

COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE RESISTENCIAS A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN EMPLEANDO CILINDROS DE DIMENSIONES NO ESTANDARIZADAS

Erika A. Barbosa Guzmán - Rafael H. Gallardo Eraso***
**Ingeniería Civil Universidad Nacional*
***Ingeniero Civil Universidad Nacional*

Para el control o verificación de la calidad del concreto se ha tomado como base la medida de la resistencia a la compresión simple, la cual, desde 1920, se lleva a cabo en muchos países mediante la utilización de cilindros de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura, gracias a que al cabo de una serie de pruebas sobre especímenes de diferentes tamaños y distintas relaciones altura diámetro, las resistencias medidas sobre los cilindros de 15 x 30 cm resultaron ser muy semejantes a aquellas para las cuales se habían

diseñado las mezclas, llegándose a establecer estas dimensiones como norma para control o verificación de la calidad del concreto, recomendándose además que la relación diámetro/tamaño máximo del agregado no sea menor que tres.

A través de los años se han realizado investigaciones con el fin de proponer otro tamaño de cilindro más pequeño, como el de 10x20 cm o el de 7.5x15 cm, manteniendo siempre una

relación altura/diámetro igual a dos, que sustituya al cilindro estándar, ya que ello representa una serie de ventajas, sin desconocer que también pueden tener desventajas.

Algunas de las ventajas que se obtienen con el uso de cilindros de 10 cm x 20 cm y 7.5 cm x 15 cm son las siguientes:

- Facilidad de fabricación. El llenado de los moldes se realizará con mayor rapidez, ya que se requiere un menor volumen de concreto, aumentando así el rendimiento del personal encargado.
- Mayor facilidad en el manejo y transporte de los especímenes. El cilindro de 7.5 cm x 15 cm pesa alrededor de 1.5 kg, el de 10 x 20 cm pesa 3.6 kg, mientras que el cilindro de 15 cm x 30 cm pesa aproximadamente 12.2 kg. Esto se refleja en el manejo más cómodo de los especímenes al introducirse y retirarse del sitio de curado, adicionalmente, en el proceso de refrentado se requerirá menor tiempo y esfuerzo, lo que contribuye a aumentar el rendimiento del personal, disminuyendo el costo que implica el manejo de muestras.
- Menor capacidad de almacenamiento requerida. Por sus menores dimensiones, los especímenes cilíndricos permiten disponer de mayor espacio de almacenamiento especialmente en los cuartos o tanques de curado. El cilindro de 15 cm x 30 cm ocupa un volumen ocho veces mayor que el de un cilindro de 7.5 x 15 cm y más de tres veces el volumen del cilindro de 10x20 cm.
- Menor peso y mayor economía de los moldes.
- Menor capacidad de la máquina de ensayo. La prensa para el ensayo a la compresión simple requiere menor capacidad de carga al disminuir las dimensiones de los especímenes, siendo esto un factor de suma importancia cuando se trata de concretos de alta resistencia.
- Economía de materiales. Con el volumen

de concreto de un cilindro de 15 x 30 cm, se pueden fabricar ocho cilindros de 7.5 cm x 15 cm y cerca de 3.5 cilindros de 10 cm x 20 cm, es decir se requiere menor cantidad de concreto para fabricar cilindros de 10 cm x 20 cm y 7.5 cm x 15 cm. Adicionalmente necesitan menor cantidad de material para el refrentado.

- Economía en el transporte de las muestras. Gracias a las menores dimensiones de los cilindros, se cuenta con mayor capacidad de transporte del vehículo, utilizando incluso un vehículo con menor capacidad de carga que el que se utiliza para el transporte de los cilindros de tamaño estándar.

Por otro lado, el uso de los cilindros de 7.5 cm x 15 cm y 10 x 20 cm puede presentar desventajas como las siguientes:

- Estos especímenes podrán utilizarse, siempre y cuando el tamaño máximo del agregado grueso, no exceda 2,5 cm (1 pulgada).
- Por su menor tamaño y peso, pueden ser susceptibles de mal trato, daño e inclusive pérdida.
- Debido a los malos tratos, la incidencia en el resultado de resistencia a compresión puede ser mayor.

Este trabajo de investigación dirigido por el Ing. J. Gabriel Gómez pretende evaluar la conveniencia de emplear cilindros de 7.5 cm x 15 cm y 10 cm x 20 cm para resistencias menores a 210 kg/cm², comparando los resultados de resistencia a la compresión del hormigón de estos tamaños de probetas, con los del cilindro estándar, para lo cual se elaboraron tres diseños de mezcla 140, 170 y 200 kg/cm².

I. INVESTIGACIONES ANTERIORES

A lo largo de este artículo se usará la siguiente notación para distinguir los diferentes tamaños de los especímenes cilíndricos, basada en los diámetros de los mismos. D7.5, D10 y D15

se referirán a los cilindros de 7.5 cm x 15 cm, 10 cm x 20 cm y 15 cm x 30 cm respectivamente. Mientras que la notación TMN se referirá al Tamaño Máximo Nominal del Agregado.

Son numerosas las investigaciones llevadas a cabo con el objeto de estudiar el efecto del tamaño del cilindro sobre la medida de la resistencia del concreto. La literatura muestra resultados que comparan la resistencia de cilindros de D15 con la de cilindros de D10 y/o D7.5. Estas investigaciones datan desde 1925 cuando Gonnerman condujo un estudio acerca del efecto del tamaño y forma del espécimen sobre la resistencia del concreto, del cual concluyó que los cilindros de D10 eran convenientes siempre y cuando la relación entre el diámetro del cilindro y el tamaño máximo del agregado, (D/d), no fuera menor que 3. Afirmó además, que el incremento en la resistencia de estos cilindros respecto al estándar no era importante.

En 1927, J. Tucker fue uno de los primeros en dar una explicación teórica del efecto del tamaño del espécimen en la resistencia promedio y la dispersión de la resistencia. Concluyó que la resistencia a la compresión es independiente del diámetro, cuando se mantiene la misma relación altura/diámetro, sin embargo la desviación estándar se esperaba fuese, inversamente proporcional al diámetro, de manera que la desviación estándar de los cilindros de D10 podría ser 1.5 veces la del cilindro de D15.

En las **tablas 1 y 2** que se muestran a continuación, se resumen las relaciones propuestas y datos concernientes a investigaciones publicadas en la literatura, que comparan resultados de resistencia a la compresión del concreto entre cilindros de D15 con cilindros de dimensiones no estandarizadas, incluyendo las citadas anteriormente.

En la **tabla 2**, se observa, que los autores que trabajaron resistencias inferiores a 30 MPa (305 kg/cm²) obtuvieron relaciones de resistencia, entre el cilindro de D10 y el de D15, en un rango de 1 a 1.05, este rango es igual para las relaciones de resistencia que ellos obtuvieron entre los cilindros de D7.5 y los de D15. De igual manera, los autores que trabajaron resistencias mayores a

30 MPa, encontraron relaciones de resistencia entre el cilindro de D10 y el de D15, en rangos de 1 a 1.10, similares a las relaciones de resistencia existentes entre el cilindro de D7.5 y el de D15, las cuales estuvieron en rangos de 1 a 1.14.

En la **tabla 2** también se observa que autores como Carrasquillo, el cual trabajó resistencias de diseño entre 30 MPa y 80 MPa (305 kg/cm² a 815 kg/cm²), obtuvo relaciones de resistencia entre el cilindro de D10 y el de D15 inferiores a 1.0. De igual manera Malhotra tiene una relación de resistencia también inferior a 1.0 pero el trabajó resistencias menores a 50 MPa (510 kg/cm²).

En resumen, estos autores llegaron a las siguientes conclusiones:

- Los cilindros de D7.5 y D10 son confiables para el ensayo de resistencia a la compresión del concreto, cuando el tamaño máximo del agregado grueso no excede de 2,5 cm (1 pulgada). (Nasser y Al-Manaseer, Forstie y Schnormeier).
- Las resistencias a la compresión determinadas en los cilindros de D10 son más altas que las de los cilindros de D15, siendo mayor su diferencia entre más alto sea el nivel de resistencia. Para bajas resistencias, los cilindros de D10 rompen por debajo de los de D15. (Malhotra, Forstie y Schnormeier).
- Las resistencias de los cilindros de D7.5 tienden a las de los cilindros de D15, al disminuir el tamaño máximo del agregado (Gonnerman).
- La dispersión de los resultados de resistencia a la compresión de los cilindros ensayados aumenta con la disminución en el diámetro del cilindro. (Malhotra).
- Los factores de correlación tienen un nivel más alto de confiabilidad cuando el tamaño máximo del agregado es menor y el diámetro del cilindro es mayor (Josué Galvis Ramos).

Tabla 1. Resumen de Investigaciones Anteriores

AÑO	PRIMER AUTOR	TOTAL N° CILINDROS	TAMANO DEL CILINDRO (cm)	MATERIAL DEL MOLDE	RANGO RESISTENCIA (MPa)	EDADES DE ENSAYO	NUMERO DE MEZCLAS	RANGO RELACION alc	CONTENIDO CEMENTO (Kg/m ³)	MATERIALES ADICIONADOS (Tipo y %)	AGREGADO GRUESO TIPO TAMAÑO (mm)	TIPO DE COMPACT	CURADO	AIRE INCOMP.	TIPO DE ADITIVO	ASENT. (mm)
1925	GONNERMAN	1	7.5 y 10	Acero	8 - 32	7 d. - 1 año	Aprox. 25	0.6 - 1.4	N.D.	Ninguno	Varios 4 - 38	Varilla	N.D.	No	N.D.	N.D.
1976	MALHOTRA	6	10	Acero	5 - 52	N.D.	Varios	N.D.	N.D.	N.D.	Piedra y Grava 25	Varilla	Humedad Estándar	Si	N.D.	N.D.
1981	FORSTIE	7	10	Estiño	4 - 49	7 y 28 d.	Varios	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	Varilla	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1982	CEPEDA	17	7.5 y 10	Acero	17 - 30	1, 3, 7, 14 y 28 d.	12	0.4 - 0.7	250 - 437.5	Ninguno	25	Varilla	N.D.	No	Ninguno	55 - 180
1983	PETERMAN	21	10	Acero	50 - 76	28 d.	4	> 0.30	390 - 560	Cenizas Volantes	Piedra y Grava 12 - 25	Varilla	Humedad Estándar	No	Super	75 - 100
1984	NASSER	8	7.5	Cartón Endu. plástico	3 - 33	1 - 56 d.	2	0.45 y 0.48	290 y 300	No	N.D.	Varilla y Vibrado	Humedad Estándar	No	No	N.D.
1984	DATE	22	504	Estiño	6 - 35	1 - 28 d.	3	0.53 - 0.56	280 - 360	Plain y Cenizas 17%	N.D.	Varilla	Humedad Estándar	No	N.D.	100
1985	JANAK	23	1056	Acero	31 - 72	7 - 56 d.	23	0.35 - 0.47	330 - 420	Varios	Varios	Varilla	Humedad Estándar	No	Varios	50 - 200
1987	NASSER	9	157	Cartón Endurecido	10 - 31	1 - 56 d.	3	0.55	310	No	N.D.	Varilla	Humedad Estándar	Si	Ninguno	140 - 180
1987	VELEZ	18	630	Acero	210-350	7.14 y 28 d.	12	0.40 - 0.65	N.D.	No	N.D.	Varilla	N.D.	No	Varios	N.D.
1988	CARRASQUILLO	24	84	Acero	49 - 80	N.D.	29	N.D.	300 - 590	Plain y Cenizas (25 - 35 %)	Piedra 10 - 25	Varilla	Humedad Estándar	No	Super	230
1988	DIAZ	25	765	Acero	20 - 26	3, 7 y 28 d.	7	N.D.	N.D.	N.D.	20	Varilla	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1989	COOK	26	204	Plástico	12 - 93	1 - 90 d.	2	0.29 y 0.33	510	Cenizas Volantes (50 %)	N.D.	N.D.	Humedad Estándar	No	Tipo A Tipo F	235 - 254
1989	HOWARD	27	20	Acero	89 - 120	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	25	Varilla	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1990	MORENO	28	58	Plástico	93	56 d.	1	N.D.	N.D.	Fume	N.D.	Varilla	Estándar	N.D.	N.D.	N.D.
1990	CHOJNACKI	29	132	Plástico	41 - 101	4 - 43	5	0.29 - 0.40	350 - 500	Fume y Escoria	N.D.	Varilla	Humedad Estándar	No	Super y Retardan	130 - 230
1991	DAY	30	840	Cartón Endurecido	1,4 - 63	3 d. - 2 años	12	0.38 - 0.45	380 y 420	Plain y Ash (20 y 50%)	Piedra 14	Vibrado	Humed Estánd Curado Frio	Si y No	Ninguno	80
1992	LESSARD	31	120	Plástico	35 - 117	28 y 91 d.	11	0.23 - 0.32	465 - 530	Fume, Escoria Cenizas (10 - 70%)	N.D.	N.D.	Humedad Estándar	No	Super	60 - 240
1992	BAALBAKI	32	70	Plástico	83 - 104	28 y 91 d.	7	0.27	500	Fume, 10%	7 Tipos 10	Varilla	Humedad Estándar	No	Super	200
1992	GALVIS	16	1296	Acero	N.D.	1 y 28	108	N.D.	N.D.	N.D.	Cantos 12.5 - 25	Varilla	Agua con Cal	No	No	N.D.
1993	DAY	11	672	Cartón Endurecido	6 - 46	8 - 180 d.	21	0.40 - 0.60	260 - 460	Plain y Cenizas (20 - 50 %)	Piedra 16	Vibrado	Humed Estánd Curado Frio	Si	Ninguno	50 - 215
1993	BAALBAKI	33	168	Plástico	31 - 43	N.D.	30	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1993	PISTILLI	34	154	Plástico	28 - 131	28 d.	16	N.D.	N.D.	N.D.	Grava, Triturado 12.5 a 25	Varilla	Humedad Estándar	N.D.	N.D.	N.D.
1993	CARINO	10	96	Plástico	45 - 90	14 - 29 d.	3	0.28 - 0.53	323 - 504	Cenizas Volantes Cilica Fume	Triturado	Varilla	Agua	Si	Reductor HRWR	40 - 250
1994	DAY	12	936	Cartón Endu. Plástico	27 - 49	14 y 28 d.	14	0.40 - 0.50	325 - 390	Plain y Cenizas (25%)	Piedra 14 a 20	Vibrado	Humedad Estándar	Si y No	Ninguno	80
1994	AITCIN	14	135	Cartón Endu. y Plástico	35 - 120	1, 7, 28, 91 y 365 d.	3	0.25 - 0.45	355 - 540	Cilica Fume	N.D.	Varilla	Varios	Si	Super Reductor	95 - 220
1995	QUIMBAY	19	864	Acero	490, 560 y 630	7, 28 y 56	36	0.23-0.38	500 - 660	Humo de Silice	9.525	Varilla	N.D.	No	Super	20 - 250
1996	DAVID	20	2160	Acero	21	3, 7 y 28	4	0.55-0.65	268-300	N.D.	12.5-25	Varilla	Humedad Estándar	No	Super	75-160

N.D. Dato no disponible

Tabla 2. Relaciones de Resistencias (S_i/S_{15})

AÑO	PRIMER AUTOR	REF	RELACIONES PROPUESTAS ⁽¹⁾	RANGO (Mpa)
1925	GONNERMAN	1	$S_{10} = 1,01 \cdot S_{15}$ $S_{7,5} = 1,03 \cdot S_{15}$	< 32
1951	PRICE	3	$S_{10} = 1,04 \cdot S_{15}$	N.D.
1960	HOLLIS	35	$S_{7,5} = 0,99 \cdot S_{15}$	N.D.
1963	U.S.B.R.	4	$S_{10} = 1,04 \cdot S_{15}$	N.D.
1971	INTERNATIONAL MANUAL	36	$S_{10} = 1,03 \cdot S_{15}$	N.D.
1976	MALHOTRA	6	$0,84 < S_{10}/S_{15} < 1,05$	< 50
1981	CARRASQUILLO	37	$S_{10} = 0,90 \cdot S_{15}$	30 - 80
1981	FORSTIE	7	$S_{10} = 1,0 \cdot S_{15}$ pero $S_{10}/S_{15} > 1,0$ para $S > 34,5$ $S_{15} = 2,6 \cdot S_{10}^{0,88}$	< 50 Todas
1982	CEPEDA	17	$S_{10} = 1,03 \cdot S_{15}$	17 - 30
1983	PETERMAN	21	$1,10 < S_{10}/S_{15} < 1,15$	50 - 80
1983	SALAZAR		$S_{10} = 0,91 \cdot S_{15}$	21
1984	NASSER	8	$S_{7,5} = 1,05 \cdot S_{15}$	3 - 33
1984	DATE	22	$S_{10} = 1,04 \cdot S_{15}$	< 35
1985	JANAK	23	$S_{10} = 1,03 \cdot S_{15}$	< 56
1987	NASSER	9	$S_{7,5} = 1,03 \cdot S_{15}$	< 30
1987	VELEZ	18	$S_{15} = 33,852 + 0,972 \cdot S_{7,5}$ ($r=0,97$)	21 - 35
1988	CARRASQUILLO	24	$S_{10} = 0,93 \cdot S_{15}$	50 - 80
1989	COOK	26	$S_{10} = 1,05 \cdot S_{15}$	< 90
1990	CHOJNACKI	29	$1,02 < S_{10}/S_{15} < 1,04$	58 - 97
1991	DAY	30	$S_{7,5} = 1,0 \cdot S_{15}$	< 40
1992	LESSARD	31	$S_{10} = 1,05 \cdot S_{15}$	35 - 120
1992	BAALBAKI	32	$S_{15} = 7,3 + 0,86 \cdot S_{10}$	80 - 100
1992	GALVIS	16	$S_{15} = -0,519 + 0,902 \cdot S_{7,5}$ TMN=3/4" $S_{15} = 2,359 + 0,933 \cdot S_{10}$ TMN=3/4" $S_{15} = 31,0101 + 0,814 \cdot S_{7,5}$ TMN=1" $S_{15} = 37,856 + 0,804 \cdot S_{10}$ TMN=1"	TODAS
1993	DAY	11	$S_{10} = 1,0 \cdot S_{15}$ $S_{75} = 1,0 \cdot S_{15}$	< 50
1993	PISTILLI	34	$S_{10} = 1,0 \cdot S_{15}$ Capinado de azufre $S_{10} = 1,0 \cdot S_{15}$ Capinado de polymer	27 - 104 28 - 62
1993	CARINO	10	$S_{10} = 1,013 \cdot S_{15}$	45 - 90
1994	DAY	12	$S_{10} = 1,0 \cdot S_{15}$ $S_{75} = S_{15} + 1,0$	30 - 50
1995	QUIMBAY	19	$S_{10} = 1,10 \cdot S_{15}$ $S_{75} = 1,14 \cdot S_{15}$	30 - 90
1996	DAVID	20	$S_{10} = 1,07 \cdot S_{15}$ $S_{75} = 1,12 \cdot S_{15}$	21

⁽¹⁾ $S_{7.5}$, S_{10} y S_{15} son las resistencias a la compresión de los cilindros D7.5, D10 y D15 respectivamente.

II. FASE EXPERIMENTAL

A. Materiales usados y proporciones de las mezclas.

Los cilindros de concreto fueron preparados con cemento Boyacá, Portland Tipo I, agregado grueso triturado de peso normal con tamaños máximos nominales de 1" y 3/4" y arena procedente del Río Tunjuelo.

Se elaboraron tres diseños de mezcla para producir resistencias a la compresión del hormigón de 13.7MPa (140 kg/cm²), 16.7MPa (170 kg/cm²) y 19.6 MPa (200 kg/cm²), cada una con dos tamaños máximos de agregado (1" y 3/4"), repitiendo cada mezcla una vez (dos por cada tamaño máximo de agregado, *Mezcla A* y *Mezcla B*), para un total de doce (12) mezclas. Las proporciones de las mezclas se resumen en la Tabla 3.

Tres diferentes tamaños de cilindros, D7.5, D10 y D15, fueron ensayados a 3, 7 y 28 días, por cada tamaño se tomaron tres muestras, preparándose 27 cilindros por mezcla, para un total de 324 cilindros.

B. Detalles de las pruebas.

Los especímenes cilíndricos fueron fundidos en moldes de acero, aceitados antes de colocar el concreto. Los cilindros de D15 y D10 se

compactaron a mano, con varilla de 5/8" de diámetro y 60 cm de longitud, en tres capas iguales, con 25 golpes por capa. Para la compactación de los cilindros de D7.5 se utilizó una varilla de 3/8" de diámetro y 40 cm de longitud, en dos capas iguales, con 25 golpes por capa.

A las 24 horas, los cilindros fueron desencofrados, marcados y sumergidos en agua para su curado, posteriormente se fallaban a las edades indicadas. Todos los cilindros fueron refrentados con azufre y ensayados en una máquina marca ELE de 5000 kN de capacidad. La velocidad de aplicación de carga fue de 4,25 kN/seg, 2,4 kN/seg y 1,2 kN/seg para los cilindros de D15, D10 y D7.5 respectivamente.

III. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Los resultados de la fase experimental de la investigación se obtuvieron de un análisis estadístico descrito a continuación: con las cargas últimas de los cilindros ensayados, se hallaron los esfuerzos respectivos en kg/cm², con los cuales se establecieron promedios y rangos, con el fin de utilizar el criterio de rango máximo, para descartar los valores atípicos y depurar los datos. El criterio de rango máximo adoptado, considera como resultado atípico, para el caso de tres cilindros, aquel valor cuyo coeficiente Rango/ Esfuerzo Promedio supera el 25%.

Tabla 3. Proporciones de las Mezclas.

	MEZCLA 1 Kg/m ³		MEZCLA 2 Kg/m ³		MEZCLA 3 Kg/m ³	
Resistencia de Diseño (Kg/cm ²)	140		170		200	
T.M.N.	1"	3/4"	1"	3/4"	1"	3/4"
Cemento	239	243	252	257	266	270
Agua	139	140	140	140	140	140
Agregado Fino	839	961	833	955	828	948
Agregado Grueso	1017	873	1010	867	1003	861
Relación Agua - Cemento	0,58	0,57	0,55	0,55	0,53	0,52
Relación Agregado - Cemento	7,78	7,55	7,31	7,10	6,90	6,70
Asentamiento Promedio (cm)	6.5		6.5		6.5	

$$\frac{R}{S_p} \times 100 > 25\%$$

Una vez depurados los datos se realizó un análisis estadístico, obteniendo la desviación estándar y el coeficiente de variación utilizando las siguientes fórmulas:

$$D.E. = 1/d \times R$$

La **tabla 4** muestra valores promedios de resistencias, coeficientes de variación, relaciones de resistencia, factores de correlación y pendientes entre las mezclas A y B.

$$c.v. = \frac{D.E.}{S_p} \times 100$$

Donde:

- D.E. : Desviación estándar (Kg/cm²)
- 1/d : Constante que depende del número de cilindros, en el caso de dos y tres cilindros 1/d es igual a 0.8862 y 0.5908 respectivamente.
- R : Rango entre el mayor y menor valor de esfuerzo máximo (Kg/cm²).
- c.v. : Coeficiente de variación (%).
- S_p : Esfuerzo promedio (Kg/cm²).

Las **figuras 1 y 2** relacionan las resistencias de los cilindros de D10 y D7.5 con las resistencias del cilindro estándar incluyendo todas las mezclas, pero diferenciándolas según el tamaño máximo del agregado. Por último, se muestra la **figura 3**, que reúne todas las mezclas en una sola gráfica obteniéndose las expresiones finales que relacionan las resistencias de los cilindros de D10 y D7.5 con el cilindro de D15.

IV. ANALISIS DE RESULTADOS

A continuación se analiza el efecto de coeficientes tales como el tamaño máximo del agregado, nivel de resistencia y edad de ensayo sobre la resistencia obtenida de diferentes tamaños de cilindros.

La **tabla 4** muestra que la mayoría de los resultados de resistencia de los cilindros de D15

(67%), son mayores que los de los cilindros de D10 y D7.5. Para la resistencia de 200 kg/cm², se tiene que la mitad de los resultados de resistencia obtenidos con los cilindros de D10 y D7.5 son mayores que los obtenidos con los de D15. A la edad de 28 días, las resistencias a la compresión obtenidas con el cilindro de D15 son en el 100% de los casos mayores que las de los cilindros de D10 y D7.5.

Comparando los cilindros de D10 con los de D7.5, se observa que en la mayoría de los casos la resistencia de los cilindros de D10 es mayor que la de los cilindros de D7.5, este comportamiento es más evidente a medida que el nivel de resistencia

aumenta. El 79 % de los casos en que la resistencia de los cilindros de D7.5 es mayor que la de los de D10, obedece a mezclas con TMN igual a 3/4". De manera más general, las resistencias de las mezclas preparadas con agregado de TMN igual a 3/4" son mayores que las de las mezclas con TMN igual a 1".

En lo que se refiere a la dispersión de datos, la **tabla 4** resume también, los promedios de los coeficientes de variación entre las mezclas A y B. Se puede observar que en la mayoría de las resistencias de los cilindros de D15 (80 %), la dispersión evaluada como coeficiente de variación es menor que la correspondiente a los cilindros de D10 y D7.5, y esta en un rango del 1,73% al 7,35%, mientras que la de los cilindros de D10 y D7.5 se encuentra en rangos del 2,16% al 13,46% y del 3,39% al 13,96%, respectivamente, siendo entonces, el coeficiente

de variación de los cilindros de D10 y D7.5, aproximadamente dos veces el coeficiente de variación del cilindro estándar. Además, se tiene una menor dispersión en los resultados de resistencia de mezclas con TMN igual a 3/4" que lo que se obtiene en mezclas con TMN 1". Comparando los coeficientes de variación de los cilindros de D10 y D7.5 se encuentra que, en promedio, ellos son menores para el cilindro de D10. Adicional a esto, se observa que el valor del coeficiente de variación promedio obtenido, aumenta cuando decrece la relación D/d (Diámetro del cilindro / tamaño máximo del agregado).

(Ver Tabla 4)

Las mayores diferencias entre las resistencias del cilindro estándar y las de los otros dos tamaños, se presentan, para el cilindro de D10 a la edad de tres días y es del 15 %; para el cilindro de D7.5 se presenta a los siete días y es del 17 %, ambos casos para una resistencia de 140 kg/cm² y TMN de 1". La menor diferencia para el cilindro de D10 es del 1 %, mientras que para el cilindro de D7.5 es nula y se tiene en mezclas con TMN 3/4".

Analizando las relaciones entre las resistencias de los cilindros de D10 y D7.5 respecto a las de los cilindros de D15, se encuentra que la relación S_{10}/S_{15} se acerca más a la unidad que $S_{7.5}/S_{15}$, lo cual indica que los cilindros de D10 arrojan resistencias más cercanas a las de los cilindros de D15, que aquellas que se obtienen de los cilindros de D7.5. Las relaciones de resistencias varían en un rango de 0.85 a 1.01 y 0.83 a 1.06, para los cilindros de D10 y D7.5 respectivamente (tabla 4), es decir, que estas relaciones están entre un 15% por debajo y un 1% por encima para el caso de los cilindros de D10 y entre un 17% por debajo y 6% por encima para los cilindros de D7.5. Se observa además, que para las mezclas con agregado de TMN igual a 1", las relaciones de resistencias son más cercanas a uno (1.0), que las de las mezclas con TMN de 1", es decir, que con los cilindros D10 y D7.5, se obtienen resistencias más parecidas a las del cilindro estándar utilizando TMN del agregado igual a 3/4", este comportamiento es más frecuente en las relaciones $S_{7.5}/S_{15}$.

Respecto a las curvas de correlación, se

encontró que a medida que el nivel de resistencia aumenta, el coeficiente de determinación se acerca más a la unidad, indicando que la línea de regresión se ajusta más a los datos obtenidos entre mayor sea el nivel de resistencia que se trabaje. Analizando en detalle, se tiene que los coeficientes de determinación de las curvas correspondientes a los cilindros de D10, para las mezclas con TMN 1" se alejan más de uno que los de los cilindros de D7.5, para las resistencias de 170 kg/cm² y 200 kg/cm², al tomar las mezclas A y B en una sola curva.

Los coeficientes de determinación de las curvas, para las mezclas con TMN 3/4", son siempre más cercanos a uno para los cilindros de D10 que para los cilindros de D7.5, cuando las resistencias son 170 kg/cm² y 200 kg/cm². Para la resistencia de 140 kg/cm² los coeficientes de determinación son mayores para los cilindros de D7.5 que para los cilindros de D10 cuando se toman las mezclas A y B en una sola curva.

Para los cilindros de D7.5, los coeficientes de determinación por lo general disminuyen al disminuir el TMN del agregado. Para los cilindros de D10 los coeficientes de determinación prácticamente permanecen constantes al disminuir el TMN del agregado; presentando una variación máxima del 0,2 % entre mezclas con TMN 3/4" y mezclas con TMN 1".

La mayoría de las pendientes de las curvas de correlación, para mezclas con TMN 1", de los cilindros de D10 están más cerca al 100 % que las de los cilindros de D7.5. Para las mezclas con TMN 1/2", las pendientes de las curvas de correlación de los cilindros de D7.5 son las que más se aproximan al 100 %, que las de los cilindros de D10.

Para la mayoría de los casos, reuniendo los datos de las mezclas A y B, las pendientes de las curvas de correlación tanto de los cilindros de D7.5 como de los cilindros de D10 que más se aproximan al 100 % son las que corresponden a mezclas con TMN de 3/4" .

Según las figuras 1 y 2, se tiene que para TMN 1", el coeficiente de determinación de los cilindros de D10 (0.9895) es menor que el de los

Tabla 4. Resumen de Resultados Promedio entre las Mezclas A y B

PROP.	EDAD (Días)	TMN	140			170			200		
			15x30	10x20	7.5x15	15x30	10x20	7.5x15	15x30	10x20	7.5x15
RESISTENCIA PROM (Kg/cm ²)	3	1"	57	48	48	68	67	62	91	87	84
		3/4"	63	58	53	73	72	79	95	96	89
	7	1"	99	101	83	120	118	107	150	152	139
		3/4"	109	102	114	130	123	130	153	151	162
	28	1"	152	144	144	181	178	170	219	208	201
		3/4"	152	147	152	192	178	183	229	222	220
C.V. (%)	3	1"	2.89	9.50	7.22	7.34	13.45	6.35	6.62	6.99	11.41
		3/4"	2.91	13.45	6.35	5.82	2.16	3.67	6.92	6.44	9.07
	7	1"	3.51	7.50	7.56	4.09	7.91	12.99	5.21	4.06	7.66
		3/4"	4.51	7.91	12.99	1.73	6.80	4.03	1.81	7.23	3.41
	28	1"	4.53	8.42	12.04	2.13	4.48	8.47	3.71	10.98	7.04
		3/4"	2.40	4.48	8.47	3.15	2.54	3.39	3.47	4.07	13.96
	PROM	1"	3.64	8.47	8.94	4.52	8.61	9.27	5.18	7.34	8.70
		3/4"	3.27	8.61	9.27	3.56	3.83	3.69	4.07	5.92	8.81
RELACION (S/S ₁)	3	1"	-	0.85	0.84	-	0.98	0.92	-	0.96	0.93
		3/4"	-	0.91	0.84	-	0.97	1.08	-	1.01	0.93
	7	1"	-	1.01	0.83	-	0.98	0.89	-	1.01	0.93
		3/4"	-	0.94	1.05	-	0.95	1.00	-	0.99	1.06
	28	1"	-	0.95	0.95	-	0.99	0.94	-	0.95	0.92
		3/4"	-	0.97	1.00	-	0.93	0.95	-	0.97	0.96
C.D.	1"	-	0.982	0.980	-	0.995	0.995	-	0.996	0.999	
	3/4"	-	0.982	0.982	-	0.996	0.981	-	0.998	0.989	
m	1"	-	0.956	0.909	-	0.984	0.922	-	0.968	0.919	
	3/4"	-	0.954	0.995	-	0.937	0.973	-	0.978	0.986	

C.V. Coeficiente de variación.

C.D. Coeficiente de determinación

m Pendiente de la curva de correlación

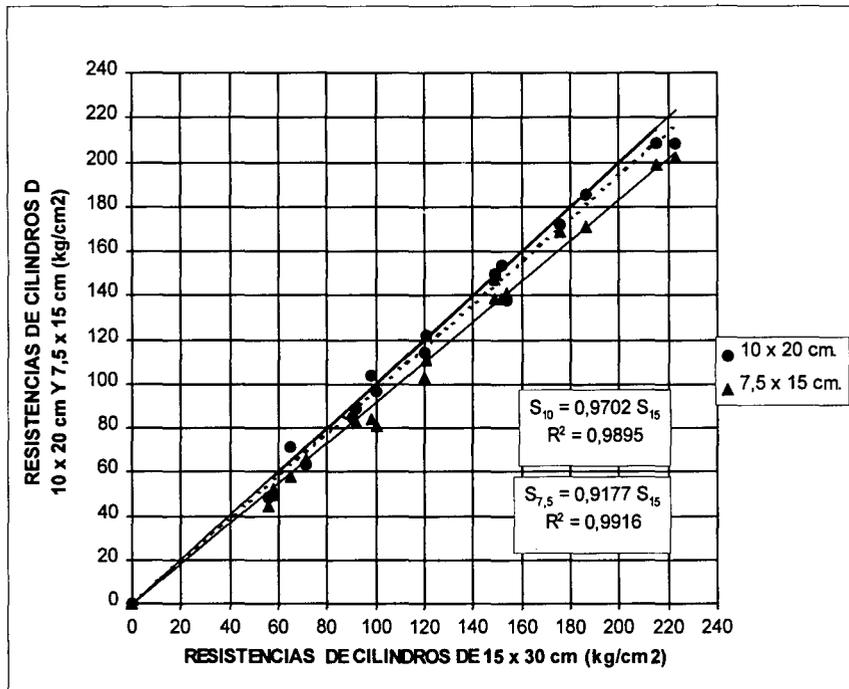


Figura 1. Relación entre resistencias de Cilindros de 10x20 cm y 7,5x15 cm Vs. 15x30 cm para TMN 1"

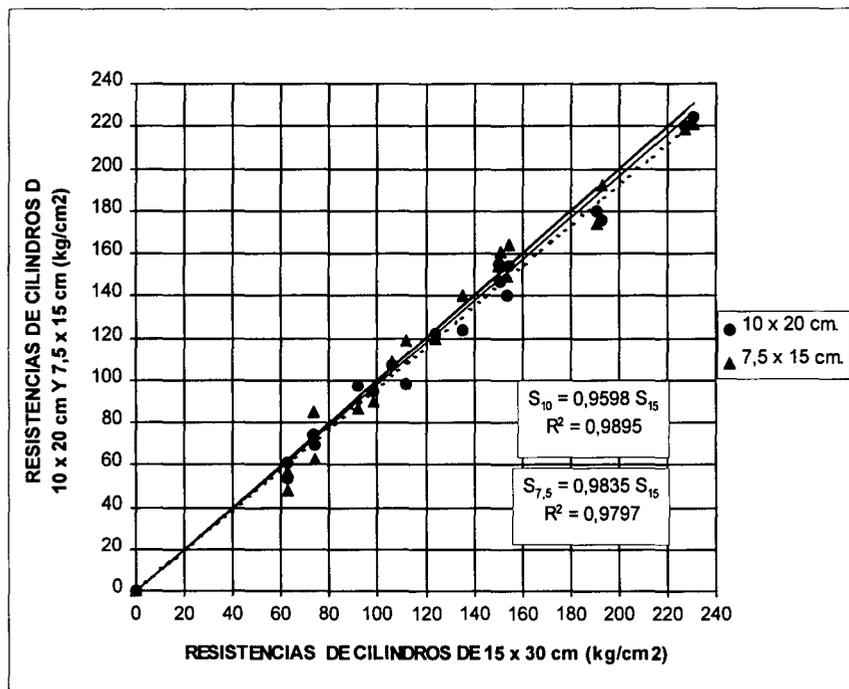


Figura 2. Relación entre resistencias de Cilindros de 10x20 cm y 7,5x15 cm Vs. 15x30 cm para TMN 3/4"

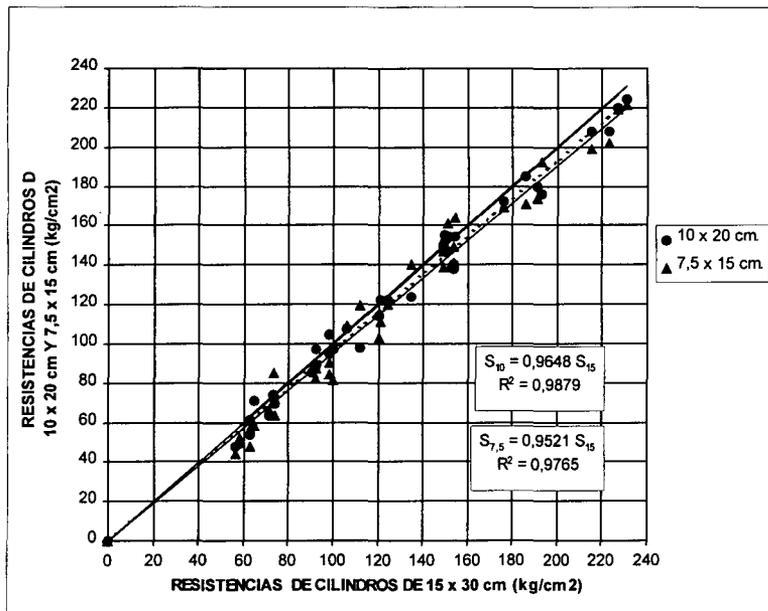


Figura 3. Relación entre Resistencias de cilindros de 10x20 cm y 7,5x15 cm Vs. 15x30 cm

cilindros de D7.5 (0.9916), indicando que existe mayor dispersión en los datos correspondientes al cilindro de D10, sin embargo, la curva de correlación del cilindro de D10 se acerca más a la línea de igualdad que la curva de los cilindros de D7.5 con pendientes de 0.9702 y 0.9177 respectivamente. Cuando el TMN del agregado es 3/4" ocurre todo lo contrario, el coeficiente de determinación de la curva del cilindro de D10 (0.9895) es mayor que el de la curva de D7.5 (0.9797), resultando más dispersos los datos del cilindro de D7.5. Así mismo, la curva del cilindro de D10, con pendiente de 0.9598, está más lejos de la línea de igualdad que la curva del cilindro de D7.5, con pendiente de 0.9835. También es notable, que la dispersión de datos obtenidos del cilindro de D10 es indiferente del TMN del agregado, pues los coeficientes de determinación son iguales tanto para 1" como para 3/4" mientras que la dispersión de datos del cilindros de D7.5 aumenta al trabajar con el TMN de 3/4".

De la figura 3, la cual incluye todos los

datos de resistencia obtenidos en la investigación, se puede observar que el cilindro de D10 presenta un coeficiente de determinación de 0.9879 y una pendiente de 0.9648, valores que son mayores que los correspondientes al cilindro de D7.5 con coeficiente de determinación de 0.9765 y pendiente de 0.9521.

Durante los ensayos se tomaron datos con el fin de obtener los pesos unitarios de los cilindros y observar si el efecto del tamaño de los cilindros sobre la resistencia a la compresión es un efecto de densidad, el cual considera que los cilindros pequeños soportan esfuerzos más altos que los cilindros de D15 por poseer mayores densidades, sin embargo los datos limitados obtenidos en esta investigación no soportan tal hipótesis, ya que a pesar que las densidades de los cilindros de D10 y D7.5 son por lo general más altas que las de los cilindros de D15, los cilindros de D10 y D7.5 soportan esfuerzos menores que los esfuerzos que soportan los cilindros de D15.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Para los niveles de resistencia a la compresión ensayados, 140 kg/cm², 170 kg/cm² y 200 kg/cm², la resistencia obtenida en general, es mayor para los cilindros de D15 respecto a los de D10 y D7.5. Esa resistencia decrece cuando el tamaño del cilindro disminuye y también cuando el TMN del agregado pasa de 3/4" a 1".
- Las diferencias en resistencias entre el cilindro estándar y los otros dos tamaños, disminuyen a medida que el tamaño del espécimen aumenta y/o el TMN del agregado pasa de 1" a 3/4". Estas diferencias se mantienen casi constantes para todos los niveles de resistencia estudiados.
- Los coeficientes de variación de la resistencia aumentan con la disminución del diámetro del cilindro y decrecen cuando el TMN del agregado disminuye de 1" a 3/4". En otras palabras, el coeficiente de variación de las resistencias a la compresión del hormigón, aumenta cuando decrece la relación D/d (Diámetro del cilindro / Tamaño máximo del agregado).
- De acuerdo con las relaciones de resistencias S_{10}/S_{15} y $S_{7.5}/S_{15}$, el cilindro de D10 arroja resistencias a la compresión, más cercanas a las del cilindro estándar que las obtenidas con el cilindro de D7.5 y se encuentran en rangos de 0.85 a 1.01 y 0.83 a 1.06 respectivamente. Estas relaciones son más cercanas a la unidad, a medida que disminuye el tamaño máximo nominal del agregado.
- Del análisis de las curvas de relaciones entre resistencias, para cada tamaño máximo nominal de agregado utilizado 1" y 3/4", se concluye que para el cilindro de D10, los coeficientes de determinación son independientes de los tamaños máximos nominales del agregado, mientras que para

el cilindro de D7.5 el coeficiente se acerca más a uno al disminuir el TMN, hecho que posiblemente se debe a que para este tamaño de cilindro tiene mayor peso la relación entre el diámetro del cilindro y el TMN del agregado $(D/d)^1$, la cual pasa de 2,95 para TMN 1" a 3, 93 para TMN 3/4".

- A partir de un análisis de regresión lineal con intercepto en cero, se encontraron ecuaciones que relacionan las resistencias a la compresión del hormigón de los cilindros de D10 y D7.5 con las del cilindro estándar para los diferentes tamaños de agregado estudiados. Estas ecuaciones son las siguientes:

Para TMN 1"

$$S_{10} = 0.9702 S_{15} \quad r^2 = 0.9895$$

$$S_{7.5} = 0.9177 S_{15} \quad r^2 = 0.9916$$

Para TMN 3/4"

$$S_{10} = 0.9598 S_{15} \quad r^2 = 0.9895$$

$$S_{7.5} = 0.9835 S_{15} \quad r^2 = 0.9797$$

- Al reunir los resultados de resistencia de todas las mezclas en un sólo análisis de regresión lineal sin intercepto, se obtienen las siguientes expresiones:

$$S_{10} = 0.9648 S_{15} \quad r^2 = 0.9879$$

$$S_{7.5} = 0.9521 S_{15} \quad r^2 = 0.9765$$

Según estas ecuaciones, las resistencias de los cilindros de D10 son más cercanas a las del cilindro estándar, que las del cilindro de D7.5, así mismo, los cilindros de D10 presentan mayor coeficiente de determinación, es decir menor dispersión de resultados, que los de D7.5.

- Los cilindros de D10 y D7.5 resultan confiables para el control de calidad del concreto, puesto que presentan una

1. Se recomienda que la relación entre el diámetro del cilindro y el TMN del agregado sea mayor o igual a 4

diferencia máxima a los 28 días del 7 % para el cilindro de D10 y del 8 % para el cilindro de D7.5, a pesar de que los coeficientes de variación son en promedio dos veces más altos que los del cilindro de D15. Para obtener el mismo grado de precisión del cilindro estándar, sería recomendable la toma de un número de muestras de cilindros de D10 o D7.5 tal que la sumatoria de sus áreas transversales corresponda a la sumatoria de las áreas de los cilindros de D15 ensayados (“Sumation - Strength Theory,” Tucker).

- Entre los cilindros de D10 y D7.5 se recomienda el empleo de los primeros, para el control de calidad del concreto, ya que arrojan resistencias más cercanas a las del cilindro estándar, sus coeficientes de variación son en promedio menores, el coeficiente de determinación es mayor, además permiten el uso de tamaño máximo nominal de agregado hasta de 1” (de acuerdo con la relación D/d), y son menos susceptibles a daños por su mayor peso y volumen.

BIBLIOGRAFIA

1. GONNERMAN, H. F., "Effect of Size and Shape of Test Specimen on Compressive Strength of Concrete," in Proceedings, American Society for Testing and Materials, V. 25, Part 2, 1925, pp. 237-250.
2. TUCKER, J., Jr., "Effect of Dimensions of Specimens Upon Precision of Strength Data," Proceedings, American Society for Testing and Materials, V. 45, 1945, pp. 952-960.
3. PRICE, W. H., "Factors Influencing Concrete Strength," *ACI Journal*, V. 22, N° 6, (Proceedings V. 47), February 1951, pp. 417-432.
4. CONCRETE MANUAL, 7th Edition, U.S. Bureau of Reclamation, Denver, Colo., 1963, p. 582
5. NEVILLE, A. M., "A General Relation for Strength of Concrete Specimens of Different Shapes and Sizes," *ACI Journal, Proceedings*, V. 63, N° 10, October 1966, pp. 1095-1109
6. MALHOTRA V. M., "Are 4 x 8 Inch Concrete Cylinders as Good as 6 x 12 Inch Cylinders for Quality Control of Concrete," *ACI Journal, Proceedings*, V. 73, N° 1, January 1976, pp. 33-36.
7. FORSTIE, D. A. and SCHNORMEIER, R. H., "Development and Use of 4 by 8 Inch Concrete Cylinders in Arizona," *Concrete International*, V. 3, N° 7, July 1981, pp. 42-45.
8. NASSER, K. W. and KENYON, J. C., "Why Not 3 x 6 Inch Cylinder for Testing Concrete Compressive Strength?," *ACI Journal, Proceedings*, V. 81, N° 1, Jan-Feb 1984, pp. 47-53.
9. NASSER, K. W. and AL-MANASEER, A. A., "It's Time for a Change from 6 x 12 to 3 x 6 Inch Cylinders," *ACI Materials Journal*, V. 84, N° 3, 1987, pp. 213-216.
10. CARINO, N. J., et al. "Effects of Testing Variables on the Measured Compressive Strength of High-Strength (90 MPa) Concrete," Nat. Inst. of Stand. and Tech. (U.S.), NISTIR 5405, 1993, 154 pp.
11. DAY, R. L. and HAQUE, M. N., "Correlation between Strength of Small - and Standard - Size Concrete cylinders," *Materials Journal*, V. 90, N° 5, Sept. - Oct. 1993, pp. 452-462.
12. DAY, R. L., "Strength Measurement of Concrete Using Different Cylinder Sizes: A Statistical Analysis," *Cement, Concrete, and Aggregates*, V. 16, N° 1, June 1994, pp. 21-30.
13. ——— "The Effect of Mold Size and Mold Material on Compressive Strength Measurement Using Concrete Cylinders," *Cement, Concrete, and Aggregates*, CCAGPD, V. 16, N° 2, Dec. 1994, pp. 159-166.
14. AİTCIN, P.-C., et al "Effects of Size and Curing on Cylinder Compressive Strength of Normal and High-Strength concretes," *ACI Materials Journal*, V. 91, N° 4, July-August 1994, pp. 349-354.
15. AMERICAN CONCRETE INTITUTE, ACI Committee 209, "Prediction of Creep, Shrinkage and Temperature Effects in Concrete Estructure," *Designing for Effects of Creep, Shrinkage and Temperature in Concrete Estructures*, SP-27, Detroit, 1971, pp. 51-93.
16. GALVIS, J., "Ensayo de Resistencia a Compresión del Concreto sobre Cilindros de 7.5 x 15 cms y 10 x 20 cms," *Septimas Jornadas Estructurales de la Ingeniería de Colombia*, 1992, pp. 1-5.
17. CEPEDA, F. A. y VIANA, V. J., "Efectos de las Dimensiones de los Cilindros de Prueba sobre el Resultado de los Ensayos de Compresión en el Concreto," *Universidad Javeriana*, Santafé de Bogotá, 1982.
18. VELEZ, P. A. y ZAPATA, M. J., "Relaciones Estadísticas Experimentales para la Resistencia del Concreto," *Universidad de Medellín*, Medellín, 1987.
19. QUIMBAY, R. N. y RUIZ, G., "Investigación, Diseño, Obtención y Ensayos de Concretos de Alta Resistencia," *Universidad Nacional de Colombia*, Santafé de Bogotá, 1995.
20. DAVID, M. R. y MUÑOZ, F. A., "Utilización de Cilindros de Dimensiones no Normalizadas en el Control de Calidad de Mezclas de Concreto," *Universidad Militar "Nueva Granada"*, Santafé de Bogotá, 1996.
21. PETERMAN, M. B. and CARRASQUILLO, R. L., "Production of High Strength Concrete," *Research Report 315-1F*, Center for Transportation Research, University of Texas, Austin, Oct 1983, 286 pages.
22. DATE, C. B. and SCHNORMEIER, R. H., "Day - to - Day Comparison of 4 - and 6-in. Diameter Concrete Cylinder Strengths," *Concrete International*, Vol. 6, No. 8, 1984, pp. 24 - 26.

23. JANAK, K. J., "Comparative Compressive Strength of 4 in. by 8 in. versus 6 in. by 12 in. Concrete Cylinders Along with the Investigation of Concrete Compressive Strength at 56 Days," *Report 3-1-4-16*, Materials and Test Division, Texas State Department of Highways and Public Transportation, Austin, TX, March 1985, 36 pages.
24. CARRASQUILLO, P. M. and CARRASQUILLO, R. L., "Evaluation of the Use of Current Concrete Practice in the Production of High Strength Concrete," *American Concrete Institute Materials Journals*, Vol. 85, No 1, 1988, pp. 49-54.
25. DÍAZ, S. F., "Especímenes Cilíndricos de 10x20 cm Otra Opción para el Control de Calidad del Concreto," *IMCYC 204*, Mayo 1988, pp. 23-29.
26. COOK, J. E. "10.000 PSI Concrete," *Concrete International*, Oct. 1989, pp. 67-75.
27. HOWARD, L. N. and LEATHMAN, D. M., "The Production and Delivery of High Strength Concrete," *Concrete International*, April 1989, Vol. 11, No 4, pp. 26-30.
28. MORENO, J., "225 W. Wacker Drive," *Concrete International*, Vol. 12, No 1, Jun 1990, pp. 35-39.
29. CHOJNACKI, B. and READ, P., "Compressive Strength Test Procedures for Testing High Strength Concrete," *Research Report by Trow Inc.*, Canadian Department of Supply and Services, File 09SQ.23440-9-9171, Sept 1990.
30. DAY, R. L., "The Effect of Early Freezing and Cold Curing on Strength Development of Fly Ash Concretes," in *Proceedings of the 2nd Canadian Symposium on Cement and Concrete*, S. Mindess, Ed., University of British Columbia, Vancouver, July 1991, pp. 197-208.
31. LESSARD, M. and AITCIN, P.-C., "Testing High Performance Concrete," in *High Performance Concrete*, Y. Malier, Ed., E & FN Spon Publishers, London, 1992, pp. 196-213.
32. BAALBAKI, W., et al "Influence of Specimen Size of Compressive Strength and Elastic Modulus of High-Performance Concrete," *Cement, Concrete, and Aggregates*, Vol. 14, No. 2, 1992, pp. 113-117.
33. ——— "La Mesure Pratique de la Résistance à la Compression des Béton," *Department of Civil Engineering, University of Sherbrooke, Canada* 1993.
34. PISTILLI, M. F. and WILLEMS, T., "Evaluation of Cylinders Size and Capping Method in Compression Strength Testing of Concrete," *Cement, Concrete and Aggregates*, Vol. 15, No 1, 1993, pp. 59-69.
35. HOLLIS, H. R., "The Effect of Shape and Size on the Compressive Strength of Concrete Test Specimens," Honours Project Report, University of Manchester, 1960, (As reported in Neville, A. M., "A General Relation for Strengths of Concrete Specimens of Different Shapes and Sizes," *Journal of the American Concrete Institute*, Vol. 63, No. 10, 1966, pp. 1095-1109).
36. REINFORCED CONCRETE: An International Manual, Translated by C. Van Amerogen, UNESCO/Butterworths, London, 1971, pp. 19-20.
37. CARRASQUILLO, R. L., NILSON, A. H., and SLATE, F. O., "Properties of High Strength Concrete Subject to Short - Term Loads," *Journal of the American Concrete Institute*, May 1981, Vol. 78, No 3, pp. 171-178.
38. DETWILER, R. J. and BICKLEY, J. A., "An Analysis of Interlaboratory Test Program Results," *Concrete Technology*, pp. 103-115.
39. GARRALÓN, J. J., "¿Por Qué Cilindros de 15x30 cm para Obtener la Resistencia a Compresión del Hormigón?," *Informes de la Construcción/351-352*, pp. 55-62.
40. GÓMEZ, C. J. G., "Resistencia Real de Diseño de una Mezcla de Concreto," *Informaciones Técnicas, Sika*, DCT-SI-48-10-95, 1995, 5 páginas.
42. KENNEDY, J. B. y Neville, A. M., "Estadística para Ciencias e Ingeniería" 2 Edición, México, D. F., Harla, S. A. de C. V., 1982, 466 páginas.
43. KENNEDY, S., et al "Results of an Interlaboratory Test Program: Compressive Strength of Concrete," *Cement, Concrete and Aggregates*, CCAGDP, Vol. 17, No 1, June 1995, pp. 3-10.
44. KOIKE, S., "Effect of Specimen Size on Probability Distribution of Concrete Strength," *CAJ Review*, 1981, pp. 77-80.