

Factores que afectan la resistencia a la compresión de las probetas de concreto. Una revisión

Jesús Moreno¹ y Oladis Troconis²

¹Doctorado en Ingeniería Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia.
Maracaibo Estado Zulia, Venezuela

²Centro de Estudios de Corrosión, Universidad del Zulia (LUZ).
Maracaibo Estado Zulia, Venezuela

Correo electrónico: jesusalberto301mm@gmail.com y oladistr@gmail.com

Recibido: 23/02/2018

Aceptado: 04-02-2019

Resumen

La resistencia a la compresión del concreto es el principal parámetro utilizado para medir la calidad de este material, la cual se cuantifica por medio de ensayos a probetas cilíndricas o cúbicas elaboradas al momento del vaciado, o núcleos extraídos directamente del elemento estructural ya endurecido. El objetivo de este trabajo consiste en analizar los diferentes factores que deben ser considerados al momento de interpretar los resultados de resistencia obtenidos a partir de las probetas ensayadas (núcleos, cilindros o cubos), con la finalidad de establecer factores de corrección que permitan aminorar el efecto de dichos factores. El estudio de estos factores se realizó a partir de la revisión de distintos trabajos elaborados por investigadores del área técnico-científica, donde se encontró que los núcleos extraídos del elemento son comúnmente utilizados al momento de evaluar la resistencia “in situ” del concreto, pero son las más susceptibles al efecto de factores como la operación de perforación, el tamaño de la probeta, la relación de esbeltez y las características de los agregados. Igualmente, en este trabajo se demostró que existe una diferencia entre los núcleos extraídos y las probetas normalizadas elaboradas en sitio, para lo cual los investigadores plantean factores de corrección.

Palabras clave: Resistencia a la compresión, núcleo, probeta normalizada, factor de corrección.

Factors affecting the compression strength of the concrete specimens. A review

Abstract

The compressive strength of concrete is the main parameter used to measure the quality of this material, which is quantified by testing a cylindrical or cubic specimens prepared at the time of discharge, or cores extracted directly from the hardened structural element. The objective of this work is the analysis of the various factors that must be considered when interpreting the results of resistance obtained from the specimens tested (cores, cylinders or cubes), with the purpose of establishing correction factors to allow slow the effect of such factors. The study of these factors was based on the review of various tasks performed by researchers from the technical-scientific area, where it was found that the element extracted cores are commonly used when evaluating the resistance “in situ” concrete, but are the most susceptible to the effects of factors such as the drilling operation, the size of the specimen, the slenderness ratio and characteristics of the aggregates. Also this paper showed that there is a difference between the cores extracted and standardized specimens prepared “in-situ”, for which the researchers suggest correction factors.

Keywords: Compressive strength, core, standard specimen, correction factor.

Introducción

El concreto es una mezcla constituida por cemento, agregados inertes (finos y gruesos) y agua en proporciones adecuadas para obtener las resistencias prefijadas [1]. Es una mezcla heterogénea que está 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 [2,3]. Sin embargo, en la actualidad el concreto como material se utiliza ampliamente en casi todos los ámbitos de la ingeniería civil [4,5]. Ahora bien, la principal característica que se evalúa del concreto es su resis-

tencia a la compresión, la cual se determina en estado endurecido [6]. La tecnología del concreto en los últimos años ha logrado que sea más fácil alcanzar resistencias elevadas del material, superando incluso la capacidad de la máquina de ensayo [7,8,9].

El control de calidad del concreto se realiza generalmente durante la construcción, elaborando probetas estándar (cubos o cilindros) tomadas del mismo material utilizado en la construcción [2]. Sin embargo, los resultados obtenidos con estas probetas no representan la resistencia real del concreto en una estructura [10,11].

En algunos países como Estados Unidos, Corea del Sur, Francia, Canadá, Australia y otros, se emplean como probetas de ensayo los cilindros de diámetro 150 mm y altura 300 mm, mientras que en el Reino Unido, Alemania y muchos países europeos se usan cubos de 150mm [11]. En Venezuela es comúnmente usado el cilindro de 150*300mm de acuerdo a la norma venezolana COVENIN 338:02 [12].

La resistencia a la compresión del concreto que verdaderamente importa es la que se encuentra en el sitio [13]. Sin embargo, es un objetivo muy difícil de alcanzar ya que depende internamente de una serie de factores tales como: proporciones de la mezcla, aditivos químicos, condiciones del vaciado, tamaño y ubicación del elemento estructural, curado y condiciones de exposición [14-20]. La mejor estimación de la resistencia del concreto "in situ" se puede lograr a partir de la extracción de núcleos en la estructura existente, sin embargo, el núcleo puede ser dañado durante su extracción [13].

Por otra parte, Nikbin et al. [21] establecieron que la determinación de la resistencia real del concreto en una estructura no es fácil porque es dependiente de la historia del curado y la adecuada compactación del concreto. En este sentido, una pregunta que se hacen los diseñadores es si las probetas estándar representan en realidad la resistencia "in situ" del concreto. No obstante, los datos obtenidos a partir de la extracción de núcleos deben interpretarse cuidadosamente porque pueden verse afectados por una serie de factores tales como el diámetro, relación l/d, condición de humedad de la muestra, dirección de perforación, presencia de barras de acero, tamaño de la muestra, tipo de agregado, edad de la muestra, incluso la resistencia a la compresión de diseño [22-27].

Considerando lo anterior, el objetivo de este trabajo de revisión es el de analizar los factores involucrados en la resistencia a la compresión del concreto a partir de la utilización de probetas cilíndricas elaboradas en sitio y de núcleos extraídos de diferentes tamaños, con la finalidad de realizar una mejor interpretación de los resultados mediante el uso de factores de corrección.

Ensayos al concreto

En la actualidad existen varios métodos y ensayos con la cual se puede determinar la resistencia a la compresión del concreto. La presencia cada vez mayor de aplicaciones de ensayos "in situ" al concreto, requiere una comprensión más completa del comportamiento de este material cuando se realizan ensayos destructivos y no destructivos a los elementos estructurales. Las pruebas más usadas son: Prueba de esclerómetro, de ultrasonido y las determinaciones básicas de resistencia [25].

Ahora bien, es importante resaltar que la resistencia del concreto generalmente se determina mediante la evaluación de la resistencia a la compresión de cilindros tomados directamente del vaciado y curados normativamente [13]. Sin embargo, el ensayo de extracción de núcleos representa el método más importante para evaluar la resistencia del concreto "in situ" [4,22,26,28], mientras que los métodos no destructivos tales como esclerómetro y prueba de ultrasonido, no tienen el mismo nivel de confiabilidad [22]. Por otro lado, el comité ACI 214.4R-03 [29] establece que la extracción de núcleo es el ensayo más directo como método para la evaluación de la resistencia del concreto en el sitio.

Extracción de Núcleos

Nikbin et al. [21] indicaron que la extracción de núcleos se hace necesaria generalmente cuando se presentan los siguientes escenarios: Se sospecha de la calidad del concreto, la resistencia real del concreto en la estructura es baja, los cilindros tomados durante el vaciado no coinciden en su resistencia, se presume que la estructura va a estar sometida a esfuerzos mayores a su diseño original.

Ahora bien, el número de ensayos destructivos que pueden ser llevados a cabo en edificios existentes siempre es limitado ya que son ensayos particularmente invasivos [22]. Por otro lado, es importante resaltar que estas pruebas son aceptadas ampliamente para la determinación “in situ” de la resistencia del concreto, sin embargo, los resultados obtenidos en dichos ensayos son a menudo mal interpretados [27].



Figura 1. Extracción de núcleos de concreto.

Según Moseley *et al.* [30] el método convencional para la perforación de núcleos de concreto armado utiliza segmentos con polvo de diamante de tamaño 300-600 μm ., de 5 a 20% del volumen de la matriz metálica. La mayoría de los investigadores han empleado en sus perforaciones el método convencional de punta de diamante [13,21,28,31,32]. En la Figura 1 se observa el método convencional para la extracción de núcleos.

Factores que afectan la resistencia del concreto

Hay diversos factores que influyen en la resistencia a la compresión, para lo cual es difícil determinar si el valor obtenido es en realidad representativo del material “in situ” [22]. En tal sentido la resistencia a la compresión del cilindro se ve afectada por muchos factores, tal es el caso de su tamaño, según algunos investigadores la resistencia disminuye a medida que el tamaño de los cilindros aumenta [11,23].

Para Mirza y Claude [33] el tamaño máximo nominal (TMN) del agregado grueso utilizado en la muestra se debe tomar en consideración mientras se selecciona el tamaño del cilindro, ya que el mismo influye en su resistencia a la compresión, debido a la cantidad de masa representativa presente en el cilindro.

Según Madandoust *et al.* [28] los parámetros que influyen en la resistencia de los núcleos de concreto son el diámetro del núcleo, la relación de esbeltez, la edad del concreto y las características del agregado. No obstante, A. Majeed [34] le da gran importancia al tamaño de la probeta, ya que la intensidad de fractura de cualquier material frágil como el concreto o el mortero se ve afectada por este factor.

Tabla 1. Factores que influyen en la resistencia de los núcleos

Factor	Referencia
1. Operación de perforación	[10, 22, 23, 25, 26, 27]
2. Diámetro del núcleo	[22, 23, 25, 27, 28, 34]
3. Esbeltez (l/d)	[22, 26, 27, 28]
4. Características del agregado	[24, 27, 28, 33]
5. Presencia de armadura	[22, 25, 27, 35]
6. Nivel de resistencia	[24, 25, 27]
7. Humedad del núcleo	[25, 27]
8. Posición de la muestra	[22, 27]
9. Edad del concreto	[22, 28]
10. Relación cilindro/núcleo	[27]

Tabla 1. Continuación

Factor	Referencia
11. Relación agregado/diámetro de probeta	[28]
12. Tipo de elemento	[22]
13. Calidad del curado	[22]
14. Consolidación	[22]

En la tabla 1 se visualizan los principales factores que influyen en la resistencia a la compresión de los núcleos de concreto según varios investigadores.

Es evidente que la operación de perforación de los núcleos y la selección de su diámetro son los principales factores que hay que tomar en consideración cuando se requiere evaluar una estructura de concreto. Sin embargo, son igual de importantes el resto de los factores, ya que afectan de alguna u otra manera los resultados que se pudieran obtener.

En el presente artículo de revisión son estudiados principalmente los siguientes factores: **Tamaño de las probetas, Operación de perforación y Características de los agregados.**

Tamaño de las probetas

Para fines de diseño estructural, la resistencia a la compresión del cilindro estándar ($\phi 150 \times 300$ mm) es aceptada como la propiedad más básica y la más importante [11,35,36,37].

La norma ASTM C31/C31M-09 [38] permite el uso de cilindros convencionales ($\phi 150 \times 300$ mm) o pequeños cilindros para determinar la resistencia a la compresión del concreto, la norma ACI 318-08 [39] permite el uso de pequeños cilindros, sin embargo, se deben tomar como mínimo tres probetas para la determinación de la resistencia a la compresión.

Por otro lado, los cilindros de $\phi 100 \times 200$ mm son permitidos por la norma ASTM C39 [40] y son muy usados para concretos de alta resistencia para que no supere la capacidad de la máquina de ensayo [8,37,41]. Igualmente, los cilindros de diámetro 75mm son adecuados para las pruebas de resistencia de concretos de alta resistencia ($>1000 \text{kg/cm}^2$) [7]. Sin embargo, algunos ingenieros siguen siendo escépticos en la utilización de cilindros pequeños debido a una mayor variabilidad en los ensayos y su falta de precisión en comparación con los cilindros convencionales de $\phi 150 \times 300$ mm [37].

Algunas normas internacionales como la australiana AS 1012.9-1986 [42] y la canadiense CSA A23.1 [43] permiten el uso de cilindros de diámetro 100mm para evaluar la resistencia a la compresión del concreto en lugar de los de 150mm.

Por otro lado, las dimensiones de los núcleos de concreto extraídos de una estructura es objeto importante de esta revisión. A excepción de las muestras de cilindro estándar, las probetas de dimensiones menores se utilizan porque son más pequeñas y ligeras, consumen menos material, reducen el costo de elaboración o extracción y se requiere una prensa de menor capacidad para su ruptura [41]. Así mismo, existen normas que especifican un diámetro mínimo de 100mm para el núcleo, siempre que el diámetro del núcleo sea por lo menos tres veces más grande que el tamaño máximo nominal del agregado grueso. Estas normas se presentaron a continuación en la Tabla 2.

La elección de núcleos de gran diámetro se justifica por la necesidad de obtener muestras con una estructura interna lo más homogénea posible, para ser totalmente representativo del concreto que está siendo examinado y para tener una mayor aproximación al tamaño de la muestra estándar [26].

Tabla 2. Normas para la selección del tamaño mínimo del núcleo

Ref.	Norma	Descripción
44	ASTM C 42:1990	Test for obtaining and testing drilled cores and sawed beams of concrete.
45	BS 1881: Part 120:1983	Method for determination of the compressive strength of concrete cores, British Standards.
46	JIS A1107	Method of Sampling and Testing for Compressive Strength of Drilled Cores of Concrete.
47	COVENIN 345:1980	Método para la extracción de probetas cilíndricas y viguetas de concreto endurecido.

Ahora bien, la extracción de estos núcleos se hace poco práctico, ya sea debido al pequeño tamaño del elemento estructural, a la ubicación del acero de refuerzo o a otros factores; por consiguiente, los núcleos de pequeño diámetro son usados frecuentemente [4,10,21,26,28,31].

A pesar de que la mayoría de las normas exigen que el diámetro del núcleo sea de por lo menos 100mm, algunas son más flexibles en este tema. Tal es el caso de la sociedad del concreto en Londres [48], la cual ha permitido el uso de núcleos de 50 y 75mm mediante la publicación del adendum a su informe de 1976. Igualmente, en Turquía la Norma 12504 TS [49] permite el uso de núcleos de 50mm de diámetro, pero no emplea ningún factor de corrección para relacionarlos con los núcleos de mayor diámetro.

Operación de perforación

En los últimos años ha aumentado la controversia sobre la interpretación de los resultados de resistencia a la compresión de los núcleos de concreto. Según Naik [27] los principales factores que han generado esta controversia son los que se presenta a continuación: ¿A qué edad el núcleo debe ser perforado y ensayado? ¿Qué nivel de resistencia es aceptable en comparación con la resistencia especificada? ¿Qué relación existe entre la operación de perforación de los núcleos y la resistencia del cilindro estándar? ¿Cuáles son los parámetros importantes que afectan en realidad la resistencia del núcleo y cuáles son sus efectos?

Según Felicetti [50] existen factores que están directamente relacionados con la operación de perforación y que pueden influir de alguna manera en la magnitud del daño de la probeta extraída. Estos factores son: la dirección del equipo de perforación, el empuje aplicado sobre la superficie perforada y la velocidad de penetración del equipo. Por otro lado, otros investigadores [10, 26], establecen que se puede ocasionar daño a la muestra durante la perforación debido a la microfisuración (debilitamiento o ruptura de la matriz de unión del cemento y la superficie de las partículas del agregado), o a causa de la generación de grandes grietas y daños en el núcleo.

Características de los agregados

Los materiales frágiles como el concreto y el mortero no solo se ven afectados por la formación de grietas, sino también por las microfisuras que dependen principalmente del tamaño del agregado grueso presente en el material [34]. En este sentido, cuando las partículas del agregado son grandes con respecto al tamaño del núcleo, se incrementará el efecto producido por la perforación o corte del concreto [50].

En el caso de cilindros, cuando el TMN del agregado aumenta con respecto al diámetro de un cilindro normalizado, la distribución del agregado grueso en la capa límite entre la pared del molde y el concreto se hace menos uniforme y por lo tanto el concreto no puede ser compactado suficientemente en estas regiones. A esto se le denomina efecto pared [51].

Por otro lado, el tipo de agregado grueso utilizado puede influir en la resistencia a la compresión de los núcleos perforados. Según Tuncan et al. [31] los núcleos extraídos de un concreto elaborado con agregado grueso natural son más susceptibles a ser dañados por la perforación debido a su superficie

lisa y redondeada que permite mayor deslizamiento del agregado, este efecto puede aumentar si aumenta el tamaño máximo del agregado.

Estudios realizados

Una gran cantidad de investigadores han realizado trabajos experimentales con el objeto de determinar el efecto del tamaño de la probeta en la resistencia a la compresión del concreto, sin limitarse al estudio de otras variables que intervienen en dicho análisis. A continuación, se presentaron los aspectos más relevantes de dichas investigaciones.

Materiales utilizados

En la Tabla 3 se observan las características de los materiales utilizados por los diferentes investigadores en la elaboración de las muestras.

Tabla 3. Materiales utilizados en la mezcla de concreto por diversos investigadores

Ref.	Tipo de probeta	Agregado grueso	A g r e g a d o fino	Resistencia (kg/cm ²)	Relación a/c
[2]	Cil. y Núc.	Triturada TMN=25mm	MF=3,0	300	0,48
[4]	Núcleos	TMN= 20 y 40mm	---	150 - 500	---
[5]	Cil. y Núc.	Piedra natural	---	---	0,40 a 0,65
[6]	Cilindros	Triturada TMN=20mm	MF=2,60	350	---
[7]	Cilindros	TMN= 7mm	MF=3,55	1100 - 1600	---
[8]	Cil. y cub.	Andesita TMN=12mm	---	---	0,28
[9]	Cilindros	TMN= 10mm	---	---	---
[11]	Cil., cub. y Núc.	Triturada TMN=13mm	---	200 - 800	0,28 a 0,67
[21]	Núcleos	TMN= 20mm	---	250 y 450	---
[25]	Cil. y Núc.	---	---	200 - 800	---
[26]	Cil., cub. y Núc.	Triturada TMN=20mm	---	150 - 1000	---
[27]	Núcleos	Triturada TMN=20mm	---	---	---
[28]	Núcleos	Triturada TMN=20mm	de río	200 - 450	---
[31]	Cil., cub. y Núc.	Natural y triturada TMN= 10, 15, 22 y 30mm	---	---	0,55 y 0,60
[33]	Cilindros	TMN= 9 y 19mm	---	---	---
[37]	Cilindros	Piedra de río TMN= 20mm	---	190 - 570	---
[41]	Cilindros	TMN= 5, 15 y 25mm	MF=4,38	---	0,37 a 0,77
[51]	Cil. y cub.	TMN= 12, 22 y 31,5mm	de río	370 - 750	---

MF: Modulo de finura

Condiciones de ensayo

La velocidad de aplicación de la carga sobre las probetas fue establecida por los autores en sus investigaciones de acuerdo a las normativas vigentes establecidas [7,8,11,32,33,41,51]. Por otro lado, algunos investigadores consideraron en sus experimentos la condición de saturación con agua o no de los núcleos antes del ensayo [2,13,22,25,51].

Análisis de la información obtenida

En cuanto al tamaño de los agregados

La diferencia entre los núcleos de diámetro 50mm y 75mm con relación l/d=2 elaborados con TMN de 10 y 30mm es de 28% en cuanto a la resistencia a los 7 días con piedra caliza triturada, mientras que con agregado natural fue de 34%. Estos porcentajes a los 90 días disminuyeron a 14 y 16% respectivamente [31].

La resistencia a la compresión de los núcleos es menor a medida que aumenta el TMN y la edad de ensayo es menor [21,28,31]. Para núcleos del mismo tamaño la incrustación del agregado grueso grande en el mortero ocasiona una reducción en la resistencia mayor que con el agregado más pequeño [51].

En cuanto al tamaño de los núcleos

La resistencia de los núcleos de 50mm es aproximadamente un 6% menor que los de 75mm a la edad de 90días [31]. El uso de núcleos de diámetro pequeño (50 y 75mm) no es confiable [21,31]. La resistencia de los núcleos aumenta constantemente cuando el diámetro del mismo también aumenta [5,26]. La resistencia de los núcleos de diámetro 75mm es ligeramente menor que la de los núcleos de ϕ 100 y 150mm pero la diferencia no es significativa [2].

En cuanto al tamaño de los cilindros

La resistencia a la compresión en los cilindros disminuye a medida que aumenta el tamaño de la probeta, manteniendo en todo momento la relación l/d, [24,26]. La resistencia a la compresión de cilindros de ϕ 100*200mm es mayor a la de los cilindros de ϕ 150mm*300mm [8,41]. Los resultados de esas investigaciones se observan en la Tabla 4.

Tabla 4. Relación de Rc100/150 de estudios realizados

Ref.	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Relación Rc100/150
[33]	150 - 500	1,03
[41]	150 - 450	1,01 – 1,05
[52]	734 - 1121	1,05
[53]	367 - 530	0,98 – 1,06
[54]	82 - 469	0,84 – 1,32
[55]	948	1,01
[56]	235- 816	1,11
[57]	245 - 367	> 1,00
[58]	734 - 1336	1,09
[59]	490 - 816	0,93
[60]	286	1,03

En cuanto al daño por la perforación

La influencia del daño de perforación en los núcleos de concreto aumenta a medida que el diámetro de los mismos disminuye [5, 21, 31]. A mayor resistencia del concreto mayor es el daño en el núcleo debido a que el material ofrece mayor resistencia [21].

En cuanto a la variación de los ensayos

Algunos investigadores [10, 21, 26, 31, 37, 61], determinaron en sus experimentos el coeficiente de variación porcentual (COV), los cuales son resultados objeto de análisis en esta revisión. En la Tabla 5 se presentaron los resultados.

Tabla 5. %COV de ensayos realizados

Ref.	Tipo de Probetas ensayadas	%COV
[10]	Núc. D=28mm (microcores)	35
[21]	Núc. D=50mm	12
	Núc. D=75mm	7
[26]	Núc. D= 100mm	13
	Núc. D= 75mm	16
	Núc. D= 50mm	20
	Núc. D= 28mm	45

Tabla 5. Continuación

Ref.	Tipo de Probetas ensayadas	%COV
[31]	Núc. D=75mm (Ag.tritur.)	12
	Núc. D=75mm (Ag.nat.)	15
	Núc. D=50mm (Ag.tritur.)	12
	Núc. D=50mm (Ag.nat.)	17
[37]	Cil. D=150mm	5.3
	Cil. D=100mm	10.7
[61]	Núc. D= 50mm	12.5
	Núc. D= 100mm	4
	Núc. D= 150mm	5.5

Conclusiones

La extracción de núcleos de concreto es la técnica más utilizada por profesionales e investigadores para la determinación de la resistencia del concreto de una estructura existente, siempre y cuando se tomen en consideración los factores que intervienen en la interpretación de los resultados.

Los factores más importantes que parecen afectar la resistencia a la compresión de las probetas son la operación de perforación, el diámetro del núcleo, la esbeltez (l/d) y las características de los agregados en especial su tamaño y textura.

A pesar de que la mayoría de las normas nacionales e internacionales establecen condiciones para la selección del tamaño del núcleo a extraer, la utilización de probetas más pequeñas presenta múltiples ventajas y son las más empleadas según los investigadores citados en este trabajo. Los núcleos de menor tamaño se ven afectados significativamente por las operaciones de perforación, y dicho efecto se incrementa cuando la relación entre el tamaño del núcleo con respecto al tamaño del agregado disminuye.

El tamaño de los núcleos afecta de manera importante la variabilidad de los resultados, ya que de acuerdo a los resultados obtenidos por los investigadores a menor tamaño del núcleo mayor es el coeficiente de variación (COV).

Existe controversia entre los resultados obtenidos por los investigadores en relación al efecto del tamaño de la probeta y de los agregados en la resistencia a la compresión. Esto requiere un estudio que abarque todas estas variables para así poder determinar los factores de corrección a aplicar.

Referencias Bibliográficas

- [1] COVENIN (337:1998), Definiciones y terminología relativas a concreto. Caracas, Venezuela.
- [2] Hincapié A. y Valencia J., Resistencia al hormigón: núcleos vs. Cilindros. Revista Universidad EAFIT, Vol. 39, No. 131, (2003), 87-95.
- [3] COVENIN (1976-2003). Concreto, Evaluación y métodos de ensayo. Caracas, Venezuela
- [4] Zacoeb A. y Ishibashi K., Point load test application for estimating compressive strength of concrete structures from small core, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 4, No. 7, (2009), 46-57.
- [5] Pul S., Husem M., Arslan M. y Zandi Y., Investigation of Relation between Core and Cylindrical Strength of Concrete Specimen Cured in Different Conditions. Recent Researches in Geography, Geology, Energy, Environment and Biomedicine, ISBN: 978-1-61804-022-0, 265-269.

- [6] Seong-Tae Y., Min-Su K., Jin-Keun K. y Jang-Ho J. K., Effect of specimen size on flexural compressive strength of reinforced concrete members. *Cement & Concrete Composites*, Vol. 29, (2007), 230–240.
- [7] Patnaik A. y Patnaikuni I. Correlation of strength of 75 mm diameter and 100 mm diameter cylinders for high strength concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 32, (2002), 607–613.
- [8] Del Viso J.R. Carmona J.R. y Ruiz G., Shape and size effects on the compressive strength of high-strength concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 38, (2008), 386–395.
- [9] Siddik S., Hikmet D. y Varol K., Drying Effect of Normal and High Strength Concrete Cylinders with Different Sizes. *G.U. Journal of Science*, Vol. 22, No. 4, (2009), 333-340.
- [10] Kilinc K., Celik A., Tuncan M., Tuncan A., Arslan G. y Arioz O. Statistical distributions of in situ microcore concrete strength. *Construction and Building Materials*, Vol. 26, (2012), 393–403.
- [11] Seong-Tae Y., Eun-Ik Y. y Joong-Cheol C., Effect of specimen sizes, specimen shapes, and placement directions on compressive strength of concrete. *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 236, (2006), 115–127.
- [12] COVENIN (338:2002)., *Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto*. Caracas, Venezuela.
- [13] Haque M.N. y Gopalan M.K., Estimation of in situ strength of concrete. *Cement and concrete research*, Vol. 21, (1991), 1103-1110.
- [14] Bloem D.L., *ACI Journal* Vol. 65, No. 3, (1968) 176.
- [15] Bloem D.L., *Proceedings ASTM* 65, (1965) 668.
- [16] Murphy W.E., *ACI*, SP-82 (1984), 377.
- [17] Newman K., *ACI*, SP-82 (1984), 479.
- [18] Keiller A.P., *ACI*, SP-82 (1984), 441.
- [19] Munday J.G.L. and R.K. Dhir, *ACI*, SP-82 (1984) 393.
- [20] Malhotra V.M., *ACI Journal* Vol. 74, No. 4, (1977), 163.
- [21] Nikbin I., Eslami M. y Rezvani S. M., An Experimental Comparative Survey on the Interpretation of Concrete Core Strength Results. *European Journal of Scientific Research* ISSN 1450-216X, Vol.37, No.3 (2009), 445-456.
- [22] Uva G., Porco F., Fiore A. y Mezzina M., Proposal of a methodology for assessing the reliability of in situ concrete tests and improving the estimate of the compressive strength. *Construction and Building Materials*, Vol. 38, (2013), 72–83.
- [23] Metin U., Ercan Ö. y Tuncay K., Prediction of concrete compressive strength in buildings that would be reinforced by fuzzy logic. *International Journal of the Physical Sciences*, Vol. 7, No. 29, (2012), 5193-5201.
- [24] Khaloo Ali R., Mohamad M., y Sharam A., Size Influence of Specimens and Maximum Aggregate on Dam Concrete Compressive Strength. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 21, No. 8, (2009), 349-355.

- [25] Rojas L., Fernández J., y López J., Rebound Hammer, Pulse Velocity, and Core Tests in Self-Consolidating Concrete, *ACI Materials Journal*, Vol. 109, No. 2, (2012), 235-243.
- [26] Celik A., Kilinc K, Tuncan M., y Tuncan A., Distributions of Compressive Strength Obtained from Various Diameter Cores". *ACI Materials Journal*, Vol. 109, No. 6, (2012), 597-606.
- [27] Tarun R. Naik, Variation in concrete core strength., Center for By-Products Utilization, Report No. CBU-1990-13, Department of Civil Engineering and Mechanics College of Engineering and Applied Science the University of Wisconsin – Milwaukee. (1990).
- [28] Madandoust R., Bungey J. y R. Ghavidel., Prediction of the concrete compressive strength by means of core testing using GMDH-type neural network and ANFIS models. *Computational Materials Science*, Vol. 51, (2012), 261–272.
- [29] ACI Committee (214:2003), Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results (ACI 214.4R-03). American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
- [30] Moseley S.G., Bohn K.-P. y Goedickemeier M., Core drilling in reinforced concrete using polycrystalline diamond (PCD) cutters: Wear and fracture mechanisms. *Int. Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, Vol. 27, (2009), 394–402.
- [31] Tuncan M., Arioz O., Ramyar K. y Karasu B., Assessing concrete strength by means of small diameter cores. *Construction and Building Materials*, Vol. 22, (2008), 981–988.
- [32] Kumar R. y Bhattacharjee B., Porosity, pore size distribution and in situ strength of concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 33, (2003), 155–164.
- [33] Mirza S. y Claude D., Compressive strength testing of high performance concrete cylinders using confined caps. *Construction and Building Materials*, Vol. 10, No. 8, (1996), 589-595.
- [34] Sura A., Effect of Specimen Size on Compressive, Modulus of Rupture and Splitting Strength of Cement Mortar, *Journal of Applied Sciences*, Vol. 11, No. 3, (2011), 584-588.
- [35] McGinnis M. y Pessiki S., Influence of steel reinforcement on in-situ stress evaluation in concrete structures by the Core-drilling method. CP820, Review of Quantitative Nondestructive Evaluation, Vol. 25, (2006), 1358-1365.
- [36] Venkateswara S., Seshagiri M. y Rathish P., Effect of Size of Aggregate and Fines on Standard And High Strength Self Compacting Concrete. *Journal of Applied Sciences Research*, Vol. 6, No.5, (2010), 433-442.
- [37] Hosein T., Hamid R., Soleymani, y J. D., Precision of Compressive Strength Testing of Concrete with Different Cylinder Specimen Sizes. *ACI Materials Journal*, Vol. 107, No. 5, (2010), 461-468.
- [38] ASTM C31/C31M:2009, Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens". ASTM International, (2009), West Conshohocken, PA.
- [39] ACI Committee 318:2008, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary. American Concrete Institute, (2008), Farmington Hills, MI.
- [40] ASTM C39/C39M:2009a, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. ASTM International, (2009), West Conshohocken, PA.
- [41] Semsî Y. y Gzde I., The effect of cylindrical specimen size on the compressive strength of concrete. *Building and Environment*, Vol. 42, (2007), 2417–2420.

- [42] AS1012.9:1986, Methods of Testing Concrete, Part 9: Method for the Determination of the Compressive Strength of Concrete Specimens. Standards Association of Australia, (1986), Standard House, Australia.
- [43] CSA A23.1:1998, Concrete Materials and Methods of Concrete Construction. Canadian Standards Association, Rexdale, (1998), Ontario, Canada.
- [44] ASTM C 42:1990, Test for obtaining and testing drilled cores and sawed beams of concrete. Annual Book of ASTM Standards, (1990).
- [45] BS 1881: Part 120:1983, Method for determination of the compressive strength of concrete core. British Standards, (1983).
- [46] Japanese Industrial Standard., JIS A1107, Method of Sampling and Testing for Compressive Strength of Drilled Cores of Concrete. (1993)
- [47] COVENIN (345:1980), Método para la extracción de probetas cilíndricas y viguetas de concreto endurecido. Caracas, Venezuela.
- [48] CSTR 11, Concrete core testing for strength, Technical Report No.11. The Concrete Society, (1976), London,.
- [49] TS EN 12504-1, Testing concrete in structures-part 1: cored specimens- taking, examining and testing in compression". Turkish Standards Institute, (2002), Ankara.
- [50] Felicetti R., The drilling resistance test for the assessment of fire damaged concrete, *Cement & Concrete Composites*, Vol. 28, (2006), 321–329.
- [51] Turkel A. y Hulusi M., Size and Wall Effects on Compressive Strength of Concretes. *ACI Materials Journal*, Vol. 107, No. 4, (2010), 372-379.
- [52] Lessard M., Chaallal O. y Aïtcin PC., Testing high strength concrete compressive strength. *ACI Materials Journal*, Vol. 90, No. 4, (1993), 303–308.
- [53] Sleiman AI, Islam MS, Issa MA, Yousif AA y Issa MA., Specimen and aggregate size effect on concrete compressive strength. *Cement, Concrete and Aggregates*, Vol. 22, No. 2, (2000), 103–115.
- [54] Malhotra JM., Are 4_8 inch concrete cylinders as good as 6_12 inch cylinders for quality control of concrete. *ACI Materials Journal*, Vol. 73, No. 14, (1976), 333–336.
- [55] Moreno J., 225 w. wacker drive. *Concrete International. Design & Construction*, Vol. 12, No. 1, (1990), 35–39.
- [56] Carrasquillo RL., Nilson AH. y Slate FO., Properties of high strength concrete subject to short-term loads. *ACI Materials Journal*, Vol. 78, No. 3, (1981), 171–178.
- [57] Date CG., y Schnormeier R., Development and use of 4_8 inch concrete cylinders in Arizona. *Concrete International: Design & Construction*, Vol. 3, No. 7, (1981), 42–45.
- [58] Howard LN., y Leadham DM., Production and delivery of high strength concrete. *Concrete International: Design & Construction*, Vol. 11, No. 4, (1989), 26–30.
- [59] Carrasquillo PM., y Carrasquillo RL., Evaluation of the use of current concrete practice in the production of high strength concrete. *ACI Materials Journal*, Vol. 85, No. 1, (1988), 49–54.

[60] Nasser KW. y Al-Manaseer AA., It's time for a change from 6_12 to 3_6 inch cylinders. *ACI Materials Journal*, Vol. 84, No. 3, (1987), 213–216.

[61] Bartlett M., Precision of in-place concrete strengths predicted using core strength correction factors obtained by weighted regression analysis. *Structural Safety*, Vol. 19, No. 4, (1997), 397-410.