

# Resistencia al hormigón: núcleos vs. cilindros



## Ángela María Hincapié

Magister en Ingeniería. Docente de Cátedra del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad EAFIT.  
[ahincapi@eafit.edu.co](mailto:ahincapi@eafit.edu.co)

## Julián Vidal Valencia

Ingeniero Civil especialista en geotecnia. Profesor del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad EAFIT.  
[jvidal@eafit.edu.co](mailto:jvidal@eafit.edu.co)

Recepción: 3 de agosto de 2002 | Aceptación: 4 de noviembre de 2002

## Resumen

El presente trabajo verifica los diferentes resultados que se encuentran en la literatura nacional e internacional sobre la relación existente entre la resistencia de cilindros de hormigón curados en laboratorio en inmersión (cilindros normalizados), la resistencia de cilindros curados en obra (cilindro testigo) y la resistencia de núcleos extraídos de elementos estructurales fabricados en el laboratorio, pero curados con las mismas condiciones de obra; sin embargo sobre este tema se ha escrito muy poco en la última década en nuestro país y en los países de habla hispana, mostrando la necesidad de realizar investigaciones de este tipo. La bibliografía en general muestra que tanto los cilindros testigos como los núcleos presentan resistencias menores que el cilindro fabricado bajo normas; sin embargo, no hay uniformidad en los resultados cuando se involucran factores como el diámetro del núcleo, relación longitud - diámetro, altura de extracción, dirección de extracción respecto a la dirección de vaciado y condiciones de curado (antes y durante el ensayo).

En este trabajo se midieron las propiedades de resistencia del hormigón tanto en los cilindros normalizados, en los cilindros testigos y en los núcleos. La resistencia también se evaluó indirectamente por el método de ultrasonido para verificar y complementar los resultados. Las variables estudiadas fueron el diámetro del núcleo, la altura de extracción, la dirección de extracción y las condiciones de curado de los cilindros. Se ensayaron un total de 48 cilindros y 36 núcleos extraídos de vigas y columnas, encontrando que la resistencia del núcleo se afecta insignificadamente por las variables arriba mencionadas y que el método de ultrasonido es un complemento del estudio de la resistencia en estructuras terminadas.

## Palabras Claves

Núcleos / hormigón /  
resistencia a la compresión /  
velocidad del sonido

## Abstract

The present work arises from the necessity to verify the different results found in national and international literature on the relationship among the resistance of concrete cylinders cured in laboratory (standardized cylinders), the resistance of cylinders cured in work (witness cylinders) and the resistance of extracted nuclei of structural elements made in laboratory but cured with the same conditions of work. In the Spanish speaking countries, little has been written on this subject during the last decade, which calls for more research. In general, the bibliography shows that both the witness cylinders and the nuclei offer less resistance than the cylinder made following the norms. Nevertheless, there is no uniformity in the results when factors like root diameter, relation length-diameter, height of extraction, direction of extraction (according to the direction of drainage and curing conditions before and during rehearsal) become involved.

The authors measure the properties of resistance of concrete in the standardized cylinders, the witness cylinders and the nuclei. They also evaluate the resistance by the ultrasound method in order to verify and complement the results. The studied variables were the root diameter, the height of extraction, the direction of extraction and the curing conditions of the cylinders. A total of 48 cylinders and 36 extracted nuclei of beams and columns were tested, finding that the resistance of the nucleus is affected insignificantly by the variables mentioned above.

## Key Words

Concrete cylinders /  
nuclei of structural /  
ultrasound method

## 1. Introducción



El hormigón que es una masa heterogénea, sujeta a numerosas variables como son: las características de sus componentes y su variabilidad, la dosificación de los materiales, el proceso de mezclado, su fabricación y proceso de curado. Sin embargo, a pesar de esto, es posible producir hormigón de alta calidad si se mantiene un control de las variables mencionadas. Una variación en la resistencia del hormigón, significa un control inadecuado de este.

La calidad del hormigón generalmente se verifica por medio del ensayo de resistencia a la compresión de cilindros o probetas que se preparan a partir

de el hormigón vaciado en el sitio. El propósito de estas pruebas de resistencia es determinar el cumplimiento de una especificación de resistencia y medir la variabilidad del hormigón. A pesar de que los cilindros se moldean, curan y ensayan de acuerdo a normas establecidas, es posible que estos no proporcionan la medida de la capacidad de carga del hormigón utilizado en la estructura, ya sea por errores en el proceso de fabricación del cilindro dando como resultado resistencias menores a las de la estructura o porque realmente los niveles de resistencia de la estructura son menores que la resistencia especificada.

Cuando existen dudas de la resistencia del hormigón o cuando los valores de resistencia de los cilindros normalizados son bajos, se procede a realizar otros ensayos como el ensayo esclerométrico y el ensayo de ultrasonido (Burg y Carino,

2001). La selección del método de evaluación de la resistencia in situ, depende de entre otros factores de las condiciones de producción, del tipo de control, del tipo de hormigón y del tipo de estructura (Leshchinsky, 1990).

El método de los núcleos consiste en extraer una muestra cilíndrica del elemento en estudio por medio de un taladro para posteriormente determinar la resistencia a la compresión. De otro lado la norma colombiana NSR-98, especifica que el promedio de la resistencia a la compresión de 3 núcleos debe ser mayor que el 85% de  $f'c$  y ningún núcleo debe presentar una resistencia menor que el 75% de  $f'c$ . Si dichas especificaciones no se cumple, una verificación de los resultados debe ser realizada con otros métodos como el método de ultrasonido, para el cual se debe tener al menos un intervalo de resistencias de compresión determinada en núcleos a los cuales también se les determinó la velocidad sónica; dichos valores se correlacionan y se determina una ecuación de comportamiento de dichas variables.

Las investigaciones en general muestran que la resistencia a la compresión del hormigón medida a partir de núcleos extraídos de la estructura, es menor que la suministrada por los cilindros moldeados, curados y ensayados a la misma edad. Esta diferencia puede estar influenciada por la eficacia de curado en las obras y por la exposición de la estructura a factores ambientales como cambios fuertes de temperatura y agua lluvia.

El porcentaje de variación entre los resultados de resistencia de núcleos y de cilindros curados normalizados, suele estar entre 45 % y 100 %. Esta variación depende entre otros factores de la humedad de los núcleos en el momento del ensayo y del curado de la estructura. Por ejemplo, un núcleo extraído de una estructura mal curada y ensayado húmedo, puede dar resultados del 50% del valor de la resistencia de la probeta curada en agua; por el contrario, núcleos ensayados secos obtenidos de estructuras bien curadas, pueden dar resultados iguales a las probetas ensayadas bajo el requerimiento de las normas.

## 2. Objetivos

- Evaluar la relación entre la resistencia a la compresión de cilindros normalizados, cilindros testigos y la resistencia a la compresión de núcleos.
- Determinar si la variación del diámetro del núcleo tiene efecto en la resistencia a la compresión del elemento estructural.
- Observar si la altura de extracción en el elemento influye en la resistencia a la compresión.
- Comparar el efecto de la dirección de extracción de los núcleos en la determinación de la resistencia a la compresión.
- Evaluar el uso del método de ultrasonido en la homogeneidad y resistencia.

## 3. Metodología de ensayo

Se diseñó y elaboró una mezcla de concreto normal sin aire incluido. Las propiedades de los materiales utilizados se presentan en la tabla 1 y algunas propiedades de la mezcla en la tabla 2.

Se fabricaron en el laboratorio dos columnas de 0.4 x 0.4 x 1.2 m y dos vigas de 0.4 x 0.4 x 1.2 m. (Fotografías 1 y 2). Adicionalmente, fueron tomados cilindros normalizados según la norma NTC 673 y cilindros testigo, para cada uno de los elementos estructurales.

De los elementos estructurales se extrajeron a los 28 días de edad, núcleos de 7,5 cm, 10 cm y 15 cm (fotografías 3 y 4), y se ensayaron según la norma NTC 3658, que especifica que el núcleo debe permanecer 7 días secos al aire antes del ensayo. La relación longitud diámetro siempre fue de  $l/d=2$ .

El curado de los elementos estructurales se realizó durante una semana, cubriendo con bolsas de Polietileno y los cilindros testigos, fueron colocados a las 24 horas de vaciados, al lado de los elementos estructurales, hasta el momento del ensayo (fotografía 1). En días soleados, había riego continuo de agua.

**Tabla 1:** Propiedades de los materiales utilizados en la mezcla de concreto

Material	Propiedad	Resultado
Cemento Portland Tipo 1	Densidad	2970 kg/m <sup>3</sup>
	Tamaño máximo	25 mm
Agregado grueso	Densidad aparente grava	2790 kg/m <sup>3</sup>
	Absorción grava	1,2 %
	Masa unitaria seca compacta	1740 kg/m <sup>3</sup>
	Densidad aparente arena	2700 kg/m <sup>3</sup>
Agregado fino	Absorción arena	1,8
	Módulo de finura arena	3,0

**Tabla 2.** Propiedades de la mezcla de hormigón

Propiedad	Valor
Contenido de cemento	400 kg/m <sup>3</sup>
Relación A/C	0,48
Asentamiento medido	40 mm
Resistencia a la compresión a 28 días	30 Mpa



1



3



2



4

**Fotografía 1**

Columna y cilindros testigos

**Fotografía 2**

Detalle del vaciado de columna

**Fotografía 3**

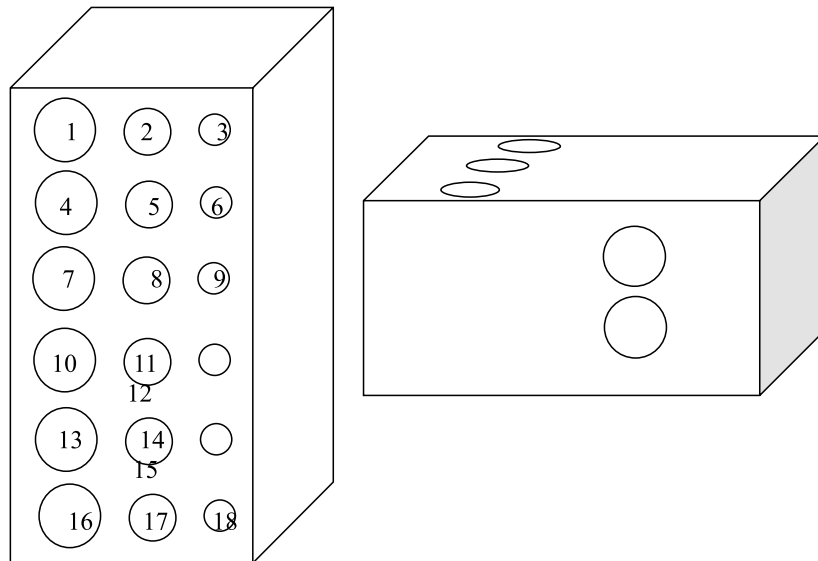
Extracción núcleos

**Fotografía 4**

Núcleos extraídos de la columna

En la figura 1 se muestra la forma de extracción de los núcleos en las columnas y las vigas y como fueron referenciados.

**Figura 1.** Extracción de los núcleos y las columnas de las vigas



#### 4. Resultados de los ensayos

En la tabla 3 se observan los resultados de resistencia a la compresión, ultrasonido y peso unitario de los núcleos extraídos de la columna, los cuales se presentan en la fotografía 4.

Los Resultados de resistencia a la compresión de los cilindros curados por inmersión y curado al aire, se muestran en la tabla 4 y en las figuras 2, 3, 4 y 5.

Los resultados muestran que la resistencia de los cilindros curados al aire es menor que la resistencia de los cilindros curados en inmersión, variando entre el 7 y el 13% aproximadamente. Esto muestra que el curado de los cilindros testigos es bueno.

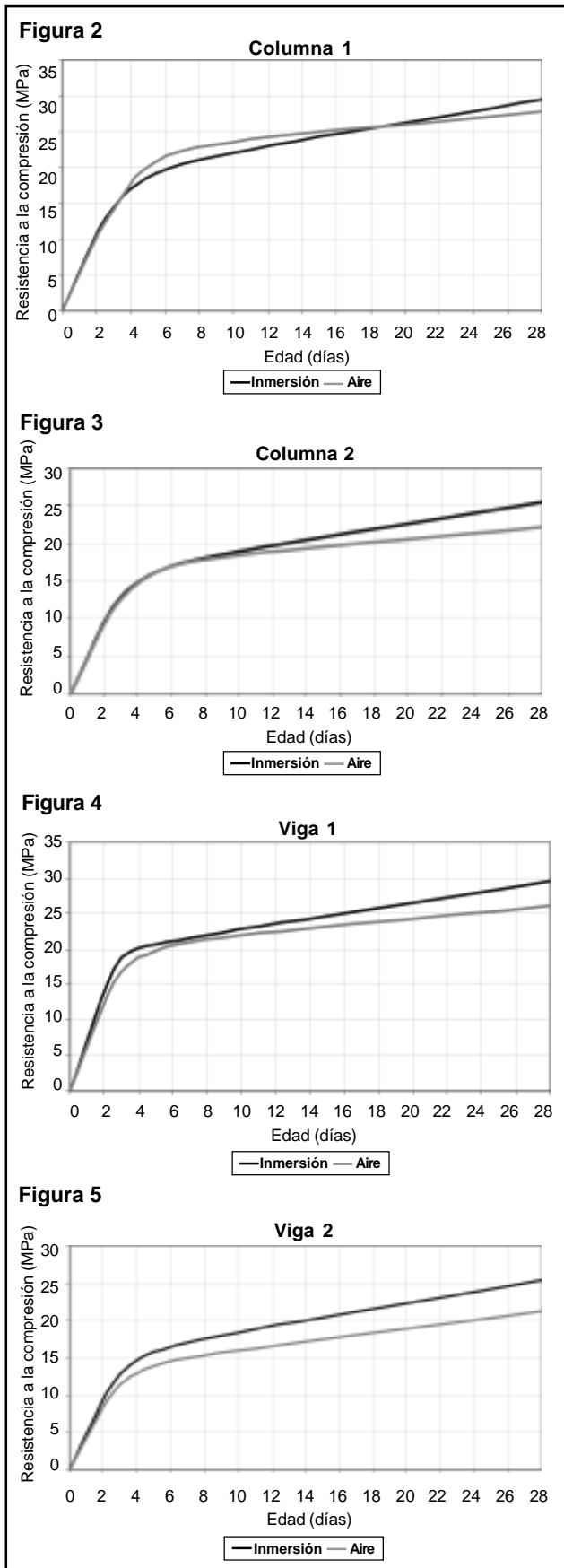
Con respecto a la variación de los diámetros de los núcleos, aunque se observa que los núcleos de 7,5 cm tienen una resistencia ligeramente menor, no se encontró diferencias significativas en resistencias con respecto al diámetro; este resultado es contrario a los resultados obtenidos por otros investigadores (Ahmed, 1999). Sin embargo en la literatura en general (Graham, 1999), se menciona que el efecto del curado muestra discrepancias de resultados en la relación entre los cilindros y núcleos y que la resistencia es mayor a medida que aumenta el diámetro del núcleo debido a que las microfisuras que se generan en el proceso de extracción, son menos significativas en los diámetros mayores.

**Tabla 3:** Resultados de ensayos de laboratorio

<b>Diámetro (mm)</b>	<b>100</b>	<b>75</b>	<b>50</b>
<b>Núcleo N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Resistencia a la Compresión (MPa)	29,2	33,8	32,7
Velocidad del sonido (m/s)	4198	4239	4253
Peso Unitario (g/cm <sup>3</sup> )	2.41	2.36	2.35
<b>Núcleo N°</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Resistencia a la Compresión (MPa)	28,0	29,7	29,2
Velocidad del sonido (m/s)	4338	4224	4082
Peso Unitario (g/cm <sup>3</sup> )	2.34	2.35	2.33
<b>Núcleo N°</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
Resistencia a la Compresión (MPa)	31,4	30,7	29,2
Velocidad del sonido (m/s)	4307	4369	4252
Peso Unitario (g/cm <sup>3</sup> )	2.34	2.39	2.36
<b>Núcleo N°</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
Resistencia a la Compresión (MPa)	30,1	22,0	27,4
Velocidad del sonido (m/s)	4249	4234	4267
Peso Unitario (g/cm <sup>3</sup> )	2.37	2.37	2.38
<b>Núcleo N°</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Resistencia a la Compresión (MPa)	29,2	33,8	30,9
Velocidad del sonido (m/s)	4328	4392	4329
Peso Unitario (g/cm <sup>3</sup> )	2.39	2.38	2.37
<b>Núcleo N°</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>
Resistencia a la Compresión (MPa)	34,4	32,8	33,7
Velocidad del sonido (m/s)	4294	4324	4301
Peso Unitario (g/cm <sup>3</sup> )	2.4	2.38	2.34

**Tabla 4:** Resistencia a la compresión con diferente curado

<b>Tipo de curado</b>	<b>Edad (días)</b>	<b>Resistencia a la compresión - Cilindros (MPa)</b>			
		<b>Columna 1</b>	<b>Viga 1</b>	<b>Columna 2</b>	<b>Viga 2</b>
<b>Inmersión</b>	3	14,3	18,6	12,9	12,9
	7	20,6	21,6	17,6	17,1
	28	29,6	29,5	25,5	25,4
<b>Aire</b>	0	0	0	0	0
	3	13,9	16,7	12,6	11,5
	7	22,4	21,1	17,5	14,9
	28	27,9	26,2	22,2	21,3



Los valores de resistencia de los núcleos son semejantes a los valores de resistencia de los cilindros normalizados, mostrando que el curado de los elementos estructurales fue realizado con mucho cuidado. Este resultado coincide con el de Graham (1999), que menciona que la relación de esas resistencias puede ser muy confiable cuando hay control en el método de curado. Sin embargo, esto no es lo que realmente ocurre en la obra, siendo que un curado deficiente puede afectar los resultados de resistencia de los núcleos.

Con respecto a la altura de extracción del núcleo, se observa una ligera tendencia de aumentar la resistencia a medida que disminuye la altura de extracción, debido posiblemente a la mayor compactación de la parte inferior por acción del peso del hormigón colocado encima.

Si evaluamos la dirección de extracción del núcleo, se puede apreciar que la resistencia de los núcleos extraídos perpendicularmente es un 5% inferior a la de los núcleos extraídos paralelamente. Este resultado puede ser positivo, pues lo usual es realizar la extracción perpendicularmente; ésto nos lleva a pensar que los resultados de resistencia reales son siempre un 5% mayores.

Por último una pregunta puede ser hecha ¿Es el método de extracción de núcleos un método aceptable para medir la resistencia a la compresión de elementos estructurales?

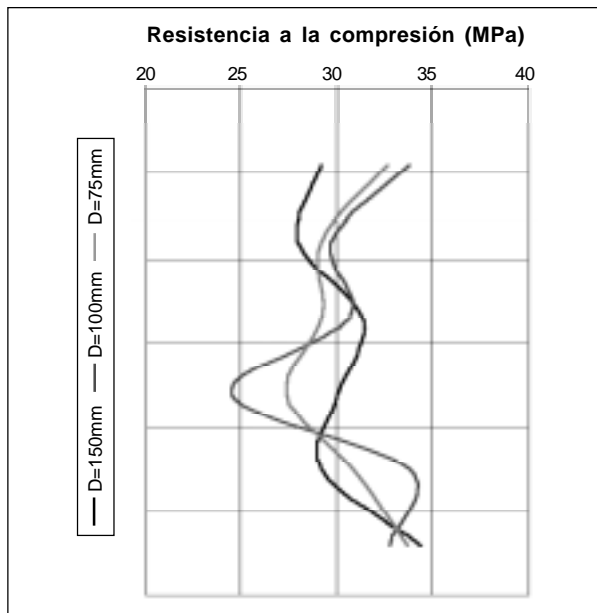
En cuanto al método de ultrasonido, los resultados muestran que existe una buena correlación entre este método y la resistencia in situ de los elementos estructurales, coincidiendo con los resultados de William (1996). Sin embargo, este autor también menciona, en su artículo, que parece que esta relación se puede ver afectada por el tipo de agregado.

La variación de la resistencia a la compresión y la velocidad sónica en los elementos con respecto a la altura de extracción, se presenta en las figuras 6 y 7 respectivamente. Se observa que los núcleos extraídos en la parte central de las columnas, arrojan menores resistencias que los tomados cerca de los bordes. La explicación de este comportamiento puede ser que la vibración del elemento sea de menor calidad a medida que aumente la altura con respecto

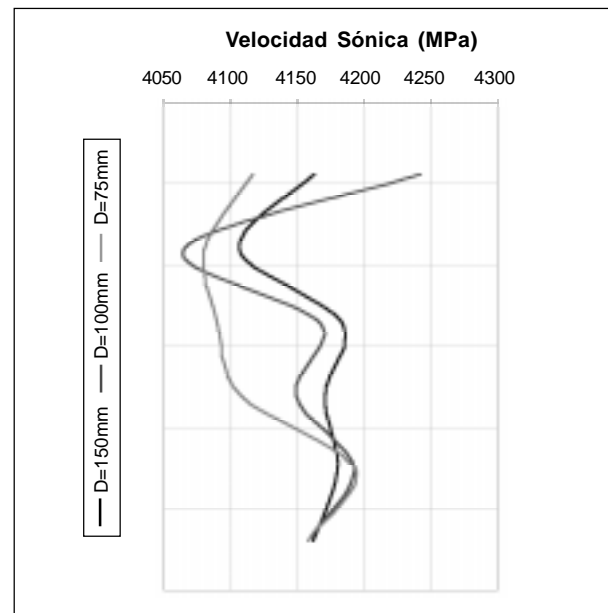
a la parte superior; mientras que en la parte inferior, puede haber mayor compactación debido a la acción del peso del concreto, colocado encima.

Esto nos lleva a ver la importancia que tiene el punto de extracción de los núcleos en las obras ya terminadas. Por lo tanto es fundamental evaluar por medio de un ensayo no destructivo la resistencia de los elementos estructurales a diferentes alturas, para decidir cual es la zona de menor resistencia, puesto que el elemento fallará por el punto más débil.

**Figura 6:** Comportamiento de la resistencia a la compresión con la profundidad



**Figura 7:** Comportamiento de la velocidad sónica con la profundidad



## Conclusiones

- El curado tanto de los elementos estructurales, como el de los cilindros testigos, es clave para obtener poca o ninguna variación en la resistencia de estos elementos, cuando son comparados con la resistencia de los cilindros normalizados.
- Como no se observaron diferencias en la resistencia de los núcleos con diferente diámetro, se puede concluir que este no tiene una influencia significativa en los valores de resistencia.
- La resistencia de los núcleos evaluados, presentó valores semejantes a la resistencia de los cilindros normalizados.
- El tema debe seguir siendo estudiado, pues no existe en la literatura uniformidad de criterios en cuanto a la forma como cada uno de los factores o variables enumeradas influye en la resistencia.
- A pesar de lo anteriormente citado, no podría tomarse el ensayo de núcleos como determinante para evaluar la calidad del hormigón en obra, pues este trabajo debe ser complementado evaluando núcleos en diferentes obras y expuestas a diferentes tipo de curado.
- Con respecto al ensayo de ultrasonido, este ensayo es confiable, pues existe una buena correlación de los resultados obtenidos con los resultados de los cilindros y núcleos.



## Bibliografía

ACI (American Concrete Institute) (1985). Manual de Inspección del Hormigón.

Ahmed E. (1999). Does Core Size Affect Strength Testing?. En: Concrete International. pp. 35-39.

Asociación Colombiana de ingeniería Sísmica (1998). Norma Sismoresistente NSR – 98.

Burg, Ronald G., Carino, Nicholas J (2001). What is the biggest problem with concrete core testing?. En: Concrete Construction. Vol.46. **No.7**. pp.56-58.

Leshchinsky, Alexander M. (1990). Determination of concrete strength by nondestructive methods. En: Cement, Concrete and Aggregates. Philadelphia. Vol.12. **No.2**. pp.107-113.

Graham F, True, (1999). Are we any closer to interpreting concrete core strengths?. En: Concrete -Slough. Vol.33. **No.2**. pp. 29-32.

Normas Tecnicas Colombianas NTC 673

Szypyla, Ava; Grossman, Jacob (1990). Cylinder vs. Core Strength. En: Concrete International. Vol 12. **No 2**. pp. 55-61.

William F. Price,.; Hynes, J. P. (1996). In situ strength testing of high strength concrete. En: magazine of concrete. Research- London. Vol.48. No.176. pp.189-197.