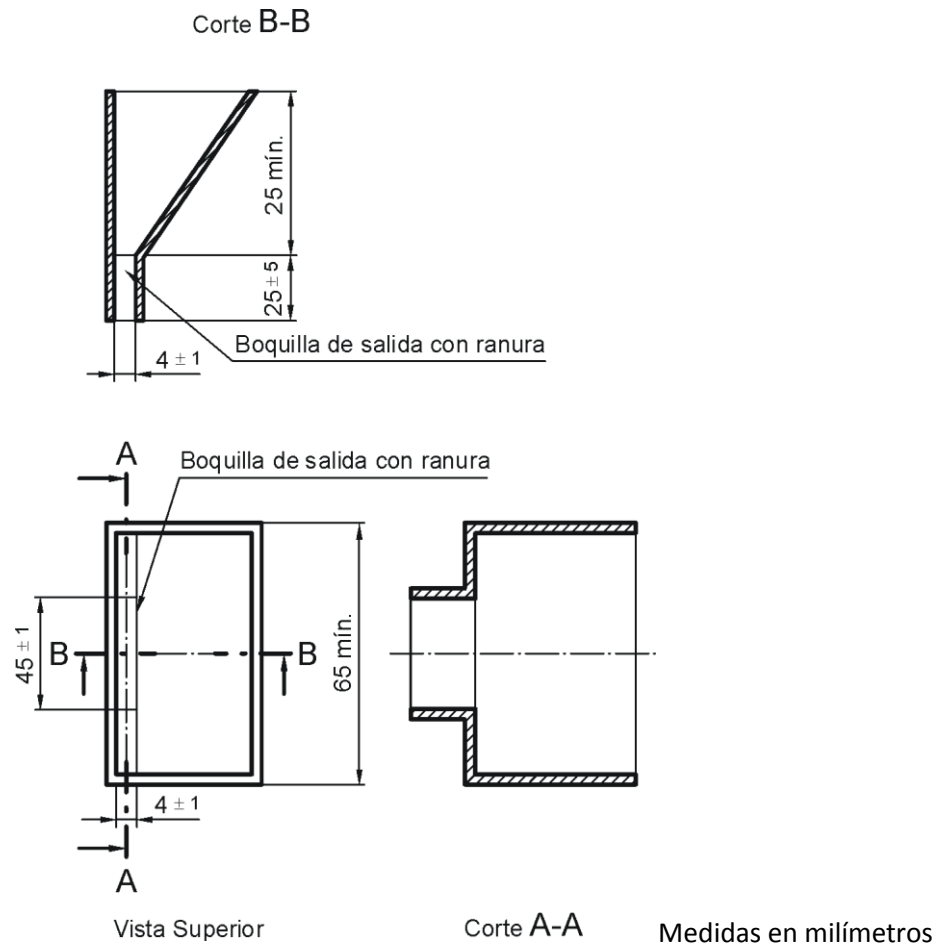


Figura 6 - Tolva (inferior) para regulación de flujo

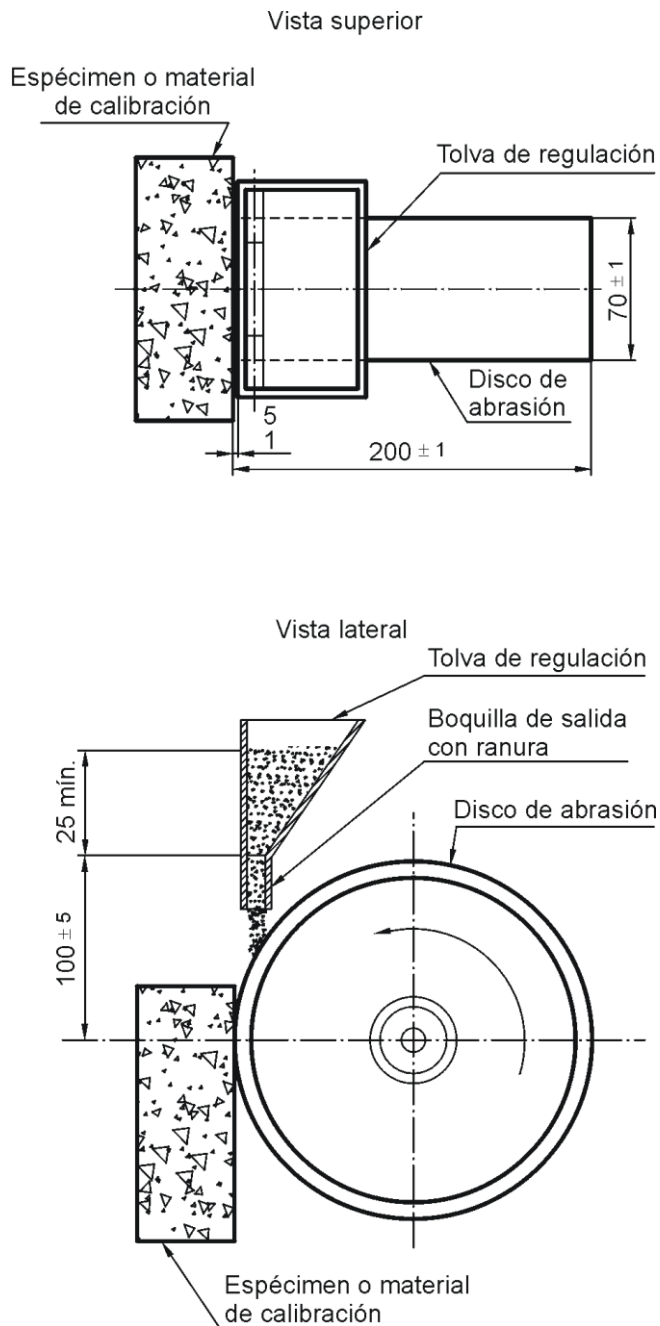


Figura 7 - Disposición de la tolva inferior durante el ensayo

7.4.1.7 Material abrasivo. Debe ser óxido de aluminio fundido blanco con una granulometría igual a F80. Este material no debe ser reutilizado.

7.4.1.8 Material de calibración. Debe ser un vidrio flotado, de como mínimo 100 mm x 100 mm de lado por 6 mm de espesor.

El equipamiento debe ser calibrado transcurridos 400 ensayos o cada dos meses, o cada vez que el disco de abrasión sea sustituido.

7.4.1.9 Instrumental adicional. Una lupa, una regla metálica, un calibrador o un micrómetro que permita una lectura con una precisión de 0,5 mm y galgas de acero.

7.4.2 Procedimiento para la calibración de la máquina

7.4.2.1 Flujo de material abrasivo. El flujo de abrasivo debe ser constante con (75 ± 0.5) g cada 75 rotaciones del disco.

7.4.2.2 Calibración

La distancia de caída, entre la ranura de la tolva de control de flujo (nivel superior de la boquilla) y el plano horizontal que coincide con el del eje del disco de abrasión, debe ser (100 ± 5) mm.

El plano (vertical) de caída del flujo de material abrasivo debe estar comprendido entre 1 mm y 5 mm a partir del plano de la probeta (plano tangente al disco de abrasión) y hacia el centro del disco de abrasión.

Se debe poner en contacto el material de calibración con el disco de abrasión, se incorpora el contrapeso, luego se abre la válvula de control de flujo y se debe encender el motor, de tal manera que el disco de abrasión complete 75 vueltas en (60 ± 3) s. Se debe detener el disco, cumplidas las 75 vueltas y se suspende el flujo del material abrasivo.

Deben realizarse la cantidad de huellas necesarias hasta obtener el ajuste del contrapeso (aumentando o disminuyendo su masa), hasta que el disco de abrasión produzca una huella con un largo de $17 \pm 0,5$ mm en dicho material. El largo de huella obtenido dentro de este rango se lo considera como *factor de calibración* (F_c).

7.4.2.3 Medición de la huella. La huella se debe medir usando el siguiente procedimiento: se deben dibujar los límites superior e inferior de la huella (L1 y L2) y los límites laterales (L3 y L4), por medio de la regla metálica. Se deben trazar la línea media entre L1 y L2 y la línea media entre L3 y L4. En el punto de la intersección de dichas líneas se traza en forma perpendicular a L1 y L2, la línea AB que es donde se mide el largo de la huella.

Para determinar el largo de la huella medida, se deben colocar las puntas del instrumento en los puntos A y B, del borde interno de los límites longitudinales de la huella (L1 y L2) y se debe registrar la medida con una aproximación de 1 mm. Se deben determinar, adicionalmente, el largo de la huella a los (10 ± 1) mm desde las líneas L3 y L4 hacia la línea AB, obteniendo las líneas (CD y EF), y se registran estas dimensiones.

La huella en el material de calibración debe ser rectangular, definida como tal con base en que la diferencia de medidas a lo largo de ambas.

Se debe considerar aceptable el largo de la huella (medida AB), si la diferencia entre las medidas de-terminadas sobre las líneas CD y EF es menor que 1 mm, excepto para propósitos de calibración, en cuyo caso la diferencia debe ser menor que 0,5 mm.

7.4.3 Preparación de las probetas

Se deben ensayar en su cara de desgaste, tres probetas enteras con una superficie como mínimo igual a 100 mm x 70 mm de manera tal que ésta contenga al disco de abrasión. Estas probetas pueden ser obtenidas del acopio en obra, en planta, o directamente extraídas de un pavimento intertrabado ya existente.

La cara de desgaste debe ser plana, con una tolerancia de ± 1 mm en dos direcciones perpendiculares, medida sobre, como mínimo 100 mm.

La tolerancia de planitud se debe determinar mediante una regla recta y galgas de acero.

Los especímenes deben estar limpios, secos y no haber sido utilizados en el ensayo de absorción. Antes del ensayo se debe pintar su superficie con tinta indeleble, para facilitar la determinación de la huella.

7.4.4 Procedimiento de ensayo

La tolva de almacenamiento se debe llenar con el material abrasivo, en estado seco.

Se debe fijar la probeta al carro portaprobeta, colocando la probeta de tal manera que la huella se produzca, como mínimo, a 15 mm de distancia de cualquiera de sus bordes.

Se debe poner en contacto el material de calibración con el disco de abrasión, se incorpora el contrapeso, luego se abre la válvula de control de flujo y se debe encender el motor, de tal manera que el disco de abrasión complete 75 vueltas en (60 ± 3) s.

Se debe detener el disco, cumplidas las 75 vueltas y se suspende el flujo del material abrasivo.

Se debe realizar como mínimo una huella en cada adoquín. Si se realiza más de una huella, se debe tomar el valor mayor como resultado del ensayo.

Se debe medir la huella de acuerdo con lo especificado en 7.5.2.3.

7.4.5 Expresión de los resultados

Como resultado del ensayo de abrasión se debe tomar el largo de la huella, corregida por el factor de calibración.

El resultado que se debe informar debe ser la suma del largo de la huella (medida AB) con una exactitud de 0,1 mm, y la diferencia (positiva o negativa) entre 17 mm y el factor de calibración (Fc).

El resultado:

$$l_h = AB + (17 - F_c)$$

siendo:

l_h largo de la huella resultante, en milímetros;

F_c factor de calibración, en milímetros;

AB largo de la huella medida, en milímetros.

7.4.6 Informe del ensayo

El informe del ensayo debe incluir la información siguiente:

- nombre del laboratorio de ensayo y el operador;
- nombre del solicitante;
- fecha del ensayo;
- largo corregido de las huellas sobre cada uno de los especímenes (ver NOTA, 7.4.5).

Medidas en milímetros

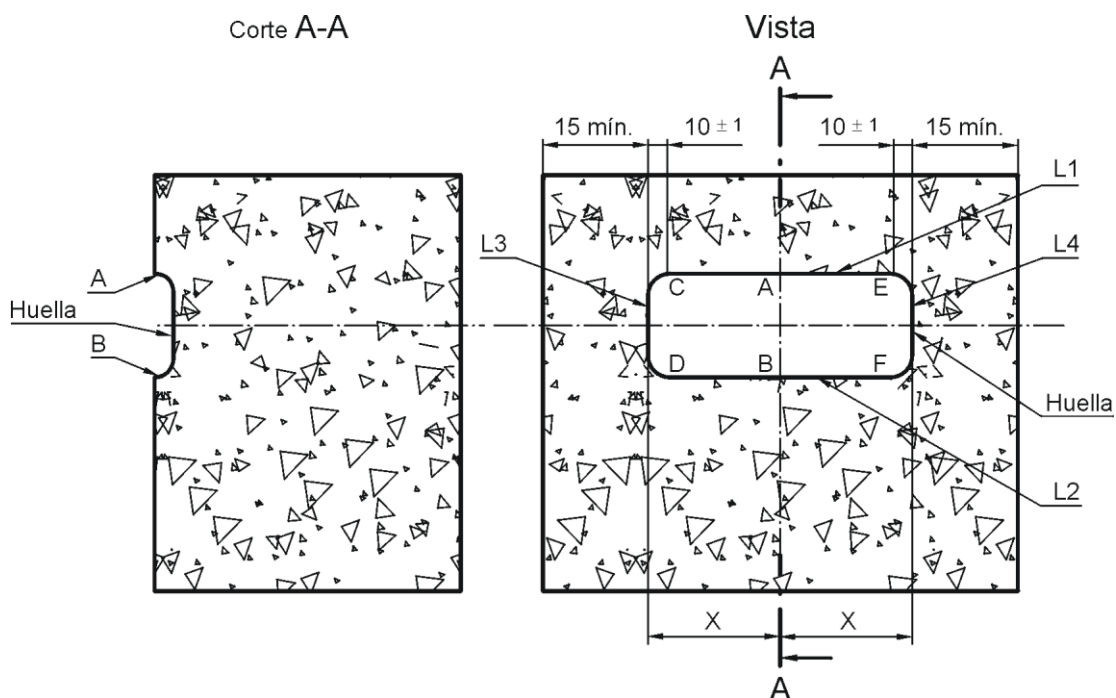


Figura 8 - Descripción gráfica de una huella generada sobre un probeta

Anexo D
 (Informativo)

Ejemplos del dispositivo de aplicación de la carga

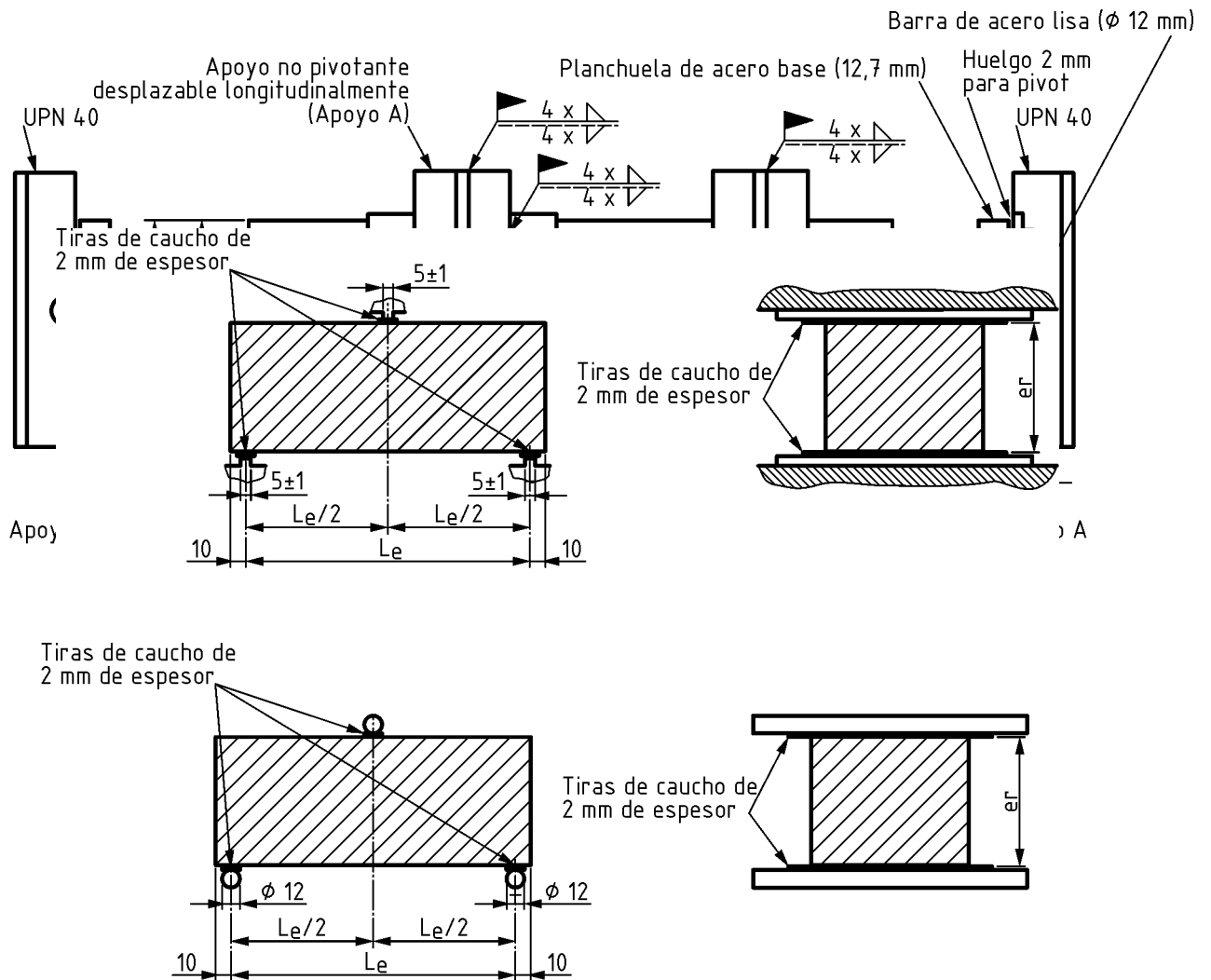


Figura D.2 - Apoyos inferiores (Vista lateral)