

ENSAYO DE TRACCIÓN POR HENDIMIENTO (TRACCIÓN INDIRECTA) DE CILINDROS DE CONCRETO

INV E - 411 - 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma de ensayo establece el procedimiento para determinar la resistencia a la tracción por hendimiento o resistencia a la tracción indirecta de especímenes cilíndricos de concreto. El método aplica tanto a cilindros moldeados como a núcleos extraídos.
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E-411-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 El ensayo consiste en aplicar una fuerza diametral compresiva a lo largo de la longitud de un espécimen cilíndrico de concreto a una velocidad especificada, hasta que ocurra la falla. Este sistema de carga induce esfuerzos de tensión en el plano que recibe la carga aplicada, así como esfuerzos de compresión considerables en el área aferente. La falla que ocurre es de tensión y no de compresión, por cuanto las áreas de aplicación de la carga se encuentran en un estado de compresión triaxial, lo que les permite soportar esfuerzos de compresión muy superiores a los que serían indicados por el resultado de un ensayo de resistencia a compresión uniaxial.
- 2.2 Para distribuir la carga a lo largo de la longitud del cilindro se emplean unos listones de apoyo delgados de madera laminada.
- 2.3 La máxima carga soportada por el espécimen se divide por factores geométricos apropiados, con el fin de obtener la resistencia a la tracción por hendimiento.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 La resistencia a la tracción por hendimiento es, generalmente, mayor que la resistencia a la tracción directa y menor que la resistencia a la flexión (módulo de rotura).

- 3.2** La resistencia a la tracción por hendimiento se usa en el diseño estructural de elementos de concreto liviano para evaluar la resistencia al esfuerzo cortante suministrada por el concreto y para determinar la cuantía del refuerzo.

4 EQUIPO

- 4.1** *Máquina de ensayo* – La máquina de ensayo se debe ajustar a los requerimientos de la norma INV E-410 y deberá tener la capacidad suficiente para aplicar la velocidad de carga que se describe en el numeral 6.5.
- 4.2** *Platina o barra suplementaria de apoyo* – Si el diámetro o la mayor dimensión de los bloques de apoyo, inferior y superior, es menor que la longitud del cilindro que se va a ensayar, se debe usar una platina o una barra suplementaria de acero maquinado. Las superficies de este elemento deben ser planas dentro de una tolerancia de ± 0.025 mm ($\pm 0.001"$), medida sobre cualquier línea de contacto del área de apoyo. Debe tener un ancho de, por lo menos, 50 mm (2") y un espesor no menor que la distancia entre el borde del bloque de apoyo rectangular o esférico de la máquina de ensayo y el extremo del cilindro. El elemento se debe colocar de manera que la carga sea aplicada sobre la longitud total del espécimen cilíndrico.
- 4.3** *Listones de apoyo* – Deben ser dos listones de madera laminada, libres de imperfecciones, de 3.0 mm (1/8") de espesor nominal, de aproximadamente 25 mm (1") de ancho y de longitud igual o ligeramente mayor que la del cilindro. Los listones de apoyo se deben colocar entre el cilindro de concreto y los bloques superior e inferior de apoyo de la máquina de ensayo, o entre el cilindro de concreto y la platina suplementaria, cuando ésta se utilice (numeral 4.2). Los listones de apoyo se deben usar solamente una vez.
- 4.4** *Elementos misceláneos* – Balanza, con una capacidad superior a 20 kg y una resolución mínima de 1 g; regla graduada, lápices, marcadores, etc.

5 ESPECÍMENES DE ENSAYO

- 5.1** Los especímenes se prepararán y fabricarán de acuerdo con los métodos de elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayo en el laboratorio (norma INV E-402) o en el campo (norma INV E-420). Los núcleos extraídos deberán cumplir los requerimientos de tamaño y acondicionamiento húmedo mencionados en la norma INV E-418. Los especímenes curados en

cuarto húmedo, se deberán cubrir con una manta, cáñamo o yute húmedo durante el período comprendido entre su extracción del ambiente del cuarto y su ensayo, y se deberán ensayar en condiciones húmedas, tan pronto como sea posible.

- 5.2** El siguiente procedimiento de curado se deberá utilizar para la evaluación de concretos livianos: el espécimen ensayado a los 28 días debe estar en condición seca al aire luego de 7 días de curado húmedo, seguidos por 21 días de secado a $23.0 \pm 2.0^\circ \text{C}$ ($73.5 \pm 3.5^\circ \text{F}$) y $50 \pm 5\%$ de humedad relativa.

6 PROCEDIMIENTO

- 6.1** *Marcas* – Se dibujan líneas diamatrales sobre cada extremo del espécimen, utilizando un aparato adecuado que permita asegurar que ellas se encuentran en el mismo plano axial (Ver Figuras 411 - 1 y 411 - 2 y nota 1) o, como alternativa, se usa la plantilla de alineación mostrada en la Figura 411 - 3.

Nota 1: Las Figuras 411 - 1 y 411 - 2 muestran un dispositivo apropiado para dibujar las líneas diamatrales en el mismo plano axial de cada base de un cilindro normal de 150 × 300 mm (6 × 12"). El dispositivo consta de tres partes:

- (1) Una canal de acero de 100 mm (4") de longitud, cuyas salientes han sido maquinadas en forma plana.
(2) Una sección, parte a, ranurada para ajustar suavemente sobre las salientes la canal y que incluye tapones de rosca para posicionar el miembro vertical del ensamblaje, y
(3) Una barra vertical, parte b, para guiar un lápiz o marcador

El ensamblaje, partes a y b, no se ajusta a la canal y se posiciona en cualquiera de las bases del cilindro, sin alterar la posición del espécimen cuando se dibujen las líneas diamatrales.

Nota 2: La Figura 411 - 4 presenta un plano detallado de la plantilla de alineación mostrada en la Figura 411 - 3, cuyo propósito es, también, permitir el dibujo de las líneas diamatrales. Este dispositivo consta de las siguientes partes:

- (1) Una base para sostener el listón de apoyo inferior y el cilindro.
(2) Una barra suplementaria de soporte, conforme con los requerimientos de la Sección 4 en lo que se refiere a dimensiones y planitud, y
(3) Dos postes que sirven para posicionar el cilindro, los listones de apoyo y la platina suplementaria de apoyo.

- 6.2** *Medidas de diámetro y longitud* – El diámetro del espécimen se determina con exactitud de 0.25 mm (0.01") mediante el promedio de tres medidas realizadas una cerca de cada extremo y una en el centro del cilindro, en el plano que contiene las líneas marcadas en las dos bases. La longitud se determina con exactitud de 2 mm (0.1"), mediante el promedio de, por lo menos, dos longitudes medidas en el plano que contiene las líneas marcadas en las dos bases.

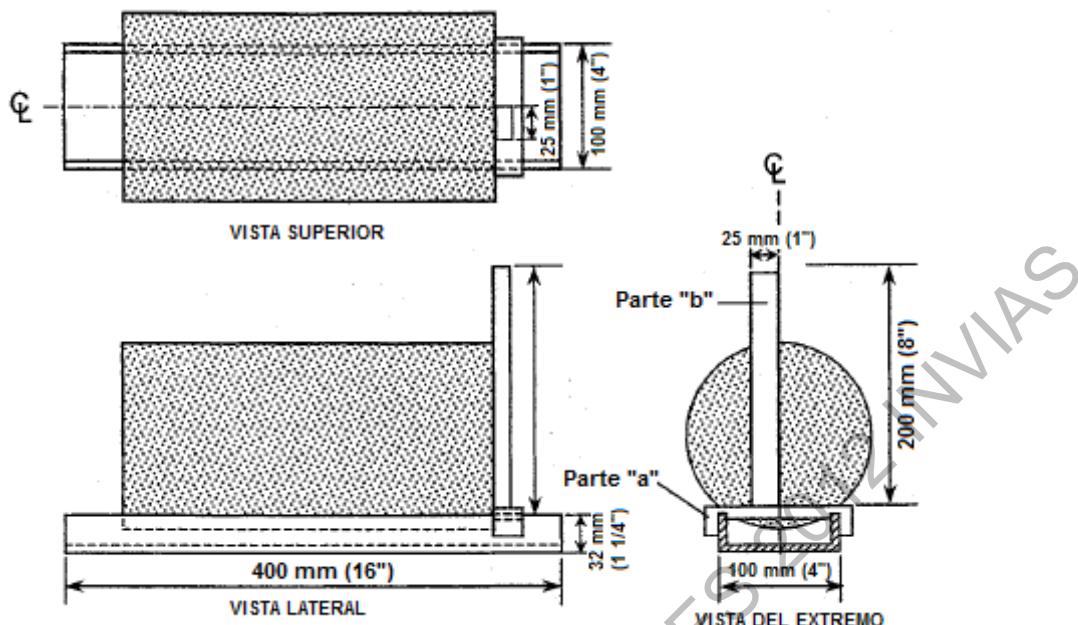


Figura 411 - 1. Vistas generales de un equipo adecuado para hacer las marcas de las bases, usado para el alineamiento del espécimen en la máquina de ensayo

6.3 Colocación de los listones de apoyo usando las líneas diametrales – Se coloca un listón de apoyo a lo largo del centro del bloque inferior. Se pone el cilindro sobre el listón y se alinea de manera que las líneas marcadas en las bases del cilindro queden verticales y centradas sobre el listón. Se coloca el segundo listón longitudinalmente sobre el cilindro, centrándolo en forma similar al anterior. Se posiciona el conjunto para asegurar las siguientes condiciones:

- 6.3.1** La proyección del plano de las dos líneas marcadas en las bases debe cruzar el centro del bloque de carga superior.
- 6.3.2** La platina o barra suplementaria de apoyo, cuando se use, y el centro del espécimen, deben quedar directamente debajo del centro de empuje del bloque de carga esférico (Figura 411 - 5).

6.4 Colocación de los listones de apoyo usando plantilla de alineación – Se colocan en posición los listones de apoyo, el cilindro de ensayo y la barra suplementaria de soporte empleando la platina de alineación, como se muestra en la Figura 411 - 3, y se centra la plantilla de manera que la barra suplementaria de soporte y el centro del cilindro queden directamente debajo del centro de empuje del bloque de carga esférico.

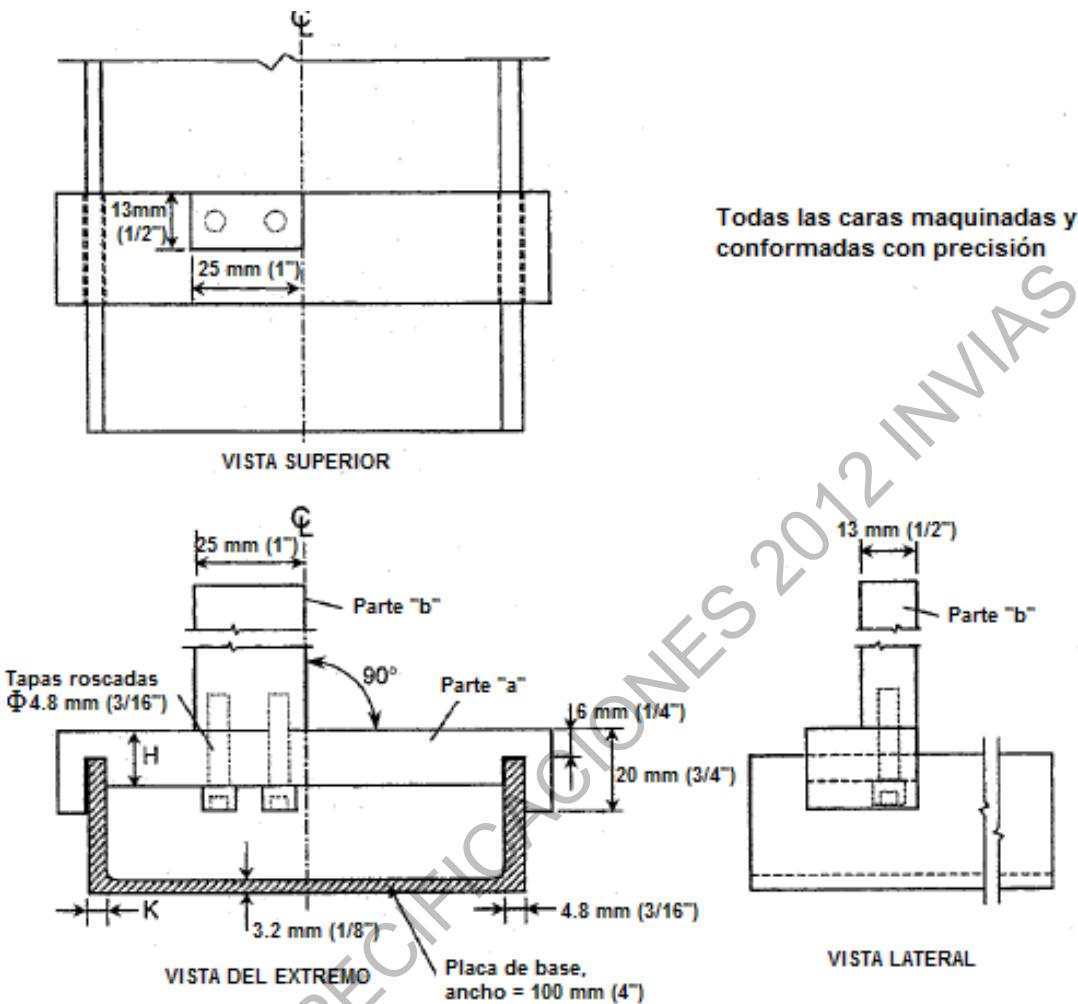


Figura 411 - 2. Plano detallado de un equipo adecuado para hacer las marcas de las bases, usado para el alineamiento del espécimen

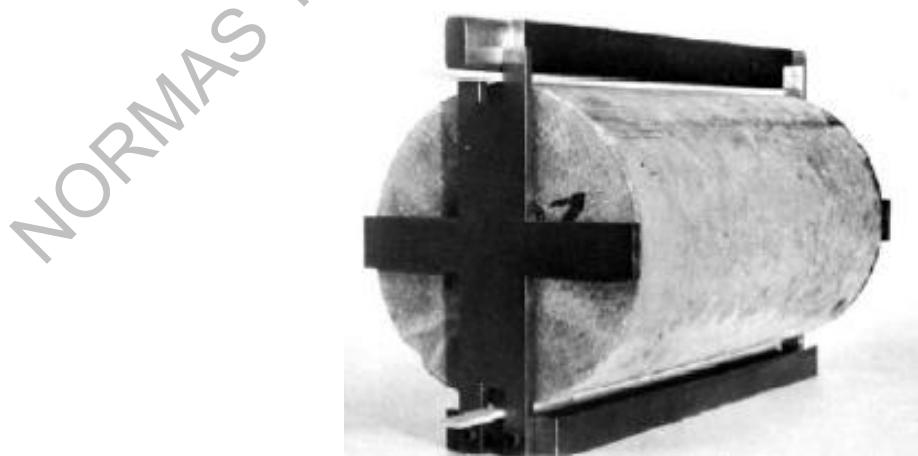


Figura 411 - 3. Plantilla para alinear el cilindro de concreto y los listones de apoyo

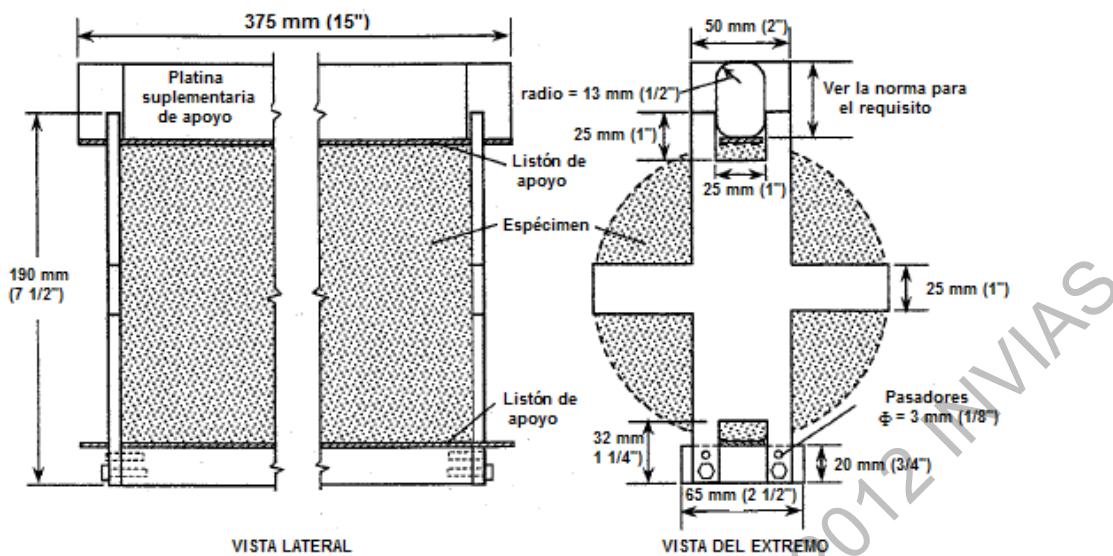


Figura 411 - 4. Plano detallado de una plantilla adecuada para alinear cilindros de 150 × 300 mm (6 × 12")

6.5 Velocidad de carga – Se aplica carga al cilindro en forma continua y sin impactos, a una velocidad constante en el rango de un esfuerzo de tracción por hendimiento de 0.7 a 1.4 MPa/min (100 a 200 lbf/pulg²/min) hasta que se rompa el cilindro (nota 3). Se anota la carga máxima indicada por la máquina en el momento de rotura, lo mismo que el tipo de rotura y la apariencia del concreto.

Nota 3: La relación entre el esfuerzo de tracción por hendimiento y la carga aplicada se muestra en la Sección 7. El rango de carga requerido en esfuerzo de tracción por hendimiento corresponde a una carga total aplicada en el rango de 50 a 100 kN/min (11 300 a 22 600 lbf/min) para cilindros normales de 150 × 300 mm (6 × 12").

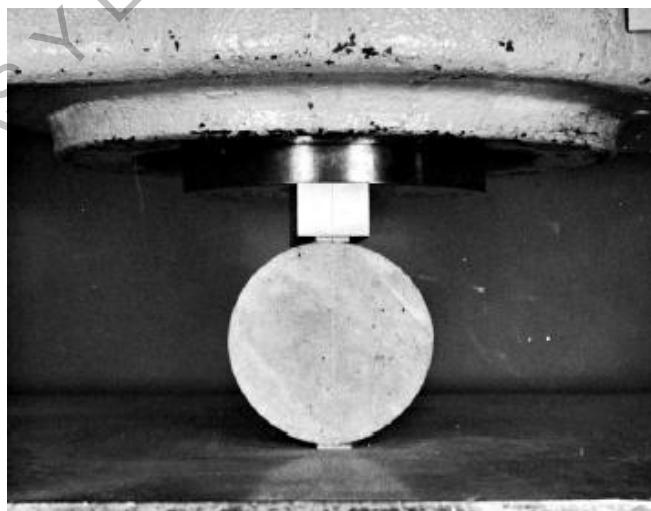


Figura 411 - 5. Cilindro colocado en la máquina para el ensayo de tracción por hendimiento

7 CÁLCULOS

- 7.1** Se calcula la resistencia a la tracción por hendimiento (tracción indirecta) del espécimen, mediante la ecuación:

$$T = \frac{2 P}{\pi L d} \quad [411.1]$$

Donde: T: Resistencia a la tracción por hendimiento (tracción indirecta), MPa (lbf/pulg²);

P: Carga máxima indicada por la máquina de ensayo, N (lbf);

L: Longitud del cilindro, mm (pg.);

d: diámetro del cilindro, mm (pg.).

8 INFORME

- 8.1** Se debe presentar la siguiente información:

8.1.1 Identificación del cilindro.

8.1.2 Diámetro y longitud, mm (pg.).

8.1.3 Carga máxima, N (lbf).

8.1.4 Edad del cilindro.

8.1.5 Resistencia a la tracción por hendimiento (tracción indirecta), calculada con redondeo a 0.05 MPa (5 lbf/pg²).

8.1.6 Porcentaje estimado de partículas de agregado grueso fracturadas durante el ensayo.

8.1.7 Tipo de fractura, si es diferente a la producida según un plano vertical.

8.1.8 Defectos en el cilindro.

8.1.9 Tipo de curado.

9 PRECISIÓN Y SESGO

- 9.1** *Precisión* – No se ha realizado ningún estudio multilaboratorio de este método de ensayo. Sin embargo, datos de investigaciones disponibles sugieren que el coeficiente de variación para un mismo lote es de 5 % para especímenes cilíndricos de 150 × 300 mm (6 × 12") con una resistencia promedio a la tracción indirecta de 2.8 MPa (405 lbf/pulg²). Por lo tanto, los resultados de dos ensayos adecuadamente realizados sobre el mismo material no deben diferir en más de 14 % de su promedio, para una resistencia a la tracción indirecta de, aproximadamente, 2.8 MPa (405 lbf/pulg²).
- 9.2** *Sesgo* – No se puede hacer declaración sobre sesgo, por cuanto la resistencia a la tracción por hendimiento solo se puede definir en términos de este método de ensayo.

10 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C 496/C 496M – 11