

# Impacto del curado interno en pavimentos de hormigón

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE  
ESCUELA DE INGENIERÍA

**Iván Navarrete**<sup>1</sup>, alumno de sexto año

**Ismael Gottreux**<sup>2</sup>, alumno de sexto año

**Mauricio López**<sup>1</sup>, profesor asociado

<sup>1</sup>DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y GESTIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN

<sup>2</sup>DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE ESTRUCTURAL Y GEOTÉCNICA

## INTRODUCCIÓN

Los pavimentos de hormigón presentan una gran área expuesta al secado y, por lo tanto, registran mayores pérdidas de agua y descensos en su humedad interna respecto del común de las estructuras de hormigón. Por ello, particularmente en estas estructuras es muy importante asegurar un buen proceso de **curado**, para lograr un correcto desempeño del hormigón [1]. En los casos donde no se provee un curado adecuado ocurre **retracción plástica**, **retracción hidráulica**, **retracción térmica**, grietas, **alabeo** y todo tipo de problemas que ocasionan una disminución en la durabilidad y resistencia [2].

Para que ocurra una hidratación adecuada de los **materiales cementicios**, la mezcla de hormigón debe tener una humedad interna relativa mayor al 80% [3].

Además, las prácticas actuales muestran una tendencia a usar cementos de alta resistencia temprana, provocando un incremento en la velocidad de hidratación y una reducción anticipada en la permeabilidad del hormigón. Ambos factores producen que el sistema tradicional de curado, que provee agua desde el exterior, sea insuficiente para asegurar una correcta hidratación de los materiales cementicios [4]. Como respuesta a estas necesidades surge el uso de técnicas de curado interno del hormigón.

Investigaciones recientes han estudiado la inclusión de materiales, entre los que se encuentran polímeros superabsorbentes y **agregados livianos**, como reservorios de agua para curado interno y

reducción de la retracción en hormigones de alto desempeño [5-9]. Como resultado de dichas investigaciones se obtuvo que el uso de hormigones de alto desempeño con suministros de agua almacenada internamente permite mejorar la resistencia al secado, retracción y agrietamiento en pavimentos.

El objetivo de esta investigación es demostrar las ventajas del uso de agregados livianos como agente de curado interno en hormigones empleados en la construcción de pavimentos. Estos agregados livianos reemplazan parte del agregado fino convencional de la mezcla (Tabla 1).

## METODOLOGÍA

Se fabricaron dos mezclas de hormigón: una de tipo convencional (control) y otra con árido liviano como agente de curado interno (LWAC). El árido liviano utilizado para realizar la investigación fue **arcilla expandida**. Las dosificaciones empleadas se resumen en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Dosificación para el hormigón convencional (control) y el hormigón con curado interno (LWAC)

Material	Control [kg/m <sup>3</sup> ]	LWAC [kg/m <sup>3</sup> ]
<b>Cemento (Portland puro)</b>	474,4	474,4
Agua	199,2	199,2
Agregado grueso (gravilla)	907	907
Superplastificante (Glenium 3030)	3,8	3,8
Agregado fino (arena)	891,8	183,5
Agente de curado interno (arcilla expandida)	0	438,3
Agua de curado interno	0	94

Los ensayos realizados en esta investigación se dividieron en dos fases. En la primera etapa, se llevaron a cabo con el fin de determinar las propiedades mecánicas de ambas mezclas; en la segunda etapa, se midieron los contenidos de humedad interna y los cambios volumétricos asociados.

Así, en la primera etapa se midió la resistencia a la compresión, la tracción indirecta y el módulo de elasticidad, ensayando tres probetas para cada medición a 3, 7, 28 y 365 días. La resistencia a la compresión y la tracción indirecta fueron determinadas ensayando probetas cilíndricas de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura, acorde a lo establecido en las normas ASTM C39 [10] y ASTM C496 [11], respectivamente. Por otro lado, el módulo de elasticidad fue medido utilizando probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, según lo planteado en la norma ASTM C469 [12].

En tanto, en la segunda etapa se valorizó la pérdida de agua en probetas con una sola cara libre, con el objetivo de replicar las condiciones en terreno de los pavimentos. Las probetas consistieron en viguetas de 8 cm x 15 cm x 50 cm, a las cuales se les controló su peso semanalmente. Además, se midió la retracción hidráulica, para lo cual se emplearon tres probetas de 10 cm x 10 cm x 30 cm a las cuales se les realizaron mediciones semanales según la norma ASTM C157 [13]. Por otro lado, haciendo uso de tres probetas de 10 cm x 10 cm x 30 cm, con una sola cara descubierta, se midió también semanalmente la humedad relativa a distintas distancias a la cara libre. Toda esta fase investigativa fue desarrollada durante cuatro meses.

Todas las probetas ensayadas fueron desmoldadas a la edad de un día y se mantuvieron en una cámara de secado a 20°C y 50% de humedad relativa, hasta la fecha en la que fueron ensayadas con el objetivo de simular condiciones adversas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Propiedades mecánicas

Los resultados de los ensayos de resistencia a compresión en probetas cilíndricas de ambas mezclas se resumen en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Resultados de resistencia a la compresión

	Resistencia a compresión [MPa]			
	3 días	7 días	28 días	365 días
<b>Control</b>	46,5	53,1	62,4	58,0
<b>LWAC</b>	37,3	43,9	51,6	50,8

En los resultados se observa que el hormigón de control presenta una resistencia mayor a la compresión que el hormigón con curado interno en todas las edades ensayadas. Sin embargo, la diferencia entre ambas mezclas va disminuyendo con la edad, partiendo con un 20% de diferencia a los tres días y terminando con una diferencia del 12,5% a los 365 días (Tabla 2). Además, se puede apreciar que en condiciones adversas de humedad y temperatura (50% y 20°C) la resistencia a compresión a 365 días es menor a la resistencia a 28 días en el hormigón de control, mientras que en el hormigón con curado interno se presenta una disminución despreciable.

Los resultados de los ensayos de resistencia a tracción indirecta en probetas cilíndricas de ambas mezclas se resumen en la Tabla 3.

De estos resultados es importante destacar que, al igual que en la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción del hormigón de control es mayor que la del que presenta LWAC a edades tempranas (3, 7 y 28 días). Sin embargo, a edades tardías (365 días) la resistencia a la tracción del hormigón de control es inferior a la del hormigón con curado interno, lo cual se evidencia en el brusco descenso que presenta la mezcla control entre los 28 y los 365 días.

### Estado de hidratación

Los resultados del ensayo de variación de humedad (%) (Figura 1) en hormigón de control y en hormigón con curado interno muestran que la humedad relativa del material con LWAC fue en todos los casos mayor a la obtenida en el hormigón de control a profundidades de 5, 10 y 15 cm respectivamente (Tabla 4).



**Tabla 3.** Resultados de resistencia a la tracción

	Resistencia a tracción [MPa]			
	3 días	7 días	28 días	365 días
Control	4,2	4,3	4,7	3
LWAC	3	3,3	3,8	3,9

**Tabla 4.** Resultados de la humedad relativa

Profundidad [cm]	HR [%] Control	HR [%] LWAC
5	65,8	81,6
10	69,1	87,6
15	80,2	92,1

Lo anterior se cumple cuando el nivel de curado varía según profundidad, dado que para ambas muestras los porcentajes de humedad que se detallan en la Tabla 4 son mayores conforme aumenta la profundidad del muestreo. El mayor porcentaje de humedad representa una mayor fuente de agua disponible en la medida que el hormigón la necesite, y un curado más prolongado.

Los resultados de la retracción total a lo largo de 80 días se resumen en la Figura 2, en el cual puede observarse que en todo momento el hormigón con curado interno se retrae menos que el de control. En la práctica, esto se traduce en una disminución en la aparición de grietas y fisuras en pavimentos.

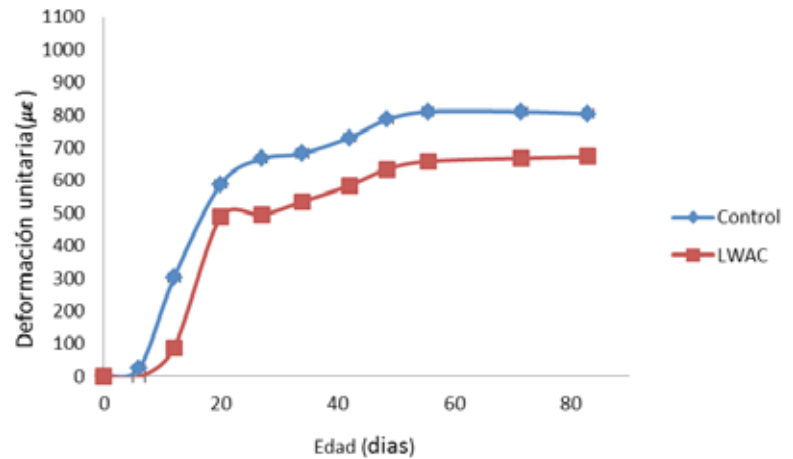


Figura 2. Evolución de la retracción total del hormigón control y del hormigón con curado interno.

La evaporación de agua (pérdida en peso) de las probetas a los 34 días de secado fue de 400 g (30 g/kg) y 150 g (10 g/kg) para hormigón con curado interno y hormigón de control respectivamente. Si bien la pérdida por agua es evidentemente mayor en el hormigón con curado interno, este se encuentra significativamente más hidratado que el hormigón de control, debido al propio proceso de curado.

### Solicitaciones

A partir de la retracción y el módulo de elasticidad medidos se calcularon los esfuerzos a los cuales estarían solicitados ambos hormigones debido a la retracción hidráulica. En la Figura 3 se puede apreciar que incluso en edades tempranas las solicitaciones en el hormigón control son considerablemente mayores que las ocurridas en el hormigón con curado interno, diferencia que va aumentando en el tiempo, llegando a ser aproximadamente el doble a la edad de 80 días. Esto se explica debido a que el hormigón de control presenta una retracción hidráulica y un módulo de elasticidad mayor que el hormigón con curado interno, por lo tanto, los esfuerzos generados por dicha retracción son mayores.

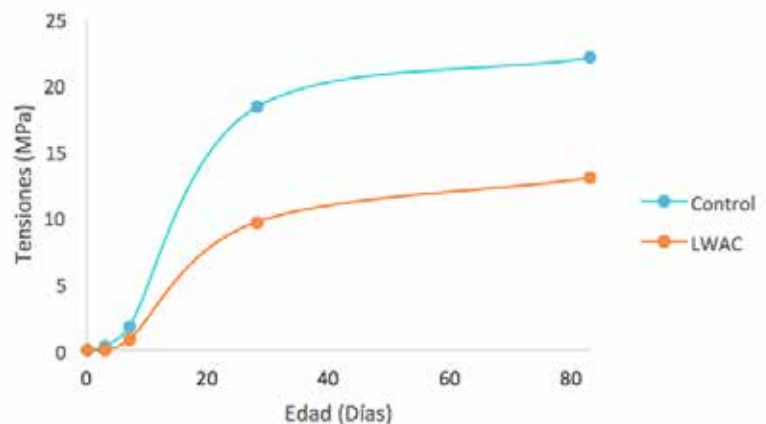


Figura 3. Esfuerzos inducidos en el hormigón a distintas edades.

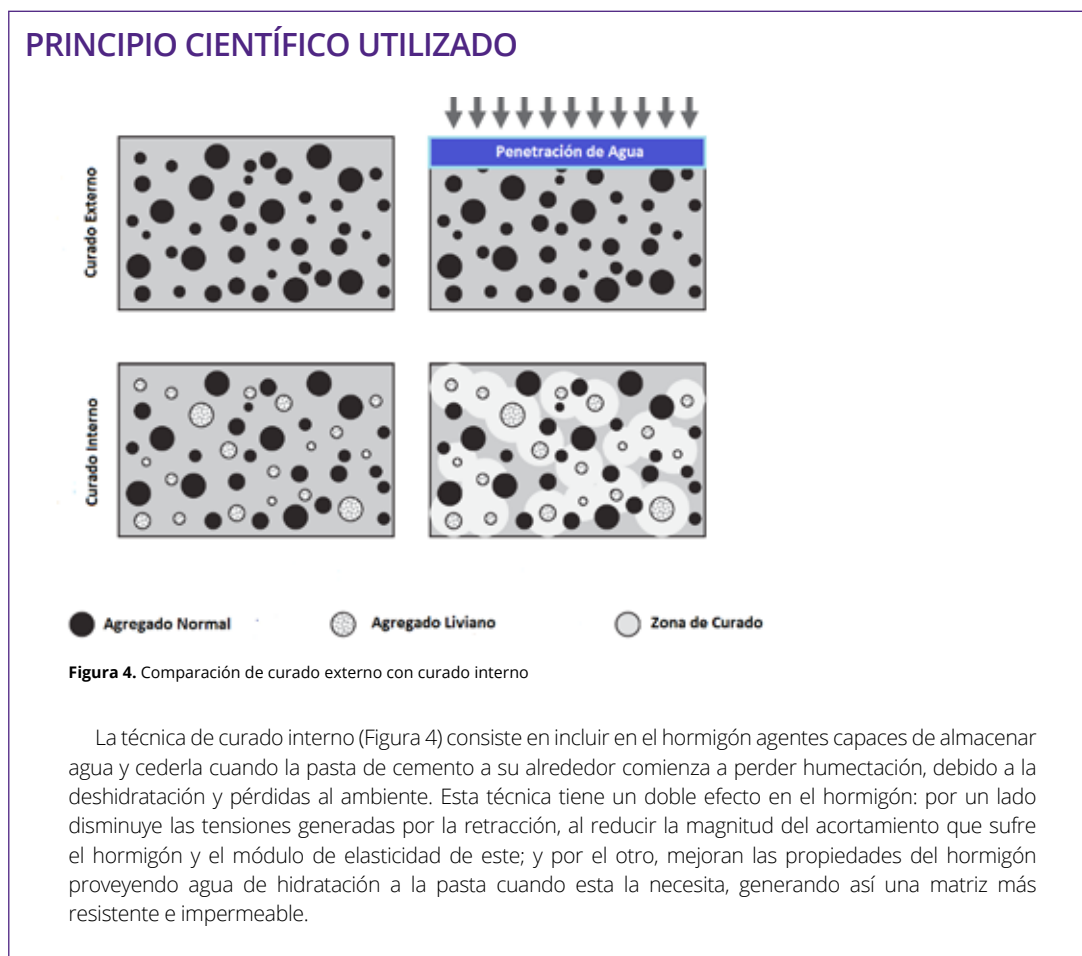
## CONCLUSIONES

A edades tempranas (tres días), tanto la resistencia a la compresión como a la tracción son menores en el hormigón con curado interno. Esta diferencia se va reduciendo con el paso del tiempo y, a edades tardías (365 días), la resistencia a tracción del hormigón con curado interno incluso es mayor que la del hormigón de control. Esto indica que el desempeño del hormigón con curado interno es competitivo con el de los hormigones que existen actualmente en el mercado.

El uso de curado interno permite una disminución en la pérdida de humedad del hormigón en todas las edades medidas, lo cual produce una baja considerable en la retracción hidráulica, disminuyendo las tensiones inducidas en el material.

Los esfuerzos generados sobre el hormigón con curado interno por retracción son considerablemente menores a los generados en el hormigón de control. Si además se considera que la resistencia a tracción de ambos materiales es similar en las distintas edades, se puede concluir que el uso de curado interno es potencialmente una buena técnica para aminorar la aparición de grietas en los hormigones de pavimento y, por lo tanto, mejorar su durabilidad.

Para realizar esta investigación se utilizaron probetas que no representan la relación área/volumen de los pavimentos. Por esta razón, se propone que en una futura etapa de investigación, se haga uso de probetas que representen de mejor manera las condiciones reales de los pavimentos.



## GLOSARIO

**Curado:** Proceso de conservación del hormigón en los primeros días de fabricación. Principalmente se trata de suministrar agua de forma apropiada, ya sea mediante vapor o inmersión.

**Cemento Portland puro:** Conglomerante que actúa cuando es hidratado. Fue el primer cemento hidráulico que se estandarizó.

**Materiales cementicios:** Todos aquellos materiales que se agregan al hormigón y que tienen propiedades conglomerantes.

**Retracción hidráulica:** Variación de volumen producida por la pérdida de agua en poros y capilares en el hormigón.

**Retracción plástica:** Variación de volumen producida mientras el hormigón está todavía en estado fresco. La pérdida de agua por evaporación de la superficie del hormigón agrava la retracción plástica y puede llevar a un agrietamiento superficial.

**Retracción térmica:** Variación de volumen producida por una disminución importante de la temperatura en piezas de hormigón.

**Alabeo:** Deformación de una superficie plana de cualquier material, por acción del calor, humedad, etc., de manera que no puede coincidir con un plano.

**Arcilla expandida:** Árido cerámico de baja densidad. Su granulometría puede fluctuar desde los 10-16 mm hasta diámetros inferiores a los 5 mm. En general, cuanto más grande sea el tamaño del grano, menor será la densidad del material, que oscila entre los 325 kg/m<sup>3</sup> y los 950 kg/m<sup>3</sup>. Esta densidad es hasta cinco veces menor a la de la arcilla común.

**Agregados livianos:** Agregados naturales o artificiales compuestos por partículas con una estructura porosa, cuya masa específica es menor de 2.000 kg/m<sup>3</sup>.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al profesor Javier Castro S., por su constante apoyo en el desarrollo de este proyecto de investigación; a los técnicos de laboratorio del departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción, por su colaboración y apoyo; y al grupo de analistas del área cementos del laboratorio RESMAT, por su ayuda y respaldo.

## REFERENCIAS

- [1] Espinoza-Hijazin, G., López, M. Extending internal curing to concrete mixtures with W/C higher than 0,42. *Construction and Building Materials* 25(1): 1236-1242, 2011.
- [2] López, M., Kahn, L., Kurtis, K. High-strength self-curing low-shrinkage concrete for pavement applications. *International Journal of Pavement Engineering* 11 (5): 333-342, 2010.
- [3] Mindess, S., Young, F., Darwing, D. *Concrete*. 2a. edición. New York, Prentice Hall, 2003.
- [4] López, M., Kahn, L., Kurtis, K. Internal curing in high performance concretes-a new paradigm. *Revista Ingeniería de Construcción* 20 (2): 117-126, 2005.
- [5] Philleo, R. Concrete science and reality, en *Materials science of concrete II*. American Ceramic Society, Westerville, Ohio: 1-8, 1991.
- [6] Webe, S., Reinhardt H.W. A new generation of high performance concrete: concrete with autogenous curing. *Advanced Cement Based Materials* 6 (2): 59-68, 1997.
- [7] Jensen, O.M., Hansen, P.F. Autogenous deformation and RH-change in perspective. *Cement and Concrete Research* 31(2): 1859-1865, 2001.
- [8] Jensen, O.M., Hansen, P.F. Water-entrained cement-based materials I. Principles and theoretical background. *Cement and Concrete Research*.31(4): 647-654, 2001.
- [9] Kovler, K., Jensen, O.M. Novel techniques for concrete curing - new methods for low w/cm mixtures. *Concrete International* 27(9): 39-42, 2005.
- [10] Norma ASTM C39, 2009, "Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens", ASTM International, DOI: 10.1520/C0039\_C0039M-09a.
- [11] Norma ASTM C496, 2004, "Standard test method for splitting tensile strength of cylindrical concrete specimens", ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014. DOI: 10.1520/C0496\_C0496M-04E01.
- [12] Norma ASTM C469, "Standard test method for static modulus of elasticity and poisson's ratio of concrete in compression", ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014, DOI:10.1520/C0469-02E01.
- [13] Norma ASTM C157, "Standard test method for length change of hardened hydraulic-cement mortar and concrete". ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014, www.astm.org.

## EQUIPO DE INVESTIGADORES

- 1 Iván Navarrete
- 2 Ismael Gottreux
- 3 Profesor Mauricio López

