

Cilindros de concreto

Medición de la resistencia a la compresión del concreto mediante cilindros de 100 por 200 mm y de 150 por 300 mm para el control de calidad de obras

Ing. David José Aragón Matamoros
Facilitador de Calidad, Constructora Volio y Trejos
Asociados S.A.
San José, Costa Rica
djaragon@gmail.com
Ing. Alejandro Navas Carro
Director, LanammeUCR. Profesor, EIC de la UCR
San José, Costa Rica
alejandro.navas@ucr.ac.cr

Fecha de recepción:

Fecha de aprobación:

Resumen

En este estudio se comparó la resistencia a la compresión del concreto medida en cilindros de 100 por 200 mm y en cilindros de 150 por 300 mm, para dos diseños de mezclas diferentes, y dos tamaños de agregado grueso diferente. Se fabricaron y fallaron 288 cilindros de concreto, 144 a una edad de 7 días y 144 a una edad de 28 días. El estudio reveló que en promedio la resistencia medida en cilindros de 100 mm de diámetro es un 10% mayor a la resistencia medida en cilindros de 200 mm de diámetro, adicionalmente se comprobó que la desviación estándar es aproximadamente un 20% mayor en los cilindros de 100 mm de diámetro y en este caso, el tamaño máximo del agregado no influyó en la resistencia a la compresión registrada en cilindros de 100 mm por 200 mm.

Palabras clave: concreto, resistencia a la compresión, cilindros, agregados.

Abstract

This study compared the concrete's compressive strength of cylinders of 100 mm by 200 mm and 150 mm by 300 mm for two different mix designs, and two different sizes of coarse aggregate. Two hundred eighty eight concrete cylinders were made and tested; 144 at age of 7 days and 144 at age of 28 days. The study revealed that the average resistance measured in cylinders of 100 mm diameter is 10% greater than the resistance measured in cylinders of 200 mm diameter. Additionally it was found that the standard deviation is approximately 20% higher in the cylinders with a diameter of 100 mm and in this case, that the maximum aggregate size did not influence the compressive strength recorded in cylinders of 100 mm by 200 mm.

Key words: concrete, compressive strength, cylinders, aggregate.

Introducción

En la construcción de obras civiles y viales de concreto de cemento Portland se debe de llevar a cabo un programa de control de calidad mediante una serie de ensayos para garantizar el cumplimiento de las especificaciones técnicas, una de ellas su resistencia a la compresión. En Costa Rica se suelen utilizar cilindros de 150 mm por 300 mm según las especificaciones indicadas en el CR-2010 en la sección 401.14 Compactación, sin embargo la posibilidad de utilizar cilindros 100 mm por

200 mm es permitida por el ACI 318 en sus últimas versiones (08 y 11).

El código ACI 318-11S en la sección 5.6.3.2 dice que “Los cilindros deben ser de 100 por 200 mm o de 150 mm por 300 mm” (ACI-318S-11, p.76) y en la sección 5.6.2.4 establece que:

“Un ensayo de resistencia debe ser el promedio de las resistencias de al menos dos probetas de 150 mm por 300 mm o de al menos tres probetas de 100 por 200 mm, preparadas de la misma muestra de concreto y ensayadas a 28 días o a la edad de ensayo establecida para la determinación de f'_c (ACI-318S-11, p.76)

Antes de la edición del año 2008 del código ACI 318, el American Concrete Institute (ACI) solamente permitía el uso de las probetas de 150 por 300 mm, pese a que desde hace muchos años en países como Canadá se utilizan probetas de 100 por 200 mm.

Adicionalmente la norma ASTM C31M limita el uso de cilindros de 100 por 200 mm solamente a los casos en que es especificado por el proyecto para el cual se realizará la prueba, es decir que el uso de estas probetas de ensayo no es aplicable a menos que sea explícitamente solicitado.

En nuestro país aún no es común el uso de cilindros de 100 mm por 200 mm para medir la resistencia a la compresión del concreto, sino que se siguen empleando las probetas de 150 por 300 mm, tanto para concretos convencionales como para la medición en concreto con resistencias mayores a 35 MPa, y se continúan desaprovechando las ventajas que presenta la implementación del uso de las probetas más pequeñas.

Objetivos

Promover el uso de los cilindros de concreto de 100 por 200 mm para llevar a cabo las pruebas de resistencia a compresión en la construcción de carreteras.

Estudiar la posibilidad de sustituir el uso de los cilindros de concreto de 150 por 300 mm por los cilindros de concreto de 100 mm por 200 mm.

Metodología

Materiales

En este estudio se utilizó cemento Portland tipo UG-AR de Holcim, con una gravedad específica de 3,1 y una resistencia a los 28 días de 38 MPa.

El agregado fino utilizado corresponde a arena de río, proveniente del río Guápiles, con una gravedad específica de 2,74 y una absorción de 3,8% y una gradación acorde con la norma ASTM C33. Para el agregado grueso se utilizó piedra quebrada proveniente del Quebrador Cerro Minas, en Santa Ana, con tamaños máximos de 12,5 mm y 25 mm, ambos con un porcentaje de absorción menor del 2%, y distribuciones granulométricas acordes con la norma ASTM C33.

Preparación de los especímenes

Para la elaboración de las muestras se realizaron dos diseños de mezcla, uno con una resistencia nominal de 21 MPa, y un factor de seguridad de 7 MPa, el cual se denominó como mezcla A, y un segundo diseño de mezcla con una resistencia nominal de 35 MPa y un factor de seguridad de 8.3 MPa, el cual se denominó mezcla B. Los factores de seguridad fueron escogidos según las recomendaciones del ACI-318, en la sección 5.3.2.2.

En el cuadro 1 se presentan los diseños de mezcla.

Ambos diseños de mezcla se realizaron para un revenimiento de 75 a 100 mm. En cada batida se fabricaron 12 cilindros de 100 por 200 mm y 12 cilindros de 150 por 300 mm, de los cuales la mitad se falló a los 7 días y la otra mitad a una edad de 28 días. Todos los cilindros fueron fabricados según la norma ASTM C31 y fallados según la norma ASTM C39.

La velocidad de carga para todos los especímenes se mantuvo entre 0.15 y 0.3 MPa/s, según lo indica la norma ASTM C39.

Resultados

En el cuadro 2 se resumen los resultados obtenidos en esta investigación referentes a la resistencia a la compresión, para cada tamaño máximo de agregado y cada tipo de mezcla y en la figura 5.12 se muestra el histograma de frecuencias de la razón de resistencia de los cilindros de 150 mm de diámetro entre los cilindros de 100 mm de diámetro.

En promedio los cilindros de 100 por 200 mm registraron una resistencia a la compresión un 9,98% mayor a la resistencia a la compresión registrada en los cilindros de 150 por 300 mm.

La menor diferencia se presentó para la mezcla tipo A, a una edad de 7 días, con un tamaño máximo de agregado de 12,5 mm con una razón de resistencia f_{c100}/f_{c150} de 1,06, mientras que la mayor razón de resistencia f_{c100}/f_{c150} fue de 1,14, para la mezcla tipo A a los 7 días y con un tamaño máximo del agregado de 12,5 mm; la misma diferencia se presentó para la mezcla B a una edad de 7 días y para un tamaño máximo de partículas de 25 mm.

La diferencia para la mezcla A, fue levemente menor que la diferencia encontrada para la mezcla B, sin embargo ambas se acercan mucho al 10 %, valor encontrado como promedio general. Esta diferencia puede explicarse a la teoría de que la resistencia de un espécimen de concreto, está gobernada por el eslabón más débil, por lo que en especímenes de mayor tamaño, es más probable que existan mayores defectos (vacíos, microgrietas, etc) que sean los iniciadores de la falla. Asimismo, entre más pequeños los especímenes, es más probable que exista una mayor dispersión de defectos, por lo que las mediciones de resistencia se vuelven menos homogéneas. Aún así, como se puede

Cuadro 1 Diseños de mezcla

Diseño de mezcla A (21 Mpa)				Diseño de mezcla B (35 Mpa)			
Relación A/C			0.68	Relación A/C			0.48
Cemento (kg)	Arena (kg)	Piedra (kg)	Agua (L)	Cemento (kg)	Arena (kg)	Piedra (kg)	Agua (L)
32.20	95.40	74.12	21.9	45.59	83.82	74.12	21.88
Relación por peso	1	3	2.3	Relación por peso	1	1.8	1.6

Fuente: Autores, 2012

observar, estas diferencias son relativamente pequeñas.

No se encontró ninguna diferencia significativa en la resistencia a la compresión registrada para los dos tamaños de agregado utilizados.

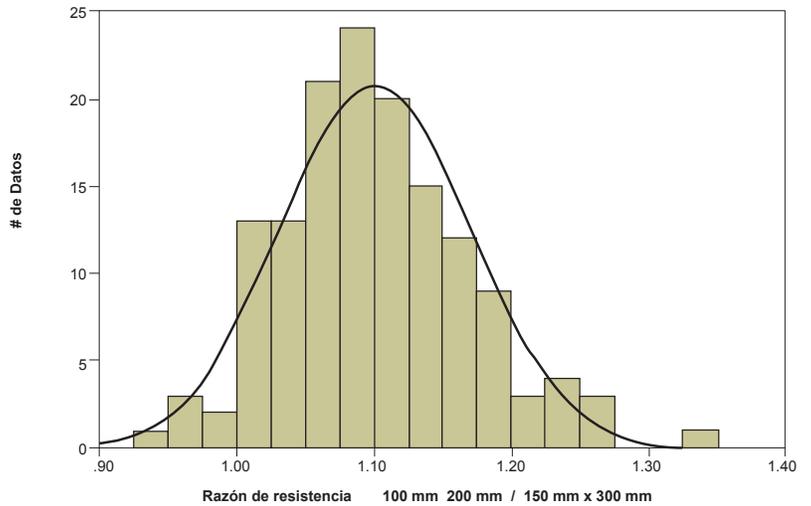
En la figura 1 se muestra el histograma de la razón f_{c100}/f_{c150} obtenido en esta investigación.

En la figura 1 se observa el comportamiento normal de los resultados obtenidos, y se observa como la media de la razón f_{c100}/f_{c150} es 1,10, la menor razón obtenida fue de 0,92 y la mayor de 1,35.

En las figuras 2, 3, 4 y 5 se muestran los gráficos de la razón de resistencia como función de la resistencia medida en cilindros de 150 por 300 mm.

Si bien no existe una relación exacta entre la razón de resistencia de los cilindros y la resistencia medida en los cilindros de 150 por 300 mm, si existe una tendencia

Histograma de frecuencias de razón de resistencia de cilindros de 100 por 200 mm entre resistencia de cilindros de 150 por 300 mm. **Figura 1**



Fuente: Autores, 2012

Diferencia de la resistencia a la compresión entre cilindros de 150 mm por 300 mm y cilindros de 100 mm por 200 mm **Cuadro 2**

Tipo de mezcla	Edad (días)	T. max agregado (mm)	Resistencia en cilindros de 150 mm por 300 mm (MPa)	Resistencia en cilindros de 100 mm por 200 mm (MPa)	Razón resistencia 100 mm x 200 mm / 150 mm x 300 m	Diferencia entre resistencias medidas (%)	Diferencia promedio entre resistencia a la compresión según tipo de mezcla (%)	Diferencia promedio entre resistencia a la compresión total (%)
A	7	12.5	18	20	1.14	14.35	8.55	9.98
A	28	12.5	29	31	1.08	7.63		
A	7	25	19	20	1.06	6.46		
A	28	25	29	31	1.06	5.78		
B	7	12.5	31	34	1.06	9.22	11.41	
B	28	12.5	41	46	1.12	12.11		
B	7	25	31	35	1.14	14.30		
B	28	25	42	46	1.10	10.02		

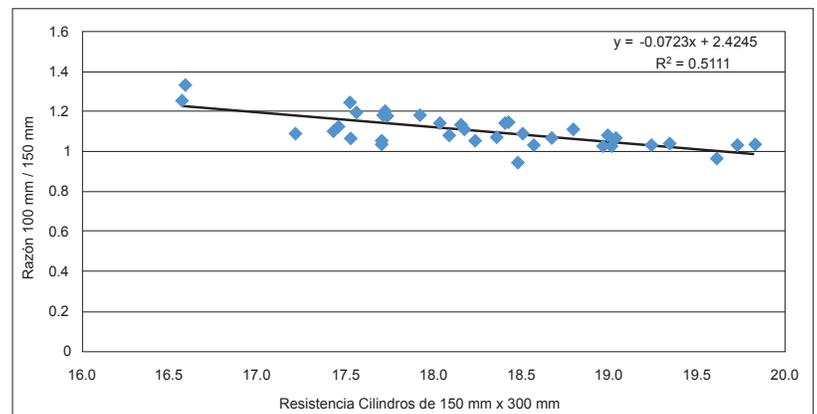
en todos los casos, conforme la resistencia medida es mayor, la razón de resistencia es menor.

En el cuadro 3 se muestra el coeficiente de variación según la edad de los cilindros y su tamaño. Y en el cuadro 4 se muestran las desviaciones estándar obtenidas.

Para los dos tamaños de cilindros se obtuvo un coeficiente de variación correspondiente a excelente según el ACI 214.

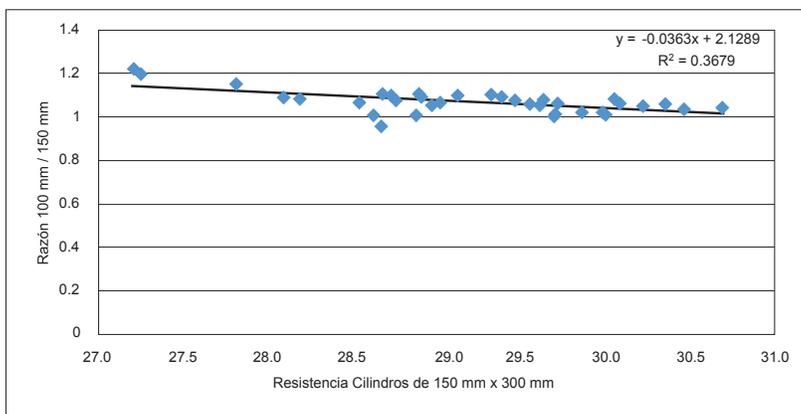
Estos valores se acercan mucho a los encontrados por Carino, 1993.

Razón de resistencia como función de resistencia en cilindros de 150 mm para mezcla A a 7d **Figura 2**



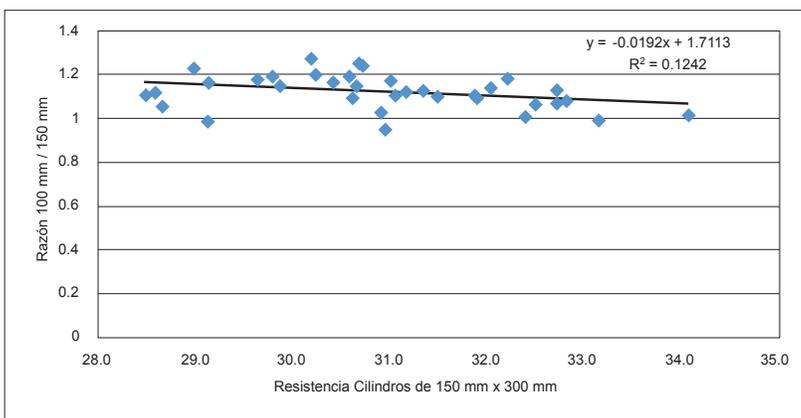
Fuente: Autores, 2012

Figura 3 Razón de resistencia como función de resistencia en cilindros de 150 mm para mezcla A a 28d



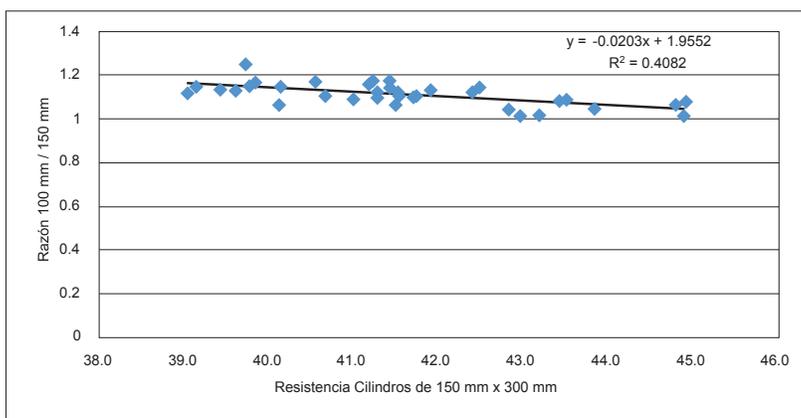
Fuente: Autores, 2012

Figura 4 Razón de resistencia como función de resistencia en cilindros de 150 mm para mezcla B a 7d



Fuente: Autores, 2012

Figura 5 Razón de resistencia como función de resistencia en cilindros de 150 mm para mezcla B a 28d



Fuente: Autores, 2012

Ventajas de los cilindros de 100 por 200 mm

El volumen de los cilindros de 100 mm de diámetro es aproximadamente un 70% menor al volumen de los cilindros de 150 mm de diámetro, de modo que se utiliza mucho menos material en su fabricación lo que los hace más baratos y al ser de un tamaño menor, los moldes utilizados en su fabricación suelen tener un precio menor en comparación con los moldes de 150 mm por 300 mm. Su peso es igualmente un 70% menor que el de los cilindros más grandes. Un cilindro de 100 mm por 200 mm pesa aproximadamente 3.5 kg, mientras que un cilindro de 150 por 300 mm pesa aproximadamente 12.5 kg, de modo que su fabricación, desmolde y falla representa un esfuerzo menor para las personas encargadas de realizar las pruebas, por lo tanto los cilindros de 100 por 200 mm son mucho más sencillos de manipular.

Al tener los cilindros de 100 por 200 mm un volumen considerablemente menor al de los cilindros de 150 por 300 mm, el aprovechamiento del espacio en la cámara húmeda se optimiza, y su manipulación es mucho más sencilla, al igual que el espacio en los vehículos donde se transporten los cilindros.

Al comparar las resistencias obtenidas tanto para ambos tamaños de cilindros, se observó que la carga aplicada por la máquina de compresión a los cilindros de 100 por 200 mm es aproximadamente un 50% menor que la carga necesaria para alcanzar la falla en los cilindros de 150 por 300 mm, de modo que se le exige mucho menos a la máquina de compresión y también se podría utilizar máquinas de menor capacidad lo cual las hace más económicas de adquirir y mantener.

Conclusiones

La resistencia medida en cilindros de 100 por 200 mm es en promedio un 10% mayor que la resistencia medida en cilindros de 150 por 300 mm, tanto para la mezcla de 21 MPa como para la mezcla de 35 MPa.

En el caso estudiado no se encontraron diferencias en la resistencia a la compresión por el efecto del tamaño máximo del agregado de 150 por 300 mm y cilindros de 100 por 200 mm.

La diferencia en la desviación estándar obtenida con los cilindros de 150 por 300 mm y los cilindros de 100 por 200 mm fue de un 23%, muy similar al 20% encontrado por Carino, 1993.

Los cilindros de 100 por 200 mm pesan un 70% que los cilindros de 150 mm por 300 mm (3.5 kg y 12.5 kg aproximadamente). Lo cual los hace mucho más sencillos de moldear y manipular.

La carga aplicada por la máquina de compresión a los cilindros de 100 por 200 mm es aproximadamente un 50% menor que la fuerza necesaria para alcanzar la falla en los cilindros de 150 por 300 mm

Es apropiado utilizar el promedio de tres cilindros de 100 por 200 mm tal como lo establece ACI-318S-11, para determinar la resistencia a la compresión del concreto, debido a que la desviación estándar es mayor que para los cilindros de 150 por 300 mm.

Se recomienda la utilización de cilindros de 100 por 200 mm para determinar la resistencia a compresión del concreto para mezclas de concreto de 21 MPa y 35 MPa, con tamaños máximos de agregado de 12,5 mm y 25 mm debido a todas las ventajas que presenta la utilización de este tamaño de cilindros.

Coefficiente de variabilidad según la edad de falla

Cuadro 3

Edad (días)	C.V Promedio cilindros 150 mm por 300 m	C.V Promedio cilindros 100 mm por 200 m
7	2.99	3.88
28	2.71	3.05

Fuente: Autores, 2012

Desviaciones estándar entre cilindros de 150 mm por 300 mm y cilindros de 100 mm por 200 mm

Cuadro 4

Tipo de mezcla	Edad (días)	T. max. agregado (mm)	Desv. est para cilindros de 150 mm por 300 mm (MPa)	Desv. est para cilindros de 100 mm por 200 mm (MPa)
A	7	12.5	0.59	1.13
A	28	12.5	1.02	1.37
A	7	25	0.60	0.92
A	28	25	0.61	0.87
B	7	12.5	1.62	2.68
B	28	12.5	1.64	1.78
B	7	25	1.19	0.59
B	28	25	1.50	1.02

Referencias

1. Alaa S. Malaikah. "Effect of Specimen Size and Shape on the Compressive Strength of High Strength Concrete", King Saud University, 2007.
2. Nasser y Mannaser, "It's time for a change 6 x 12 to 3 x 6-in. Cylinders", ACI materials Journal, mayo 1987
3. Motaz M. Elfahal and Theodor Krauthammer, "Dynamic Size Effect in Normal- and High-Strength Concrete Cylinders", ACI Materials Journal, marzo 2007
4. American Concrete Institute, Comité 214. "Evaluation of strength results of concrete", 2002
5. American Concrete Institute, Comité 318-S. "Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural". 2011.
6. American Society for Testing and Materials, ASTM C172-04 Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete. Philadelphia, PA, 2004.
7. American Society for Testing and Materials, ASTM C192-05 Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory. Philadelphia, PA, 2005.

8. American Society for Testing and Materials, ASTM C31-06 Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field. Philadelphia, PA, 2006.
9. American Society for Testing and Materials, ASTM C33-03 Standard Specifications for Concrete Aggregates. Philadelphia, PA, 2003.
10. American Society for Testing and Materials, ASTM C39-05 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. Philadelphia, PA, 2005.
11. Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. "Código Sísmico de Costa Rica 2010". Editorial Tecnológica de Costa Rica, 3era edición. Costa Rica, 2011.
12. Detwiler et al, "Variability of 4 x 8-in cylinder tests", Concrete International, mayo 2009.
13. Mihashi H, "Influence of material structure on size effect law of concrete structures", 14th international conference on structural mechanics, agosto 1997
14. N.J Carino et al., "Effects of testing variables on the strength of high-strength (90 MPa) concrete cylinders", 1993.