

Influencia del curado en la resistencia a compresión del hormigón: estudio experimental

*Influence of concrete curing on concrete compressive strength:
an experimental study*

Lucía Garín¹, Adrián Santilli², Eduardo Pejoja³

Recibido: Julio 2012

Aprobado: Setiembre 2012

Resumen.- Este artículo presenta una comprobación experimental sobre la influencia del curado en la resistencia a compresión del hormigón. El estudio consiste en ensayar a compresión probetas provenientes de una misma mezcla de hormigón, pero sometidas a condiciones de humedad de curado distintas (100% y 50% de humedad). Las comprobaciones también fueron realizadas para diferentes dosificaciones. Por ejemplo, las mayores diferencias, en la resistencia a compresión del hormigón sometido a diferentes condiciones de curado, fueron obtenidas para las menores relaciones agua/cemento.

Palabras clave: Hormigón; Curado; Resistencia a compresión; Relación agua/cemento.

Summary.- This paper presents an experimental verification to analyzes the influence of curing on concrete compressive strength. The study consist in testing several specimens from the same concrete mix, exposed to different humidity conditions (100% and 50% humidity) Comparisons were also made for different mixes. For example, the major differences in compressive strength subjected to different curing conditions were obtained for the lower water/cement ratios.

Keywords: Concrete; Curing, Compressive strength; Ratio water/cement.

1. Introducción.- En los últimos años, la investigación relacionada con las construcciones de hormigón se ha centrado en el desarrollo de nuevos tipos de hormigones; como lo son: los hormigones autocompatante, los hormigones autonivelantes, los hormigones con fibras y los hormigones de altas resistencia. Ejemplos son los trabajos publicados por: Assad y Khayat [1] y Carmona et al. [2]. De esta manera, se pueden alcanzar objetivos muy ambiciosos, aunque en todos los casos se debe tener en cuenta un factor muy importante para su ejecución como es el curado.

Fernández [3] establece que el principal objetivo del curado es brindarle al hormigón las condiciones adecuadas de humedad y temperatura para el desarrollo de sus propiedades, en base a su composición y características, lo cual también es considerado por la norma española EHE 2008 [4].

Por otro lado, el ACI Committee 308R [5] establece que el curado tiene una influencia significativa sobre las propiedades del hormigón endurecido. Por lo tanto, un buen curado es necesario para tener un hormigón de buena calidad.

¹ Ingeniera Civil. Universidad de Montevideo, lulereje@gmail.com

² Doctor Ingeniero. Universidad de Montevideo, asantilli@um.edu.uy

³ Doctor Ingeniero. Universidad de Montevideo, epedoja@um.edu.uy

2. Importancia del curado del hormigón.- El hormigón se puede considerar como una mezcla en proporciones adecuadas de: áridos, cemento, aditivos y agua. El contacto del agua con el cemento provoca una reacción de hidratación la cual genera el endurecimiento de la mezcla.

La norma española EHE 2008 [4] establece que durante el fraguado y primer período de endurecimiento, se debe asegurar que el hormigón tenga las condiciones adecuadas para su hidratación.

Neville [6] estableció que las propiedades mecánicas del hormigón dependen en una mayor medida de los cambios en la microestructura de la pasta de cemento, que de la composición química de los productos hidratados. Por lo tanto, el volumen de poros capilares juega un papel importante en las propiedades mecánicas del hormigón.

Fernández [7] considera que cuando las condiciones de curado no son las adecuadas para la evolución de la hidratación, ésta se ralentiza pudiendo llegar a interrumpirse.

Una de las causas que puede provocar la detención de la reacción de hidratación es la falta de agua libre, lo que conduce a una mayor porosidad y por ende a una menor resistencia a compresión.

González [8] realza la importancia de realizar un buen curado para poder obtener una mayor resistencia característica del hormigón, lo cual refuerza el experimento realizado por Gonnerman y Shuman [9] del cual se deduce un aumento en la resistencia a compresión del hormigón cuando se realiza un curado húmedo del material.

Una vez que el hormigón comienza a fraguar experimenta variaciones de volumen, las cuales son deformaciones no instantáneas. El tipo y magnitud de estas variaciones se ven afectadas, en forma importante, por las condiciones ambientales existentes de humedad y temperatura.

García y Horstmann [10] consideran a la retracción como una de las limitaciones más importantes de los hormigones convencionales. Se trata de una variación en el volumen de la mezcla, que se produce por varias razones (contenido de cemento, cantidad de agua, temperatura, etc.), siendo una de las causas más importantes que provocan la fisuración del hormigón. Esta inestabilidad dimensional se produce en el transcurso del fraguado, así como durante el endurecimiento por secado.

Soler [11] considera que las consecuencias de la retracción son la aparición de fisuras y grietas superficiales y la creación de tensiones en el interior de la masa, con la consiguientes disminución de sus propiedades mecánicas.

2.1. Influencia de la humedad.- Cuando el hormigón saturado de agua entra en contacto con la atmósfera seca tiene lugar una retracción debida al gradiente de humedades interior-exterior, el cual genera una pérdida de volumen en la estructura causada por una evaporación del agua de amasado más rápida que la exudación en la superficie del hormigón fresco, lo cual marca la importancia del curado. Al aumentar la humedad relativa del ambiente la retracción decrece.

Según Aitcin et al. [12] este proceso continua luego del inicio del fraguado, y se genera por la evaporación del agua libre contenida en poros y capilares. Según Bazant [13] está perdida de agua tiende a estabilizarse y presenta un comportamiento asintótico en el tiempo.

Estos cambios volumétricos en la masa de hormigón, según Kristiawan [14] pueden provocar tensiones de tracción las que originan fisuras provocando una disminución de la resistencia a compresión del hormigón.

Por ende, la realización de un buen curado tiende a disminuir la pérdida de agua libre y por lo tanto a mejorar la calidad del hormigón.

2.2. Influencia de la temperatura.- Diferentes autores han documentado una ligera tendencia a la disminución de la resistencia a compresión a largo plazo cuando aumenta la temperatura de curado, además de la posibilidad de que se produzca microfisuración. Por ejemplo, García Toledano [15] realizó un estudio experimental concluyendo que una temperatura de curado de 36°C durante las primeras 36 horas de curado provocó una disminución de la resistencia a compresión de aproximadamente un 6% respecto de las curadas a 20°C.

Por el otro lado, bajas temperaturas de curado provocan una reducción en la velocidad de la reacción de hidratación prolongando el tiempo de curado.

La influencia de la temperatura en el curado es importante. Por lo tanto, varios autores recomiendan mantener una temperatura cercana a los 20°C.

3. Estudio experimental.- En este trabajo se han considerado dos condiciones de humedad de curado distintas (50% y 100% de humedad) y tres relaciones agua/cemento determinando la diferencia en la resistencia a compresión a los 7 y 28 días de cada una de las mezclas consideradas.

Para aislar la influencia de la temperatura todas las mezclas fueron curadas manteniendo la temperatura constante. Las temperaturas registradas fueron de 21±2°C.

3.1. Materiales y métodos.- En total, se ensayaron 30 probetas cilíndricas (15 cm de diámetro y 30 cm de altura), abarcando tres relaciones agua/cemento distintas (0.33, 0.5 y 0.7) y dos condiciones de curado distintas (50% y 100% de humedad). Para lograr estas condiciones de humedad las muestras fueron curadas dentro de una cámara húmeda.

Todas las probetas fueron retiradas de la cámara húmeda un día antes de ser ensayadas.

Para cada relación agua/cemento se determinó el contenido de aire (UNIT-NM 47 [16]), densidad (UNIT-NM 56 [17]), asentamiento (UNIT-NM 67 [18]) y resistencia a compresión del hormigón (UNIT-NM 101 [19]) (tanto a los 7 como a los 28 días).

En total, se realizaron 10 probetas para cada una de las mezclas consideradas, de las cuales 5 fueron curadas al 50% de humedad y 5 al 100% de humedad. Por lo tanto, para una condición de humedad y una mezcla se obtuvieron 2 datos de resistencia a compresión a los 7 días y 3 datos de resistencia a compresión a los 28 días.

3.2. Características de las muestras.- La Tabla I muestra las dosificaciones de todas las mezclas realizadas.

Descripción	Dosificación		
	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3
Relación agua/cemento	0,33	0,50	0,70
Cemento (kg/m ³)	520	315	225
Arena fina (kg/m ³)	260	260	349
Arena gruesa (kg/m ³)	650	650	685
Piedra partida (kg/m ³)	995	995	995
Viscocrete 6 (kg/m ³)	1,00	-	-
Viscocrete Artigas (kg/m ³)	3,38	1,89	1,35
Agua (kg/m ³)	173	158	158

Tabla I.- Dosificación en kg/m³ de las mezclas utilizadas.

3.3. Resultados obtenidos.- Una vez realizado los ensayos de rotura a compresión de las muestras, se obtuvieron los valores que indican en la Tabla II.

	Curado 50% de humedad		Curado 100% de humedad	
	7 días	28 días	7 días	28 días
Mezcla 1	52,4	58,5	54,9	65,3
	54,6	58,4	53,9	65,5
		59,1		64,3
Promedios	53,5	58,7	54,4	65,0
Mezcla 2	34,0	38,1	38,2	43,6
	31,8	39,0	38,0	42,3
		-		42,8
Promedios	32,9	38,6	38,1	42,9
Mezcla 3	17,7	18,9	20,5	25,7
	17,4	20,9	21,7	24,1
		19,5		25,0
Promedios	17,6	19,8	21,1	24,9

Tabla II.- Resultados de los ensayos de compresión a 7 y 28 días (MPa)

En la Tabla II, falta un dato para la mezcla dos con curado al 50% de humedad debido a que el mismo fue descartado por una falla en el borde de la probeta.

En la Tabla III, se observan los resultados del asentamiento, densidad y contenido de aire para cada una de las mezclas analizadas.

	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3
Asentamiento (cm)	17	17	6
Densidad (kg/m ³)	2417	2371	2329
Contenido de aire (%v/v)	1,8	2,5	3,4

Tabla III.- Resultados de asentamiento, densidad y contenido de aire.

La Figura I muestra fotografías representativas de las probetas una vez ensayadas las mismas a compresión.



Figura I.- Probetas luego de ser ensayadas

3.5. Discusión e interpretación de los resultados.- En la Tabla IV y en la Figura II se muestran comparaciones para los diferentes ensayos realizados.

En la Tabla IV, la columna C100-50;7d, representa la variación porcentual obtenida para los resultados promedios de la resistencia a compresión a 7 días, entre las dos condiciones de curado experimentadas. La columna C100-50;28d, representa la misma comparación para la resistencia a compresión promedio a 28 días. La variación porcentual se consideró positiva si la resistencia a compresión con un curado al 100% de humedad es mayor a la resistencia con un curado al 50% de humedad.

En la misma Tabla la columna d7-28;C50, representa la variación porcentual obtenida para los resultados promedios de la resistencia a compresión con un curado al 50% de humedad, entre 7 y 28 días. La columna d7-28;C100, representa la misma comparación para la resistencia promedio con un curado al 100% de humedad. La variación porcentual se consideró positiva si la resistencia a compresión a los 28 días es mayor a la resistencia a compresión a los 7 días.

La Figura II muestra una comparación entre los valores promedio de resistencia a compresión obtenidos, discutiendo en función de la mezcla y los días hasta la rotura.

	C100-50;7d	C100-50;28d	d7-28;C50	d7-28;C100
Mezcla 1	1,7%	10,9%	9,7%	19,5%
Mezcla 2	15,8%	11,3%	17,2%	12,6%
Mezcla 3	20,2%	26,1%	12,6%	18,2%

Tabla IV.- Comparación en porcentaje entre los resultados obtenidos

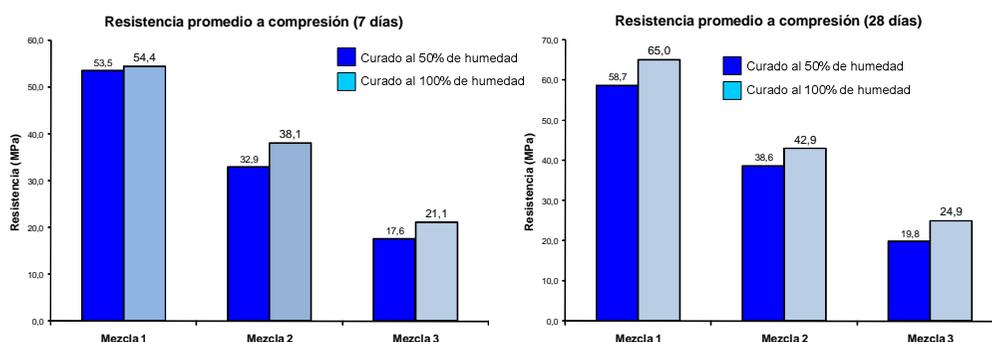


Figura II.-Comparación entre los resultados obtenidos

El curado al 100% de humedad aumenta considerablemente la resistencia a compresión tanto a los 7 como a los 28 días. Por ejemplo, la mezcla 2 en promedio a los 7 días presenta una resistencia a compresión de 32.9 MPa con un curado al 50% de humedad, mientras que su resistencia a compresión con un curado al 100% de humedad es de 38,1 MPa.

La diferencia entre una muestra sometida a un curado al 50% de humedad y una muestra curada al 100% de humedad, es la retracción que sufre la misma. Por lo tanto, las diferencias observadas entre las distintas condiciones de curado reflejan la influencia de la retracción en la magnitud de la resistencia a compresión.

En la revisión bibliográfica [10, 11] se mencionaron como principales consecuencias de la retracción, la aparición de fisuras superficiales y la creación de tensiones internas que alteran las resistencias mecánicas. Este estudio experimental demuestra que dichas fisuras y tensiones tienen un efecto significativo en las propiedades mecánicas del hormigón.

En la Tabla IV se observa que a mayor relación agua/cemento (Mezcla 3), mayor es el aumento en la resistencia a compresión cuando el curado es al 100% de humedad. Este aumento se observa tanto a los 7 como a los 28 días. Estos resultados confirman que los hormigones con altas

relaciones agua/cemento presentan mayores volúmenes de huecos, lo que favorece la conexión entre fisuras, debilitando al material.

Para una misma mezcla el aumento de la resistencia entre los 7 y 28 días, en general fue mayor para los casos de curado al 100% de humedad.

4. Conclusiones.- El análisis de los resultados experimentales permite comprobar que el curado tiene un efecto significativo en la resistencia a compresión del hormigón. Sin importar la relación agua/cemento, con un curado al 100% de humedad se consiguen aumentos en la resistencia a rotura del hormigón, frente a un curado al 50% de humedad. Los mayores aumentos fueron obtenidos para la mezcla con mayor relación de agua/cemento.

5. Agradecimientos.- Los autores de este artículo quieren agradecer a Hormigones Artigas, quienes proporcionaron sus instalaciones y los materiales necesarios para la realización de los ensayos.

6. Referencias

- [1] Assaad, J.J. y Khayat, K. H. *Assessment of Thixotropy of Flowable and Self-Consolidating Concrete*. ACI Material Journal, 2003: 10(2), 99 – 107.
- [2] Carmona Malatesta, S; Aguado de Cea, A; Molins Borrell, C; Cabrera Contreras, M; *Control de la tenacidad de los hormigones reforzados con fibras usando el ensayo de doble punzonamiento (ensayo Barcelona)*. Revista Ingeniería de Construcción, 2009: 24(2) 119 – 140.
- [3] Fernández Luco, L. *Importancia del curado en la calidad del hormigón de recubrimiento. Parte I: Análisis teórico de los efectos del secado prematuro*. Hormigón, 2009: 38 – 47.
- [4] EHE. *Instrucción del Hormigón Estructural*. 2008. Ministerio de Fomento. Centro de Publicaciones, Madrid.
- [5] ACI Committee 308R. *Guide to Curing Concrete*, 2001. American Concrete Institute.
- [6] Neville, A. *Properties of Concrete*. Pearson Educational Ltd.
- [7] Fernández Luco, L. Propuesta de indicadores de la eficacia del curado en obra. *Concrete y Cemento, Investigación y Desarrollo*, 2010: 1(2): 17 – 29.
- [8] González, F. *Manual de supervisión de obras de concreto*. 2da Edición.
- [9] Gonnerman, H. Shuman, E. *Flexure and tension tests of plain concrete*. Research and Development Laboratories of the Portland Cement Association. 1928.
- [10] García, T. Horstmann, P. *Hormigones y morteros sin retracción*. Revista de obras publicas, 1985: 973 – 996.
- [11] Soler, M. *La retracción por secado del hormigón. Cálculo. Figuración*. Construction Chemicals, 2009: 19 -26.
- [12] Aitcin, P, Neville, A.M. y Acker, P; *Integrated view of shrinkage deformation*, *Concrete International*, 1997. 19(9): p. 35 – 41.
- [13] BAZANT, Z. *Concrete fracture models: testing and practice*. En: *Engineering Fracture Mechanics* 2002, 69: pp. 165 – 205
- [14] Kristiawan, S; *Strength, Shrinkage and Creep of Concrete In Tension and Compression*, CED, 2006. 8(2): 73 – 80.
- [15] García Toledano, M. *Estudio experimental sobre la influencia de la temperatura durante el periodo estival en la resistencia a compresión del hormigón*. Trabajo Fin de Master, Universidad Politecnica de Madrid, 2011; 129 pp.
- [16] UNIT-NM 47: *Hormigón. Determinación del contenido de aire en mezclas frescas. Método de presión*. 2002.
- [17] UNIT-NM 56: *Hormigón. Determinación de la densidad a granel, el rendimiento y el contenido de aire por método gravimétrico*. 1998
- [18] UNIT-NM 67: *Hormigón. Determinación de la consistencia mediante el asentamiento del tronco de cono*. 1998
- [19] UNIT-NM 101: *Hormigón. Ensayo de compresión de probetas cilíndricas*. 1998.