

## **HORMIGONES PARA PAVIMENTOS EN TIEMPO CALUROSO. EFECTO DEL USO DE LOS CONTROLADORES DE HIDRATACIÓN**

Raúl López<sup>1</sup>, Martín Santiago Grosso<sup>1</sup>, Lisandro Martínez<sup>1</sup>  
Centro de Desarrollo e Innovación (CDi), Holcim (Argentina) S.A., Casilla de correo 16,  
X5101ACE, Córdoba, Argentina, raul.lopez@lafargeholcim.com

### **RESUMEN**

---

La ejecución de pavimentos de hormigón en época de altas temperaturas sigue siendo un tema que causa problemas en las obras, particularmente relacionados con la aparición de fisuras plásticas y de origen térmico, con la escasa evolución de las resistencias entre 7 y 28 días y, con el desempeño del hormigón cuando su resistencia es evaluada en testigos calados. El presente trabajo viene a complementar diferentes investigaciones prácticas realizadas por el Centro de Desarrollo e Innovación (CDi) de Holcim. En este caso particular se buscó optimizar mezclas de hormigones evaluadas en condiciones de alta temperatura (superiores a los 33 °C), con el uso de cementos con filler calcáreo altamente reactivos por su composición, de manera tal de llevar al hormigón a condiciones críticas. Para esto se trabajó con aditivos retardadores de fraguado y controladores de la hidratación, evaluando los hormigones tanto en laboratorio, como en losas prototipo y a escala de obra. Los resultados demostraron el aporte beneficioso del control de la hidratación en el logro de las resistencias finales tanto en probetas moldeadas como en testigos calados. Verificándose nuevamente que el control de la hidratación, a su vez, mejora la relación de resistencias entre testigos calados y probetas moldeadas.

**Palabras clave:** pavimentos, tiempo caluroso, controladores de hidratación.

### **INTRODUCCIÓN**

La ejecución de pavimentos de hormigón en época de altas temperaturas sigue siendo un tema que causa problemas en las obras, particularmente relacionados con la aparición de fisuras plásticas y de origen térmico, con la escasa evolución de las resistencias entre 7 y 28 días y, con el desempeño del hormigón cuando su resistencia es evaluada en testigos calados.

Estas condiciones se agravan cuando las resistencias solicitadas se elevan, cuando los espesores de los pavimentos aumentan (caso de los aeropuertos), cuando los agregados disponibles no permiten un diseño de mezclas optimizado, las demandas de agua son elevadas, o como en el caso que estudia, se dispone de cementos de alta reactividad (tiempos de fraguado cortos, rápida elevación de temperatura, rápido desarrollo de resistencias iniciales).

En una anterior publicación se ha estudiado el efecto beneficioso del uso de retardadores de fraguado para este tipo de aplicaciones, generando no sólo un mejor comportamiento en estado fresco sino contribuyendo, además, a un mejor desarrollo de las resistencias a

largo plazo con una mejora adicional en la resistencia de los testigos calados y por lo tanto de la relación testigo probeta [1].

Siguiendo con la línea de trabajo se incorporaron a este estudio aditivos controladores de hidratación, que son agentes orgánicos que cubren los granos de cemento suprimiendo la hidratación superficial. De esta manera los tiempos de fraguado se retrasan, la mezcla retiene la fluidez y se estabiliza su temperatura mientras dura el retraso del fraguado. Cuando el aditivo es consumido químicamente (el tiempo para que esto ocurra depende de la dosis utilizada) la actividad de hidratación normal se reinicia. El efecto del aditivo mejora, además, el desarrollo de resistencias finales [2, 3].

A diferencia de los retardadores de fraguado convencionales, los controladores de hidratación pueden usarse en grandes dosis sin presentar efectos indeseados como un descontrolado tiempo de fraguado o un pobre desarrollo de resistencias [3].

Dado que en la mayoría de las obras de pavimentación con hormigón la aceptación o rechazo por resistencia viene dada por la resistencia mínima en testigos también se estudió el efecto el uso de estos aditivos en prototipos de losas de hormigón sometidas a las condiciones de altas temperaturas ambiente y con hormigón colado a alta temperatura, también.

Para el trabajo se tomó una dosificación de base utilizada por una de las constructoras de la obra de la circunvalación de Córdoba, la que según nos informaron correspondía a un hormigón H-38; originalmente se trataba de un H-35 pero se usaba H-38 en verano “para contrarrestar los efectos de las altas temperaturas”. Los agregados y el cemento disponibles no fueron cambiados y simplemente se trabajó con los aditivos: tipos y dosis. La dosificación tomada como referencia fue la de la tabla 1 y la llamaremos dosificación de obra.

**Tabla 1:** Dosificación original utilizada en obra.

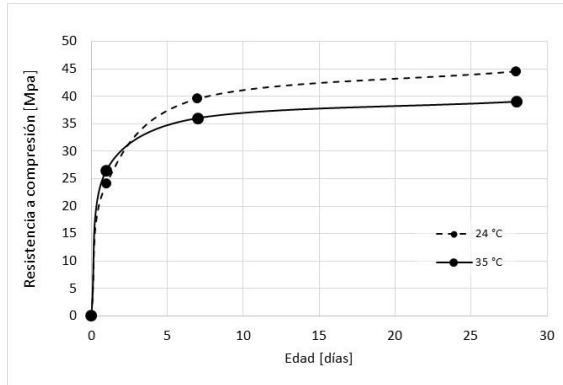
Materiales	H-38 Dosificación de obra
Cemento CPF40 (kg/m <sup>3</sup> )	465
Agua (kg/m <sup>3</sup> )	190
Arena gruesa (MF: 3,1) (kg/m <sup>3</sup> )	710
Triturado 19 – 37,5 mm (kg/m <sup>3</sup> )	1010
Aditivo plastificante de medio rango (kg/m <sup>3</sup> ) (%)*	2,33 (0,50)
Aire incorporado (%)	2,5
Asentamiento (cm)	10

\*las características del aditivo se detallan en la Tabla 2.

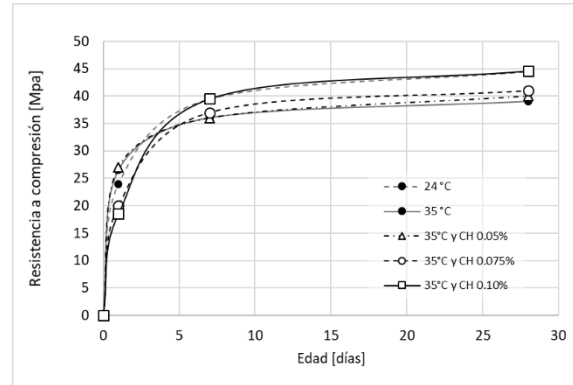
## PRUEBAS EN LABORATORIO

En primer lugar, se evaluó la dosificación en uso (Tabla 1) en dos condiciones de temperatura: ambiente de laboratorio (23 °C) y a 35 °C. Para esto último se calentaron los materiales en estufa desde un día previo al ensayo de manera tal de alcanzar una temperatura de 35 °C en el hormigón; esta temperatura excede la máxima reglamentaria, pero se llevó el hormigón a esta condición para trabajar en condiciones extremas. Por otra parte, se acondicionó la sala de ensayos para tener una temperatura de aproximadamente 35 °C. Se moldearon 2 probetas cilíndricas de 15x30 cm para cada edad de ensayo (1, 7 y 28 días) las que fueron dejadas en la sala de ensayos durante las primeras 24 h y luego

se colocaron en cámara de curado hasta la edad de rotura. Los resultados de las resistencias de estos pastones se representan en la Figura 1, donde es posible observar las diferentes evoluciones y resultados absolutos de resistencias alcanzados que responden al comportamiento habitual de los hormigones a diferentes temperaturas [4]: a 28 días el hormigón elaborado a 35 °C presentó menor resistencia que el elaborado a 24 °C (aproximadamente 5 MPa menos; -12 %).



**Figura 1:** Evolución de resistencia del hormigón de obra a diferentes temperaturas.



**Figura 2:** Evolución de resistencia del hormigón de obra a 24 y 35 °C, y con diferentes dosis de controlador de fraguado y a 35 °C.

### Evaluación de correctores de caída de resistencia por temperatura

Como es conocido, las menores resistencias a 28 días en tiempo caluroso de deben, entre otros factores, a que el rápido proceso de hidratación inicial genera estructuras de silicato de calcio hidratado más desordenadas y porosas [4], por esta razón es que se buscan alternativas para controlar esta velocidad de hidratación. Para esto se evaluaron dos tipos de aditivos: un estabilizador de hidratación y un retardador de fraguado convencional. Las características de estos aditivos se indican en la Tabla 2.

**Tabla 2:** Características de los aditivos utilizados.

Aditivo	Base química	pH	Densidad (g/dm <sup>3</sup> )	Residuo sólido (g/100g)
Plastificante de medio rango	Lignosulfonato - polinaftaleno	5,5	1,230	47,0
Estabilizador de hidratación	Carbohidratos	8,7	1,130	21,7
Retardador de fraguado	Fructuosa	7,8	1,041	13,8

**Aditivo estabilizador de hidratación.** Sobre la misma dosificación de obra (Tabla 1), utilizada en los pastones mostrados en la Figura 1, se realizaron pruebas a 35 °C, con la misma metodología anteriormente descrita, colocando diferentes dosis de aditivo controlador de hidratación (0,05, 0,075 y 0,10 %). Los resultados de la evolución de las resistencias de estos hormigones se muestran en la Figura 2, donde se representan también los pastones de la Figura 1 para facilitar el análisis comparativo.

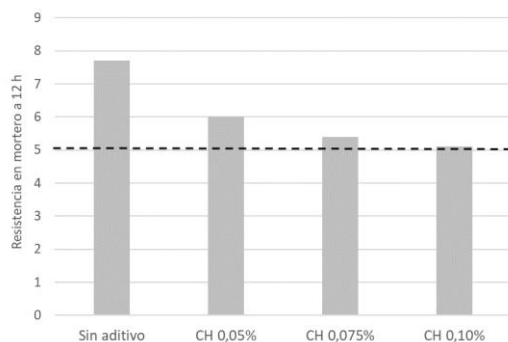
Se observa que la dosis del 0,1 % de aditivo logra corregir la pérdida de resistencia a 28 días por aumento de temperatura. Se observa una disminución de la resistencia a 1 día por efecto del retraso en la hidratación y una marcada evolución de las resistencias de 1 a 7 días. Entre los 7 y 28 días la evolución de resistencia fue similar a la verificada en el pastón elaborado a 24 °C. De esta manera se verifica que adecuadas dosis de controlador

de hidratación permiten contrarrestar los efectos negativos de las altas temperaturas en la resistencia.

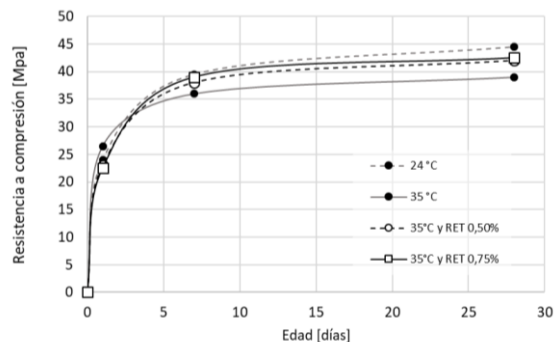
Complementariamente se evaluó el posible impacto en la fisuración plástica que podría tener este retraso en la hidratación inicial y la consiguiente ampliación del período plástico del hormigón. De acuerdo a trabajos anteriores [5] se determinó que para los hormigones que se utilizan frecuentemente en pavimentación, que poseen resistencias especificadas de 35 MPa o superiores, con bajas relaciones agua/cemento y que en muchos casos son colocados con terminadoras de alto rendimiento y por lo tanto de asentamiento reducido, la velocidad de hidratación inicial del cemento es un factor a tener en cuenta para reducir los riesgos de fisuración plástica. En este sentido se determinó que la resistencia a 12 h medida en mortero es un buen indicador de la performance del cemento. Esta resistencia se mide siguiendo los lineamientos de la norma IRAM 1622 [6] pero el mortero se elabora con una relación agua/cemento de 0,35 en lugar de 0,50 como indica la norma. Siguiendo este criterio se evaluaron morteros a los que se les incorporaron las mencionadas dosis de aditivo controlador de hidratación. De acuerdo a la experiencia de los autores alcanzando un mínimo de 5 MPa se reduce fuertemente la posibilidad de fisuración plástica en pavimentos. Los resultados se muestran en la Figura 3, donde se observa que aún con la mayor dosis de aditivo controlador de hidratación se cumple con la resistencia mínima fijada.

**Aditivo Retardador.** De similar manera a la evaluación de los controladores de hidratación, se probaron diferentes dosis de un retardador de fraguado (0,50 y 0,75 %). Los resultados de la evolución de las resistencias de estos se muestran en la Figura 4, conjuntamente con los pastones de referencia de la Figura 1 para facilitar el análisis.

En las dosis utilizadas los retardadores permitieron compensar sólo parcialmente la caída de resistencias por efecto de las altas temperaturas, por lo que se optó por continuar el estudio con el controlador de hidratación.



**Figura 3:** Resistencia a compresión en mortero, a 12 h con diferentes dosis de aditivo controlador de hidratación.



**Figura 4:** Evolución de resistencia del hormigón de obra a diferentes temperaturas y con diferentes dosis de retardador de fraguado y a 35 °C.

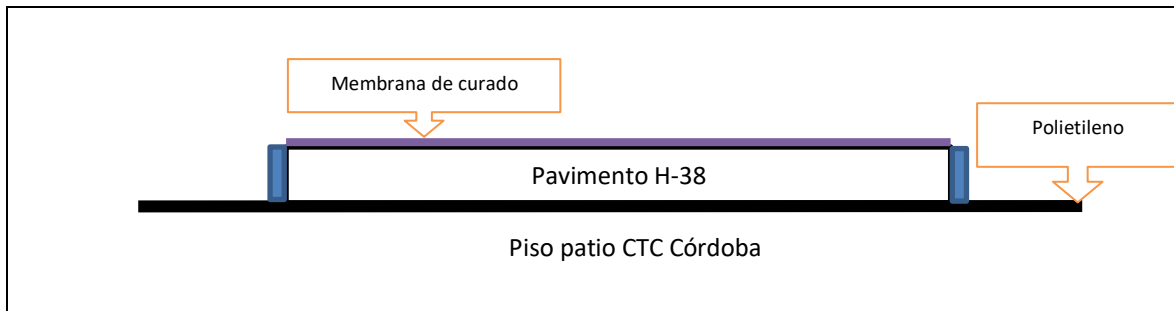
## PRUEBAS EN PROTOTIPOS

A partir de los resultados obtenidos en laboratorio, se determinó realizar pruebas en prototipos con la finalidad de evaluar la aplicabilidad de hormigones con aditivo estabilizador de la hidratación en pavimentos de resistencia característica H-38 colados bajo temperaturas mayores a 30 °C. El objetivo principal de esta parte del estudio fue evaluar el impacto que tiene el uso del controlador de hidratación en la resistencia de testigos colados en losas de pavimento. En clima caluroso el hormigón del pavimento, y por lo tanto los testigos que de él se extraigan, estarán en condiciones mucho más

adversas en términos de evolución de resistencia que las probetas; de allí el interés en esta evaluación.

### Esquema de los prototipos

Se realizaron 2 losas de hormigón como las indicadas en el Croquis 1 y la Fotografía 1, cuyas dimensiones fueron 2x0,5x0,2 m; una de ellas se elaboró con el hormigón de obra (Tabla 1) y la segunda con similar hormigón, pero utilizando la dosis de 0,10 % de controlador de hidratación, de igual manera a lo realizado en las pruebas de laboratorio. La temperatura de los hormigones fue de 30,2 y 30,6 °C respectivamente, y no se verificaron diferencias en las demandas de agua entre ambos hormigones. Para evitar pérdidas de humedad las losas fueron construidas sobre una base existente de hormigón sobre la que se colocó una lámina de polietileno y en la parte superior fueron curadas con una membrana de curado base solvente aplicada a razón de 200 g/m<sup>2</sup>.



**Croquis 1:** Esquema de los prototipos.



**Fotografía 1:** Esquema de las losas de prototipos.



**Fotografía 2:** extracción de testigos de las losas.

### Resultados de los hormigones evaluados en prototipos

Sobre las losas se extrajeron 2 testigos por cada edad de ensayo (Fotografía 2), y se determinó la resistencia a compresión a 7, 14 y 28 días, siendo los resultados los de la Tabla 3. Como se observa, el uso del aditivo controlador de la hidratación permitió lograr resistencias muy superiores al hormigón que no lo tenía, esto representa una ventaja adicional en el caso de los pavimentos donde habitualmente el criterio de aceptación o rechazo está dado por la resistencia mínima en testigos.

Se hace notar que las resistencias en testigos de ambas losas fueron superiores a las obtenidas oportunamente en las respectivas probetas (Figuras 1 y 2); no se pudo identificar la causa de esto, la que posiblemente se encuentre en las variaciones propias de los materiales. De todas maneras, la diferencia de resistencia de los testigos con y sin aditivo

controlador de la hidratación se mantuvo en el mismo orden que el encontrado en probetas: aproximadamente 5 MPa, equivalente a un 12 %.

Por otra parte, no se observaron fisuras en la superficie de las losas.

**Tabla 3:** Resistencia promedio de testigos extraídas de las losas prototipo

Edad	Resistencia promedio en testigos [MPa] y rango porcentual de variación	
	Dosificación de obra	Dosificación de obra + 0,10 % de controlador de hidratación
7 días	30,0 (13,3 %)	32,7 (2,4 %)
14 días	32,4 (2,8 %)	37,0 (5,1 %)
28 días	41,5 (3,4 %)	46,7 (6,9 %)

## CONCLUSIONES

Las pruebas realizadas demuestran la utilidad del uso de controladores de hidratación como una medida para contrarrestar la pérdida de resistencia por efecto de las altas temperaturas tanto en probetas moldeadas como en testigos calados. En el caso particular de este estudio una dosis de 0,10 % de controlador de hidratación permitió revertir el efecto de las altas temperaturas en la resistencia de probetas y testigos. El uso de otros materiales implicará una evaluación particular para determinar la dosis adecuada de controlador de hidratación.

No es menos importante que la solución no implique un riesgo adicional para el pavimento frente a la fisuración plástica.

Estas evaluaciones se realizaron en condiciones extremas, incluso por fuera de lo reglamentario, para forzar a que la solución que se encontrara fuera lo suficientemente robusta y pudiera ser válida para condiciones que puedan darse en obra.

## REFERENCIAS

- [1] López R, Basualdo S, "Optimización de mezclas de hormigón para la maximización de la relación de resistencia testigo probeta", 20ª Reunión Técnica de la AATH, Concordia, Argentina, (2014).
- [2] GCP. gcpat.com. [En línea] gcpat.com/en/solutions/products/tb-1301-recover-hydration-stabilizer-applications-and-performance-review.
- [3] Ramachandran VS, "Concrete admixtures Handbook, properties, science and technology", Noyes Publications, (1995).
- [4] Soroka I, "Concrete in hot environments", E & FN SPON, (2004).
- [5] López R, González M, Faletty F, "Evaluación de la tendencia a fisuración de los cementos", 16ª Reunión Técnica de la AATH, Mendoza, Argentina, (2006).
- [6] IRAM 1622, "Determinación de las resistencias mecánicas", Instituto Argentino de Normalización y Certificación, (2006).