

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO

INV E – 410 – 13

1 OBJETO

1.1 Este método de ensayo se refiere a la determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto, tanto cilindros moldeados como núcleos extraídos, y está limitado a concretos con una densidad superior a 800 kg/m^3 (50 lb/pe^3).

1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E-410-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

2.1 El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a cilindros moldeados o a núcleos, con una velocidad de carga prescrita, hasta que se presente la falla. La resistencia a la compresión se determina dividiendo la máxima carga aplicada durante el ensayo por la sección transversal del espécimen.

3 IMPORTANCIA Y USO

3.1 Los resultados de este ensayo se usan como base para el control de calidad de las operaciones de dosificación, mezclado y colocación del concreto; para verificar el cumplimiento de especificaciones; para evaluar la efectividad de los aditivos, y para otros usos similares.

3.2 Mediante este método de ensayo se determina la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos preparados y curados de acuerdo con las normas INV E-402, INV E-403, INV E-418 e INV E-420.

3.3 Se debe tener cuidado al interpretar el significado de las determinaciones de la resistencia a la compresión mediante este método de ensayo, por cuanto la resistencia no es una propiedad fundamental o intrínseca de un concreto elaborado con determinados materiales. Los valores obtenidos dependen del tamaño y de la forma del espécimen, de la amasada de la cual se toma la muestra, de los procedimientos de mezclado, de los métodos de muestreo, del

moldeo del espécimen, de la edad a la cual se realiza el ensayo, de la temperatura y de las condiciones de humedad durante el curado.

4 EQUIPO

4.1 *Máquina de ensayo* – La máquina de ensayo debe ser de un tipo que tenga suficiente capacidad de carga y que satisfaga las condiciones de velocidad descritas en el numeral 6.5.

4.1.1 La calibración de la máquina de ensayo se debe realizar de acuerdo con la práctica ASTM E 4, "Práctica para la verificación de la carga de las máquinas de Ensayo", excepto que el rango de carga verificado deberá ser el indicado en el numeral 4.3. La verificación se requiere en las siguientes situaciones:

4.1.1.1 Al menos anualmente y nunca después de trece (13) meses.

4.1.1.2 En la instalación original o inmediatamente después de reubicar la máquina.

4.1.1.3 Inmediatamente después de hacer reparaciones o ajustes que puedan afectar de cualquier modo la operación del sistema de aplicación de fuerza o los valores desplegados por el sistema de indicación de carga, excepto para los ajustes a cero que compensan la masa de los bloques de carga o del espécimen, o ambos.

4.1.1.4 Siempre que exista alguna razón para dudar de la exactitud de las cargas indicadas, sin tener en cuenta el tiempo transcurrido desde la última verificación.

4.1.2 *Diseño* – La máquina debe operar con electricidad y aplicar la carga de una manera continua y no en forma intermitente, y sin impactos. Si sólo tiene una velocidad de carga (que cumpla los requisitos del numeral 6.5), deberá estar provista de medios suplementarios para cargar a una velocidad apropiada para verificación. Estos medios suplementarios de carga se pueden operar manualmente o por medio de motor.

4.1.2.1 El espacio disponible para los especímenes de ensayo debe ser lo suficientemente grande para acomodar, en posición

legible, un aparato de calibración elástica de suficiente capacidad para cubrir el intervalo potencial de carga de la máquina de ensayo, que cumpla con los requisitos de la práctica ASTM E 74.

Nota 1: Los aparatos de calibración elástica de mayor disponibilidad y uso para este propósito, son el anillo circular de prueba y las celdas de carga.

4.1.3 Exactitud – La exactitud de la máquina de ensayo debe cumplir los siguientes requisitos:

4.1.3.1 El porcentaje de error de las cargas dentro del rango propuesto para uso de la máquina, no debe exceder de ± 1.0 % de la carga indicada.

4.1.3.2 La exactitud de la máquina de ensayo se debe verificar aplicando cinco (5) cargas de ensayo en cuatro (4) incrementos aproximadamente iguales, en orden ascendente. La diferencia entre dos cargas de ensayo sucesivas cualesquiera, no debe exceder en más de un tercio la diferencia entre las cargas de ensayo máxima y mínima.

4.1.3.3 La carga del ensayo, tal y como es indicada por la máquina de ensayo, y la carga aplicada calculada a partir de las lecturas de los elementos de verificación, se deben registrar en cada punto de ensayo. Se deben calcular el error, E, y el porcentaje de error, E_p , para cada punto de estos datos, con las ecuaciones:

$$E = A - B \quad [410.1]$$

$$E_p = \frac{A - B}{B} \times 100 \quad [410.2]$$

Donde:

A:	Carga indicada por la máquina que está siendo verificada, kN (lbf);
B:	Carga aplicada, determinada por el elemento de calibración, kN (lbf).

4.1.3.4 En el informe de verificación de una máquina de ensayo se debe indicar dentro de qué intervalo de carga se encontró que ella se ajusta a los requisitos de la especificación, en lugar de informar una aceptación o un rechazo general. En ningún caso, el intervalo de carga declarado deberá incluir cargas por debajo del valor que sea 100 veces el cambio más pequeño de carga que pueda estimar el mecanismo indicador de carga de la máquina de ensayo o cargas dentro de aquella porción del intervalo por debajo del 10 % de la máxima capacidad del rango.

4.1.3.5 En ningún caso se deberá declarar el intervalo de carga incluyendo cargas por fuera del rango de las aplicadas durante el ensayo verificación.

4.1.3.6 La carga indicada por una máquina de ensayo no se debe corregir mediante cálculos, ni mediante el uso de diagramas de calibración, para obtener valores dentro de la variación permisible requerida.

4.2 La máquina de ensayo debe estar equipada con dos bloques de carga de acero con caras endurecidas (nota 2), uno de los cuales es un bloque de asiento con un sistema de rótula, el cual descansará sobre la superficie superior del espécimen, y el otro un bloque sólido sobre el cual se apoyará el espécimen. Las superficies de los bloques que estarán en contacto con el espécimen deben tener una dimensión, al menos, 3 % mayor que el diámetro del espécimen a ensayar. Excepto para los círculos concéntricos descritos a continuación, las caras de carga no se deben separar de un plano en más de 0.02 mm (0.001") en cualesquiera de los 150 mm (6") de los bloques de 150 mm (6") de diámetro o mayores, o en más de 0.02 mm (0.001") en el diámetro de cualquier bloque menor. Los bloques nuevos se deben fabricar con la mitad de esta tolerancia. Cuando el diámetro de la cara de carga del bloque con rótula exceda el diámetro del espécimen en más de 13 mm (0.5"), se deben grabar círculos concéntricos con una profundidad no mayor de 0.8 mm (0.03") y un ancho no mayor de 1.0 mm (0.04"), para facilitar el centrado.

Nota 2: La dureza Rockwell de las caras de los bloques de carga utilizados para este ensayo no debe ser menor de HRC 55.

4.2.1 El bloque inferior de carga debe cumplir los siguientes requisitos:

4.2.1.1 Debe ser adecuado para proveer una superficie maquinada que provea las condiciones superficiales especificadas (nota

3). Sus superficies superior e inferior deben ser paralelas. Si la máquina de ensayo está diseñada para que la platina se mantenga fácilmente por sí misma en la condición superficial especificada, no se requiere el bloque inferior. Su dimensión horizontal menor debe ser, al menos, 3 % mayor que el diámetro del espécimen que se ensaya. Los círculos concéntricos descritos en el numeral 4.2, son opcionales en el bloque inferior.

Nota 3: El bloque se debe poder asegurar a la platina de la máquina de ensayo.

4.2.1.2 Se debe hacer un centrado final con respecto al bloque superior esférico. Cuando se use el bloque inferior para ayudar al centrado del espécimen, el centro de los anillos concéntricos, cuando estos existan, o el centro del bloque mismo, debe estar directamente debajo del centro de la cabeza esférica. Se deben tomar provisiones en la platina de la máquina para asegurar dicha posición

4.2.1.3 El bloque de carga inferior debe tener, al menos, 25 mm (1") de espesor cuando sea nuevo, y no menos de 22.5 mm (0.9") después de cualquier operación de afinado de su superficie.

4.2.2 El bloque de carga con sistema de rótula (asiento esférico) debe cumplir los siguientes requisitos:

4.2.2.1 El diámetro máximo de la cara de carga del bloque con rótula no debe exceder los valores que se dan en la Tabla 410 - 1.

Tabla 410 - 1. Especificaciones sobre el diámetro de la cara de carga

DIÁMETRO DEL ESPÉCIMEN DE ENSAYO, mm (pg.)	DIÁMETRO MÁXIMO DE LA CARA DE CARGA, mm (pg.)
50 (2)	105 (4)
75 (3)	130 (5)
100 (4)	165 (6.5)
150 (6)	255 (10)
200 (8)	280 (11)

Nota 4: Se aceptan las superficies de apoyo cuadradas, siempre y cuando el diámetro máximo del círculo inscrito más grande no exceda el diámetro indicado en la tabla.

4.2.2.2 El centro de la rótula debe coincidir con la superficie de la cara de carga dentro de una tolerancia de $\pm 5\%$ del radio de la esfera. El diámetro de la esfera debe ser, al menos, el 75 % del diámetro de la muestra que se va a ensayar.

4.2.2.3 La rótula y su casquete deben estar diseñados de forma que el acero en el área de contacto no sufra deformaciones permanentes cuando se cargue a la capacidad de la máquina de ensayo.

Nota 5: El área de contacto preferida es en forma de anillo, como se muestra en la Figura 410 - 1.

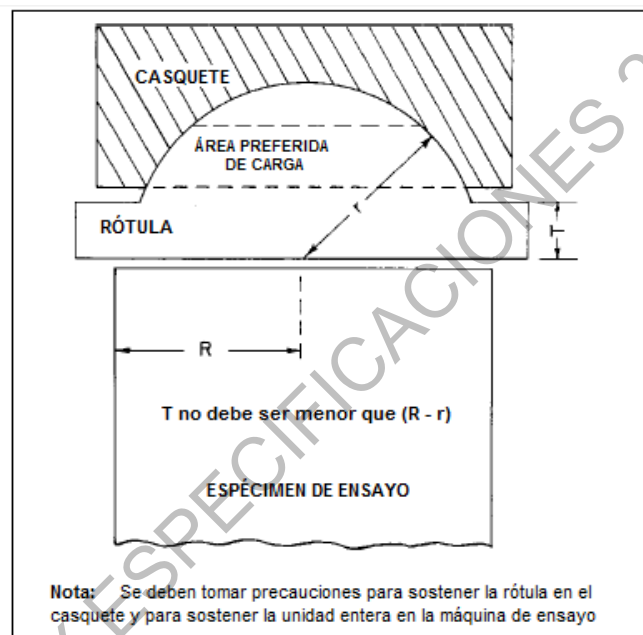


Figura 410 - 1. Dibujo esquemático de un bloque de carga típico con rótula

4.2.2.4 Al menos cada seis meses, o según lo especifique el fabricante de la máquina, se deben limpiar y lubricar las superficies curvas de la rótula y del casquete con aceite de motor convencional o con el que indique el fabricante.

Nota 6: Para asegurar un ajuste uniforme, la cabeza esférica está diseñada para inclinarse libremente a medida que hace contacto con la superficie superior del espécimen. Luego del contacto, cualquier rotación posterior es indeseable. La fricción entre el casquete y la porción esférica de la cabeza brinda restricción contra una rotación posterior durante la carga. Un aceite derivado del petróleo, como el empleado para la lubricación de motores, permite el desarrollo de una fricción adecuada. La grasa de aplicación a presión puede reducir la fricción deseada y permitir una rotación indeseable de la cabeza esférica y no se debe usar, a menos que lo recomiende el fabricante de la máquina.

- 4.2.2.5** Si el radio de la rótula es más pequeño que el radio del espécimen más grande a ser ensayado, la porción de la superficie de carga que se extiende más allá de la rótula debe tener un espesor no menor que la diferencia entre el radio de la rótula y el radio del espécimen. La menor dimensión de la superficie de carga debe ser, al menos, igual al diámetro de la rótula (Ver Figura 410 - 1).
- 4.2.2.6** La porción móvil del bloque de carga se debe sostener ajustadamente en su asentamiento esférico, pero el diseño debe ser tal, que la cara de carga pueda rotar libremente e inclinarse al menos 4° en cualquier dirección.
- 4.2.2.7** Si la parte esférica del bloque de carga superior consiste en un diseño de dos piezas, compuesto por una porción esférica y una placa de apoyo, se debe brindar un medio mecánico para asegurar que la porción esférica quede fija y centrada sobre la placa de carga.

4.3 *Indicación de la carga:*

- 4.3.1** Si la carga de una máquina de compresión usada en ensayos de concreto se registra en un dial, éste debe tener una escala graduada que permita leer con una precisión del 0.1 % de la carga total de la escala (nota 7). El dial debe ser legible dentro del 1 % de la carga indicada a cualquier nivel de carga dado dentro del rango de carga. En ningún caso se debe considerar que el intervalo de carga de un dial incluya cargas por debajo del valor que sea 100 veces el más pequeño cambio de carga que se pueda leer sobre la escala. La escala debe estar graduada a partir de cero (0). La aguja del dial debe tener una longitud suficiente para alcanzar las marcas de graduación. El ancho del extremo de la aguja no debe exceder la distancia libre entre las graduaciones más pequeñas. Cada dial debe estar equipado con un dispositivo de ajuste al cero por fuera de la caja del dial, y accesible desde el frente de la máquina mientras se observan el cero y la aguja del dial. El dial debe estar equipado con un indicador apropiado para que, en todo momento y hasta cuando sea reiniciado, indique, con una exactitud del 1 %, la carga máxima aplicada al espécimen.

Nota 7: Se considera que la legibilidad es de 0.5 mm (0.02") a lo largo del arco descrito por el extremo de la aguja. También es legible, con razonable certeza, la mitad del intervalo de la escala cuando el espacio en el mecanismo indicador de carga está entre 1 y 2 mm (0.04 y 0.06"). Cuando el espacio está entre 2 y 3 mm (0.06 y 0.12"), se puede leer con certeza hasta 1/3 del intervalo de la escala. Cuando el espacio es de 3 mm (0.12") o mayor, la legibilidad confiable es de ¼ del intervalo de la escala.

- 4.3.2** Si la máquina de ensayo indica la carga en forma digital, la representación visual del número debe tener el tamaño suficiente para que se pueda leer con facilidad. El incremento numérico debe ser igual o menor al 0.10 % de la carga total de la escala de un rango de carga dado. En ningún caso, el rango de carga verificado debe incluir cargas por debajo del valor que sea 100 veces el mínimo incremento numérico. La exactitud de la carga indicada debe estar dentro del 1.0 % de la carga desplegada en cualquier nivel dentro del rango de carga verificado. Se deben realizar los ajustes necesarios para que el medidor indique el cero verdadero cuando se encuentre con carga cero (0). Se debe proveer un indicador de carga máxima que, en todo momento, hasta cuando la máquina sea vuelta a poner en cero, indique con una precisión del 1 % la carga máxima que fue aplicada al espécimen.

5 ESPECÍMENES DE ENSAYO

- 5.1** Los especímenes no se deben ensayar si cualquier diámetro de un cilindro difiere, en más de 2 %, de otro diámetro del mismo cilindro (nota 8).

Nota 8: Esto puede ocurrir cuando los moldes de un solo uso se dañen o deformen durante su transporte o cuando se deformen durante el moldeo por ser muy flexibles, o cuando un núcleo se deflece o se tuerza durante el proceso de perforación.

- 5.2** Ninguna de las bases de los especímenes de ensayo se debe separar de la perpendicularidad respecto del eje del espécimen en más de 0.5° (equivalentes a 3 mm en 300 mm [0.12" en 12"] aproximadamente). Los extremos de un espécimen que no sea plano dentro de 0.05 mm (0.002"), deben ser aserrados o esmerilados, o refrentados de acuerdo con lo indicado en la norma INV E-403 o, si se permite, de acuerdo con la norma INV E-408. El diámetro usado para calcular la sección transversal del espécimen se debe determinar con una precisión de 0.25 mm (0.01"), promediando dos diámetros medidos en ángulo recto, uno con respecto al otro, en la mitad del espécimen (Figura 410 - 2).

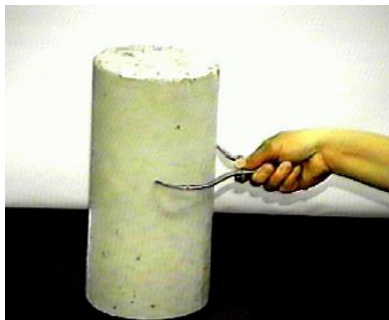


Figura 410 - 2. Medida del diámetro de un cilindro

- 5.3** El número de cilindros individuales medidos para la determinación del diámetro promedio se puede reducir a uno por cada diez especímenes o a tres especímenes por día, el que sea mayor, si se sabe que todos los cilindros han sido hechos de un único lote de moldes reutilizables o de moldes de un solo uso que producen consistentemente especímenes con diámetros promedio con una variación no mayor de 0.50 mm (0.02"). Cuando el diámetro promedio presenta un rango de variación mayor de 0.50 mm (0.02") o cuando los cilindros no están hechos de un lote único de moldes, cada cilindro ensayado se debe medir y el diámetro obtenido se debe emplear en los cálculos de la resistencia a la compresión del respectivo cilindro. Cuando los diámetros se miden con una frecuencia reducida, las áreas de todos los cilindros ensayados en un determinado día se calcularán a partir del diámetro promedio de los tres (3) o más cilindros que representen el grupo ensayado dicho día.
- 5.4** Si el cliente que requiere los servicios de ensayo solicita también la determinación de la densidad de los especímenes, la masa de ellos se deberá determinar antes del refrentado. Se debe remover cualquier humedad de la superficie con una toalla y medir la masa de cada espécimen usando una balanza o báscula, con una precisión del 0.3 % de la masa que esté siendo medida. Se deberá medir la longitud de cada cilindro con una aproximación de 1 mm (0.05"), en tres partes espaciadas regularmente alrededor de la circunferencia. Se debe calcular la longitud promedio redondeada a 1 mm (0.05"). Alternativamente, la densidad del cilindro se puede determinar pesándolo primero en el aire y luego sumergido en agua a $23 \pm 2^\circ \text{C}$ ($73.5 \pm 3.5^\circ \text{F}$), y calculando el volumen de acuerdo con lo indicado en el numeral 7.3.1.
- 5.5** Cuando no se requiera determinar la densidad, y la relación longitud/diámetro del cilindro sea menor de 1.8 o mayor de 2.2, la longitud de éste se deberá medir aproximada a 0.05D.

6 PROCEDIMIENTO

- 6.1** Los ensayos de compresión de especímenes curados en agua se deben hacer inmediatamente después de removerlos del lugar de almacenamiento húmedo.
- 6.2** Los especímenes se deben mantener húmedos, utilizando cualquier método conveniente, durante el período transcurrido desde su remoción del lugar de almacenamiento hasta el instante del ensayo. Se deberán ensayar en condición húmeda.

- 6.3** Todos los especímenes para ensayar a una edad determinada, se deben romper dentro de los plazos indicados en la Tabla 410 - 2.

Tabla 410 - 2. Plazo para ensayar los especímenes luego del curado

EDAD DEL ENSAYO	PLAZO
24 horas	± 0.5 horas o 2.1%
3 días	2 horas o 2.8%
7 días	6 horas o 3.6%
28 días	20 horas o 3.0%
90 días	2 días o 2.2%

- 6.4** *Colocación del espécimen* – Se coloca el bloque de carga inferior sobre la plataforma o platina de la máquina de ensayo, con su cara endurecida hacia arriba y directamente debajo del bloque de carga superior. Se limpian con un paño las superficies de los bloques superior e inferior y se coloca el espécimen sobre el bloque inferior. Se alinea cuidadosamente el eje del espécimen con el centro de empuje del bloque superior.

- 6.4.1** *Verificación del cero y del asentamiento del bloque* – Antes de ensayar el espécimen, se debe verificar que el indicador de carga esté ajustado en cero y si no lo está, se deberá hacer el ajuste correspondiente (nota 9) Luego de colocar el espécimen en la máquina, pero antes de aplicarle carga, se debe inclinar suavemente la porción esférica con la mano, para que la cara de carga quede completamente paralela con la superficie superior del espécimen.

Nota 9: La técnica a usar para verificar y ajustar a cero el indicador de carga depende del tipo de máquina. Se deberá consultar el manual de operación para proceder correctamente.

- 6.5** *Velocidad de carga* – La carga se debe aplicar continuamente y sin impacto.

- 6.5.1** La carga se debe aplicar a una velocidad correspondiente a una tasa de aplicación de esfuerzo de 0.25 ± 0.05 MPa/s (35 ± 7 lbf/pg²/s) sobre el espécimen (nota 10). La velocidad escogida se debe mantener, al menos, durante la segunda mitad de la fase de carga prevista.

Nota 10: Para una máquina operada con tornillo o de desplazamiento controlado, será necesario realizar un ensayo preliminar para establecer la velocidad de movimiento requerida para generar la tasa de esfuerzo especificada. Dicha velocidad dependerá del tamaño del cilindro, del módulo elástico del concreto y de la rigidez de la máquina de ensayo.

- 6.5.2** Durante la aplicación de la primera mitad de la fase de carga prevista, se permite una velocidad de carga mayor, siempre que ella se controle para evitar que el espécimen se someta a cargas de impacto.
- 6.5.3** La velocidad de movimiento no se deberá ajustar cuando se está alcanzando la carga última y la tasa de esfuerzo decrece debido al agrietamiento del cilindro.
- 6.6** Se aplica la carga de compresión hasta que el indicador de carga señale que ella comienza a decrecer progresivamente y el cilindro muestre un patrón de fractura bien definido (tipos 1 a 4 de la Figuras 410 - 3 y 410 - 4). Si se usa una máquina equipada con un detector de rotura del espécimen, no se permitirá apagarla hasta que la carga haya caído a un valor menor de 95 % de la máxima. Cuando se ensayan cilindros con tapas de refrentado no adheridas, puede ocurrir una fractura de esquina antes de alcanzar la capacidad última del espécimen, como lo muestran los tipos 5 y 6 de la Figura 410 - 3; en tal caso, se debe continuar la compresión hasta que se tenga la certeza de haber alcanzado la capacidad última. Se registra la máxima carga soportada por el cilindro durante el ensayo y se anota el patrón de falla de acuerdo con los esquemas de la Figura 410 - 3, si se ajusta a alguno de ellos. En caso contrario, se deberán elaborar un dibujo y una descripción breve del tipo de fractura producido. Si la resistencia medida es muy inferior a la esperada, se examina el cilindro fracturado para detectar zonas con vacíos grandes o con evidencias de segregación o si la fractura atraviesa partículas del agregado grueso, y se verifica, también, si el refrentado del espécimen se ajustó a lo establecido en las normas INV E-403 o INV E-408, la que corresponda.

7 CÁLCULOS

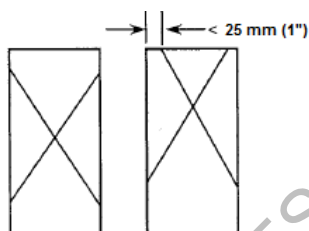
- 7.1** Se calcula la resistencia a la compresión, dividiendo la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo, por el área promedio de su sección transversal, determinada en la forma descrita en la Sección 5. El resultado se debe expresar redondeado a 0.1 MPa (10 lbf/pg²).
- 7.2** Si la relación longitud/ diámetro (L/D) del espécimen es 1.75 o menor, se debe corregir el resultado obtenido en el numeral 7.1, multiplicándolo por el factor apropiado de los que se indican a en la Tabla 410 - 3 (se deberá interpolar para valores intermedios de L/D) (notas 11 y 12):

Tabla 410 - 3. Factores de corrección según la relación longitud/diámetro

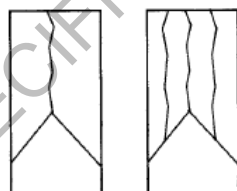
L/D	FACTOR DE CORRECCIÓN				
0.50	-	-	0.59	-	0.53
1.00	0.87	0.80	0.81	0.82	0.83
1.25	0.93	0.87	-	-	0.92
1.50	0.96	0.92	0.92	0.98	0.97
1.75	0.98	0.97	-	-	0.99
2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3.00	-	-	-	1.03	-
Referencia	ASTM	BSI	Lewandowski	Sangha	Chung

Nota 11: Los factores de corrección dependen de varias condiciones, entre ellas la condición de humedad, el nivel de resistencia y el módulo elástico. Los valores recomendados por la ASTM son promedios y aplican a concretos livianos con densidades entre 1600 y 1920 kg/m³ (100 a 120 lb/pie³) y a concretos de densidad normal. Son aplicables a concretos secos o húmedos en el momento de la carga y a concretos con una resistencia nominal entre 14 y 42 MPa (2000 a 6000 lbf/pg²). Para concretos de resistencia superior a 42 MPa (6000 lbf/pg²), los factores de corrección pueden ser mayores que los mostrados en la tabla. Ver referencia: Barlett, F.M. y J.G. MacGregor. "Effect of Core Length-to-Diameter Ratio on Concrete Core Strength", ACI Materials Journal, Vol. 91, No. 4, July-August, 1994, pp. 339-348.

Nota 12: Los factores de corrección propuestos por otros investigadores han sido obtenidos bajo condiciones que pueden coincidir o no con las que sirvieron de base a la ASTM para establecer sus factores. Es responsabilidad del usuario elegir el factor de corrección apropiado en cada caso, dependiendo de las condiciones que prevalezcan en los cilindros que está sometiendo a ensayo.



Tipo 1
Conos razonablemente bien formados en ambos extremos



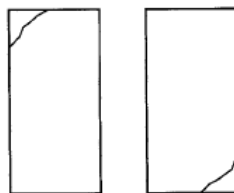
Tipo 2
Cono bien formado en un extremo pero no en el otro. Grietas verticales que llegan a los extremos



Tipo 3
Agrietamiento vertical columnar que abarca ambos extremos. No hay conos bien formados



Tipo 4
Fractura diagonal sin grietas a través de los extremos. Se debe golpear con martillo para distinguirlo del tipo 1



Tipo 5
Fracturas en las esquinas (usuales en cilindros sin refrentar)



Tipo 6
Similar al Tipo 5, pero las grietas tienden a unirse en la superficie del cilindro

Figura 410 - 3. Esquemas de patrones de falla típicos

- 7.3** Cuando se solicite, la densidad del cilindro se calculará redondeada a 10 kg/m^3 (1 lb/pie^3), de la siguiente manera:

$$\text{Densidad} = \frac{W}{V} \quad [410.3]$$

Donde: W: Masa del cilindro, kg (lb);

V: Volumen del cilindro, calculado a partir del diámetro promedio y de la longitud promedio, o pesándolo en el aire y sumergido en agua, m^3 (pies^3).

- 7.3.1** Cuando el volumen se calcula sumergiendo la muestra, se determina con la expresión:

$$V = \frac{W - W_s}{\gamma_w} \quad [410.4]$$

Donde: W_s : Masa aparente del cilindro sumergido, kg (lb);

γ_w : Densidad del agua a 23°C (73.5°F) = 997.5 kg/m^3 (62.27 lb/pie^3).

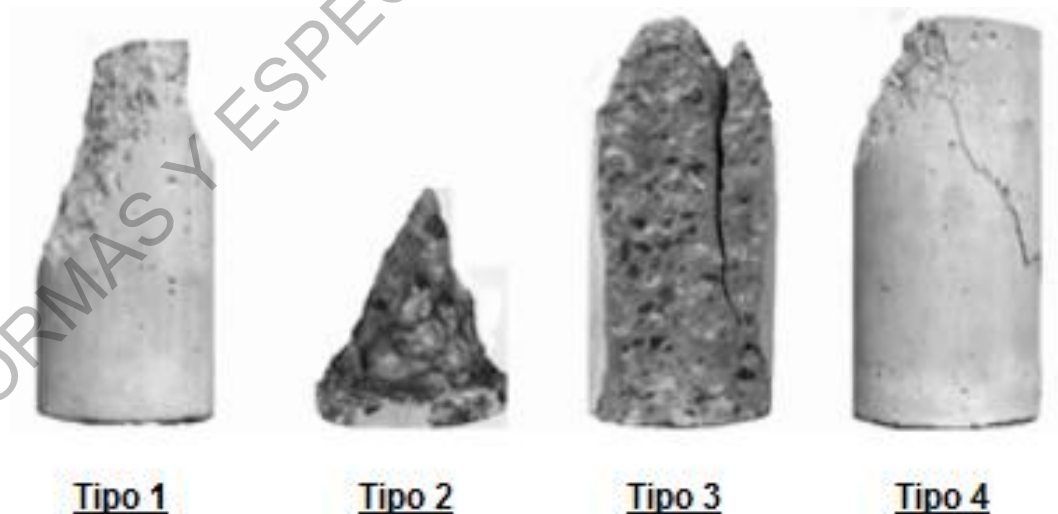


Figura 410 - 4. Fotografías de patrones de falla típicos

8 INFORME

8.1 El informe de los resultados deberá incluir:

- 8.1.1 Número de identificación del cilindro.
- 8.1.2 Diámetro promedio (y longitud medida, si está por fuera del rango de 1.8D a 2.2D), mm (pg.).
- 8.1.3 Área de la sección transversal, mm² (pg²).
- 8.1.4 Carga máxima, kN (lbf).
- 8.1.5 Resistencia a la compresión MPa (lbf/pg²), redondeada a 0.1MPa (10 lbf/pg²).
- 8.1.6 Edad del espécimen.
- 8.1.7 Defectos en el refrentado o en el espécimen.
- 8.1.8 Cuando se determine, la densidad redondeada a 10 kg/m³ (1 lb/pie³).
- 8.1.9 Patrón de fractura (Figura 410 - 3).

9 PRECISIÓN Y SESGO

9.1 Precisión:

- 9.1.1 *Precisión en un laboratorio* – La precisión de los ensayos efectuados en un laboratorio sobre cilindros de 150 × 300 mm (6 × 12") y de 100 × 200 mm (4 × 8"), elaborados de una muestra de concreto correctamente mezclada, bajo condiciones de laboratorio y de campo, se presenta en la Tabla 410 - 4 (Ver numeral 9.1.2).

Tabla 410 - 4. Declaración de precisión

PARÁMETRO	COEFICIENTE DE VARIACIÓN ^A	RANGO ACEPTABLE DE RESISTENCIA DE CILINDROS INDIVIDUALES ^A	
		2 CILINDROS	3 CILINDROS
<i>Cilindros de 150×300 mm:</i>			
Condiciones de laboratorio	2.4 %	6.6 %	7.8 %
Condiciones de campo	2.9 %	8.0 %	9.5 %
<i>Cilindros de 100×200 mm:</i>			
Condiciones de laboratorio	3.2 %	9.0 %	10.6 %

^A Estos valores representan los límites (1s %) y (d2s %)

9.1.2 Los coeficientes de variación de la Tabla 410 - 4 representan la variación esperada de la resistencia a la compresión de cilindros compañeros (duplicados) de la misma mezcla de concreto, ensayados a la misma edad en el mismo laboratorio. Los valores correspondientes a los cilindros de 150 × 300 mm (6 × 12") son aplicables a resistencias a compresión entre 15 y 55 MPa (2000 y 8000 lbf/pg²), y los de los cilindros de 100 × 200 mm (4 × 8") son aplicables a resistencias a compresión entre 17 y 32 MPa (2500 y 4700 lbf/pg²). Los coeficientes de variación de los cilindros de 150 × 300 mm (6 × 12") se obtuvieron analizando los resultados de 1265 ensayos realizados por 225 laboratorios comerciales en 1978.

9.1.3 *Precisión entre varios laboratorios* – El coeficiente de variación de los resultados de resistencia a la compresión entre varios laboratorios para los cilindros de 150 × 300 mm (6 × 12") es de 5.0 %. Por lo tanto, los resultados de ensayos realizados correctamente por dos laboratorios sobre cilindros elaborados con la misma mezcla de concreto, no se considerarán dudosos si no difieren en más de 14 % del promedio (nota 12). Un resultado de ensayo es el promedio de los valores de resistencia a compresión de dos cilindros de la misma edad.

Nota 12: La precisión entre varios laboratorios no incluye variaciones asociadas con los diferentes operarios que preparan los especímenes de muestras de concreto, fraccionadas o independientes. Es de esperar que estas variaciones incrementen el coeficiente de variación.

9.1.4 Los datos multilaboratorio fueron obtenidos de seis programas de ensayos conjuntos de resistencia, donde se prepararon especímenes cilíndricos de 150 × 300 mm (6 × 12") en un solo lugar y se ensayaron

en diferentes laboratorios. Los valores promedio de resistencia de estos programas oscilaron entre 17 y 90 MPa (2500 y 13 000 lbf/pg²).

- 9.2 Sesgo** – Como no existe un material de referencia aceptado, no se hace ninguna declaración sobre el sesgo.

10 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM C 39/C 39M – 12

ANEXO A (Informativo)

EJEMPLO DE CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CILINDRO DE CONCRETO

- A.1** Se tomaron dos medidas del diámetro de un cilindro de concreto y se obtuvieron los siguientes valores: 153.41 mm y 151.69 mm. La carga máxima soportada por el cilindro en el ensayo de compresión fue 440 000 N.
- A.2** El diámetro promedio del cilindro será $(153.41+151.69)/2 = 152.55$ mm, valor que, redondeado a los 0.25 mm más cercanos, es 152.50 mm
- A.3** La sección transversal del cilindro será:

$$A = \frac{\pi \times D^4}{4} = \frac{\pi \times 152.50^2}{4} = 18\,264.42 \text{ mm}^2$$

- A.4** La resistencia a la compresión será:

$$R_c = \frac{\text{carga máxima}}{\text{Sección transversal}} = \frac{440\,000}{18\,264.42} = 24.1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 24.1 \text{ MPa}$$