

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO USANDO UNA VIGA SIMPLEMENTE APOYADA Y CARGADA EN LOS TERCIOS DE LA LUZ LIBRE

INV E – 414 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma de ensayo se refiere a la determinación de la resistencia a la flexión del concreto, empleando una viga simplemente soportada, cargada en los tercios de la luz libre.
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E–414–07.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1 Este método de ensayo se usa para determinar la resistencia a la flexión de especímenes preparados y curados de acuerdo con las normas INV E–402, INV E–418 o INV E–420. El resultado se calcula e informa como "módulo de rotura". La resistencia determinada puede variar si existen diferencias en el tamaño del espécimen, la preparación, la condición de humedad, el curado o las condiciones bajo las cuales se ha moldeado o aserrado la viga al tamaño de ensayo.
- 2.2 Los resultados de este método de ensayo se pueden emplear para determinar el cumplimiento de las especificaciones o como base para las operaciones de dosificación, mezcla y colocación del concreto.
- 2.3 El ensayo se usa, también, en la evaluación de concretos para la construcción de losas estructurales y para el diseño y el control de la construcción de pavimentos rígidos.

3 EQUIPO

- 3.1 *Máquina de ensayo* – La máquina de ensayo debe cumplir con los requisitos establecidos en el Anexo A. No se permite el uso de máquinas de ensayo operadas a mano, con bombas que no suministren una carga continua en un recorrido. Se permite el uso de bombas manuales o motorizadas de

desplazamiento positivo, que tengan suficiente volumen en un solo recorrido continuo para completar un ensayo sin requerir recarga, y que sean capaces de aplicar las cargas a una velocidad uniforme, sin sacudidas o interrupciones.

- 3.2** *Aparato de carga* – Se debe utilizar el método de carga en los tercios al realizar ensayos de flexión de concretos, empleando bloques de aplicación de carga que aseguren que las fuerzas aplicadas a la viga sean perpendiculares a la cara del espécimen y sin excentricidad. En la Figura 414 - 1 se muestra un diagrama de un aparato que cumple este propósito.

3.2.1 Todos los aparatos utilizados para realizar ensayos de flexión del concreto deben ser capaces de mantener la longitud especificada de luz entre apoyos, y distancias constantes entre los bloques de aplicación de carga y los bloques de soporte, con una tolerancia de $\pm 1.0 \text{ mm} (\pm 0.05")$.

3.2.2 La distancia horizontal entre el punto de aplicación de la carga y el punto de aplicación de la reacción más cercana, dividida por la altura de la viga, deberá dar como resultado 1.0 ± 0.03 .

3.2.3 Si se usa un aparato similar al mostrado en la Figura 414 - 1, se deberá tener en cuenta lo siguiente:

3.2.3.1 Los bloques de aplicación de carga y de soporte no deben tener más de 65 mm ($2 \frac{1}{2}"$) de altura, medida desde el centro o eje del pivote, y se deben extender completamente a través o más allá del ancho total del espécimen. Cada superficie endurecida de aplicación de carga en contacto con el espécimen no se debe separar de un plano en más de 0.05 mm (0.002") y debe ser una porción de un cilindro cuyo eje debe coincidir con el eje de la barra o con el centro de la esfera donde pivotea el bloque. El ángulo subtendido por la superficie curva de cada bloque debe ser, al menos, de 45° (0.80 rad).

3.2.3.2 Los bloques de aplicación de carga y de soporte se deberán mantener en posición vertical y en contacto con la barra o esfera por medio de tornillos accionados por resorte, que los mantienen en contacto con la barra pivote o esfera.

3.2.3.3 La placa superior de carga y la esfera del punto central mostrados en la Figura 414 - 1 se pueden omitir cuando se

use un bloque apoyado sobre una rótula, siempre que a los bloques superiores de aplicación de carga se les provea de una barra y una esfera como pivotes.

4 ESPÉCIMEN DE ENSAYO

- 4.1** El espécimen de ensayo debe cumplir con los requisitos de la norma que le sea aplicable entre las siguientes: INV E-402, INV E-418 o INV E-420. Además, debe tener una luz libre entre apoyos igual a tres veces su altura, con una tolerancia del 2 %. Los lados de la viga deben formar ángulos rectos con las caras superior e inferior. Todas las superficies deben ser lisas y libres de huellas, muescas, agujeros o inscripciones.

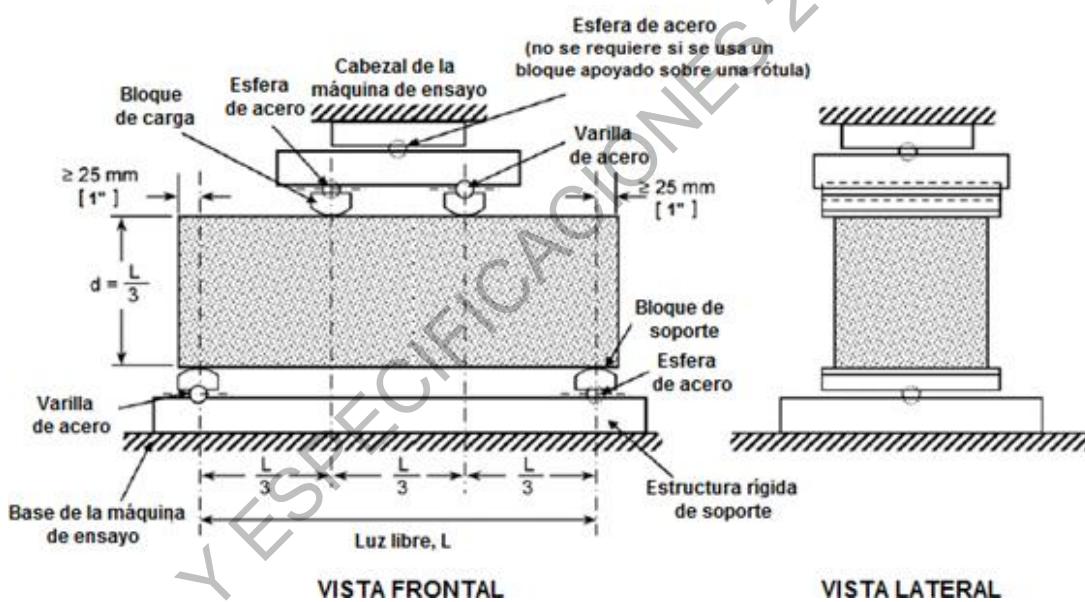


Figura 414 - 1. Diagrama de un equipo adecuado para el ensayo de flexión del concreto usando una viga simplemente apoyada, cargada en los tercios de la luz libre

5 PROCEDIMIENTO

- 5.1** Los ensayos de flexión sobre especímenes curados en húmedo se deben realizar tan pronto como sea posible luego de su remoción del sitio de curado. El secado de las superficies del espécimen se traduce en una reducción de la resistencia a flexión medida.

- 5.2** Cuando se ensayan especímenes moldeados, se gira la muestra sobre un lado con respecto a su posición de moldeo y se centra sobre los bloques de soporte. Cuando se ensayan especímenes aserrados, se deben colocar de manera que la cara sometida a tensión coincida con la parte superior o inferior del espécimen, tal como fue cortado del material de donde proviene. Se centra el sistema de carga con relación a la fuerza aplicada. Se ponen los bloques de aplicación de carga en contacto con la superficie del espécimen en los puntos tercios entre los bloques de soporte y se aplica una carga entre el 3 % y el 6 % de la carga última estimada. Utilizando calibradores normalizados de lámina, de 0.1 mm (0.004") y de 0.40 mm (0.015"), se determina si se presenta algún vacío entre el espécimen y los bloques de carga o de soporte, mayor o menor al espesor de los calibradores, en una longitud de 25 mm (1") o mayor. Mediante esmerilado, refrentado o la colocación de láminas de cuero sobre la superficie del espécimen, se elimina cualquier vacío mayor de 0.1 mm (0.004"). Las láminas de cuero deben tener un espesor uniforme de 6 mm ($\frac{1}{4}$ ") y un ancho de 25 a 50 mm (1 a 2"), y se deben extender a través del ancho total del espécimen. Los vacíos mayores de 0.40 mm (0.015") se deben eliminar solo por refrentado o esmerilado de la superficie. El esmerilado de las superficies laterales del espécimen se debe minimizar, ya que puede variar sus características físicas y afectar los resultados del ensayo. Si se opta por el refrentado, se deberá aplicar de acuerdo con la norma INV E-403.
- 5.3** La carga se debe aplicar de manera continua sin cambios bruscos de velocidad, a una velocidad que incremente constantemente el esfuerzo sobre la cara en tensión entre 0.9 y 1.2 MPa/min (125 y 175 lbf/pg²/min), hasta que ocurra la rotura (Figura 414 - 2). La velocidad de carga se calcula con la siguiente ecuación:

$$r = \frac{S b d^2}{L}$$

[414.1]

- Donde: r: Velocidad de carga, N/min (lbf/min);
- S: Rata de incremento en el esfuerzo máximo sobre la cara en tensión, MPa/min (lbf/pg²/min);
- b: Ancho promedio del espécimen, mm (pg.);
- d: Altura promedio del espécimen, mm (pg.);
- L: Longitud de la luz libre del espécimen, mm (pg.).

6 MEDICIÓN DE LOS ESPECÍMENES DESPUÉS DEL ENSAYO

- 6.1** Para determinar las dimensiones de la sección transversal del espécimen a usar en el cálculo del módulo de rotura, las medidas se deben tomar luego del ensayo, a través de una de las caras fracturadas. El ancho y la altura se miden con el espécimen orientado en la posición del ensayo. Para cada dimensión, se toma una medida en cada borde y otra en el centro de la sección transversal. Se usan las tres medidas en cada dirección, para determinar los valores promedio del ancho y de la altura. Todas las medidas se deben tomar con aproximación a 1 mm (0.05").
- 6.2** Si la fractura ocurre en una sección refrentada, el espesor de refrentado se deberá incluir en la medida.



Figura 414 - 2. Instante de la falla de la viga

7 CÁLCULOS

- 7.1** Si la fractura se inicia en la zona de tensión, dentro del tercio medio de la luz libre, el módulo de rotura se calcula con la ecuación:

$$R = \frac{P L}{b d^2} \quad [414.2]$$

Donde: R: Módulo de rotura, MPa (lb/pg²);

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

L: Luz libre entre apoyos, mm (pg.);

b: Ancho promedio del espécimen en el sitio de la fractura, mm (pg.);

d: Altura promedio de la muestra en el sitio de la fractura, mm (pg.).

- 7.2** Si la fractura ocurre en la zona de tensión, fuera del tercio medio de la luz libre, pero a una distancia no mayor de 5 % de la luz libre, el módulo de rotura se calcula con la ecuación:

$$R = \frac{3 P a}{b d^2} \quad [414.3]$$

Donde: a: Distancia promedio entre la línea de fractura y el soporte más cercano, medida sobre la superficie de tensión de la viga, mm (pg.).

- 7.3** Si la fractura ocurre en la superficie de tensión y fuera del tercio medio de la luz libre en más del 5 % de ésta, los resultados del ensayo se deberán descartar.

8 INFORME

- 8.1** El informe de resultados debe incluir lo siguiente:

8.1.1 Número de identificación del espécimen.

8.1.2 Ancho promedio, redondeado a 1.0 mm (0.05").

8.1.3 Altura promedio, redondeada a 1.0 mm (0.05").

8.1.4 Longitud de la luz libre, en mm (pg.).

8.1.5 Máxima carga aplicada, en N (lbf).

8.1.6 Módulo de rotura calculado, redondeado a 0.05 MPa (5 lbf/pg²).

8.1.7 Datos relativos al historial de curado y a la condición de humedad aparente del espécimen en el momento del ensayo.

8.1.8 Datos relativos al esmerilado, refrentado, o uso de láminas de cuero.

8.1.9 Defectos del espécimen y si éste fue moldeado o aserrado.

8.1.10 Edad del espécimen.

9 PRECISIÓN Y SESGO

9.1 *Precisión* – Se ha observado que el coeficiente de variación de los resultados del ensayo depende del nivel de resistencia de las vigas.

9.1.1 El coeficiente de variación hallado para un solo operador es 5.7 %. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos realizados apropiadamente por el mismo operador sobre vigas hechas de la misma amasada de concreto, no deben diferir en más de 16 %.

9.1.2 El coeficiente de variación hallado para ensayos multilaboratorio es 7 %. Por lo tanto, los resultados de los ensayos efectuados en dos laboratorios sobre vigas elaboradas a partir de la misma amasada de concreto, no deben diferir en más de 19 %.

9.2 *Sesgo* – Debido a que no hay ninguna norma aceptada para la determinación del sesgo para este método de ensayo, no se hace ninguna declaración al respecto.

10 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C78/C78M – 10

ANEXO A (Aplicación obligatoria)

VERIFICACIÓN DE LA CARGA APLICADA POR LAS MÁQUINAS DE ENSAYO

A.1 *Bases de verificación.*

A.1.1 El porcentaje de error de las cargas dentro del rango de carga de la máquina de ensayo no debe exceder de $\pm 1.0\%$. La diferencia algebraica entre los errores de dos aplicaciones de la misma fuerza

(repetibilidad) no debe ser superior a 1.0 %. Esto quiere decir que el informe de verificación de una máquina de ensayo indicará el rango de carga verificado dentro del cual se puede utilizar, en lugar de informar su aceptación o rechazo. En máquinas que tengan múltiples rangos de capacidad, se debe indicar cada rango de carga verificado.

- A.1.2** En ningún caso, el rango de carga verificado se establecerá incluyendo las cargas por debajo del rango de fuerzas aplicadas durante el ensayo de verificación.
- A.1.3** Las máquinas de ensayo pueden ser más o menos exactas que el porcentaje permitido de error del 1 %. Los sistemas con exactitudes de error mayores de este valor no cumplen los requerimientos de esta norma.

A.2 *Correcciones.*

- A.2.1** La carga indicada por una máquina de ensayo que exceda la variación admisible no se podrá corregir mediante cálculos ni diagramas de calibración, con el fin de obtener valores dentro de la variación permisible requerida.

A.3 *Intervalos de tiempo entre verificaciones.*

- A.3.1** Se recomienda que las máquinas de ensayo se verifiquen anualmente o con mayor frecuencia si se requiere. En ningún caso, el intervalo de tiempo entre verificaciones debe exceder de 18 meses, excepto en máquinas en las que se está realizando una prueba con duración mayor a 18 meses. En este caso, la máquina se debe verificar después de terminar el ensayo.

- A.3.2** Las máquinas de ensayo se deben verificar inmediatamente después de una reparación (incluye partes nuevas o reparadas o ajustes mecánicos o eléctricos) que pueda afectar de cualquier manera la operación del sistema de pesaje o los valores desplegados por ellas.

- A.3.2.1** Ejemplos de partes nuevas o de reemplazo que pueden no afectar la operación del sistema de pesaje son los siguientes: impresoras, monitores de computador, teclados y módems.

- A.3.3** Se requiere una verificación inmediatamente después de que la máquina sea relocalizada (excepto si las máquinas están diseñadas para ser movidas de un lugar a otro en su uso normal), y siempre que exista un motivo para dudar de la exactitud de los resultados de la

carga indicados por la máquina, sin importar el tiempo transcurrido desde la última verificación.

A.4 Aseguramiento de la exactitud entre verificaciones.

- A.4.1** Algunos procedimientos de ensayo de productos pueden requerir revisiones cortas diarias, semanales o mensuales, para determinar que la máquina de ensayo es capaz de entregar valores exactos de carga entre las verificaciones especificadas en el numeral A.3.
- A.4.2** Las revisiones cortas se efectúan aproximadamente en el 20 y el 80 % del rango de interés, a menos que se acuerde de otra manera entre el proveedor del material y el cliente.
- A.4.3** El error de la máquina de ensayo no debe exceder del $\pm 1.0\%$ de las cargas aplicadas para la revisión corta. Si los errores son mayores de $\pm 1.0\%$ en cualquiera de los niveles de carga usados en la revisión corta, la máquina de ensayo se debe verificar inmediatamente (Ver numeral A.3.3).
- A.4.4** Se debe mantener un registro de las revisiones cortas.
- A.4.5** La máquina de ensayo se considera verificada hasta la fecha de la última revisión corta exitosa (Ver numeral A.4.3), siempre que sea verificada de acuerdo con el numeral A.3 o con una programación regular. De otro modo, no se permiten las revisiones cortas.
- A.4.6** Cuando se hacen revisiones cortas, se debe mantener un registro claro y conciso de lo acordado entre el proveedor y el usuario. El registro debe contener, también, información sobre los datos de las verificaciones regulares y la programación.