

MAXIMIZACIÓN DE LA RELACION DE RESISTENCIA TESTIGO/PROBETA: ADITIVO RETARDADOR DE FRAGUADO, UN CASO DE ESTUDIO.

Raúl López, Santiago Basualdo, Iris Sánchez Soloaga, Lisandro Martinez.

Centro Tecnológico, Holcim (Argentina) S.A., Casilla de correo 16, X5101ACE, Córdoba, Argentina. Tel.: +54 351 498 1987
e-mail: iris.sanchezsoloaga@lafargeholcim.com

RESUMEN

En el caso particular de las obras de pavimentos de hormigón, es habitual que los pliegos adopten como criterio de aceptación o rechazo de la losa construida, su resistencia a compresión medida en testigos. Sin embargo con frecuencia se presentan diferencias entre los resultados de testigos extraídos directamente de las losas ejecutadas y, de probetas moldeadas debido a diversas condiciones inherentes a los materiales, al clima, y a los procesos de colocación, compactación y curado, entre otros. En este sentido la obtención de la mayor relación testigo/probeta se transforma en un aspecto de suma importancia para los términos contractuales de la comercialización del hormigón elaborado, de lo cual se infiere la importancia del correcto juzgamiento de la resistencia medida.

El presente trabajo procura determinar de qué manera el productor de hormigón elaborado puede intervenir, desde la composición del hormigón provisto, para reducir la diferencia entre la resistencia obtenida en probetas y la que se obtiene en los testigos para la condición de hormigonado en tiempo caluroso, dado que es en este clima donde se presentan las mayores diferencias.

En función de lo expresado se diseñaron distintas dosificaciones evaluando diferentes variables: aditivo retardador de fraguado, cemento y agregados. En una primera etapa se moldearon probetas normalizadas y se ensayaron testigos de losas construidas a escala de laboratorio, verificándose que el uso de aditivos retardadores aumenta la relación testigo/probeta. En función a lo obtenido, en una segunda instancia, se procedió a evaluar diferentes aditivos retardadores.

Concluyendo, se verificó que para todas las alternativas planteadas, se lograron incrementos sensibles en la relación de resistencia testigo/probeta con respecto al hormigón de referencia. Para el caso de estudio del aditivo reductor, además de aumentar la relación testigo/probeta, aumentó la resistencia de las probetas lo que implicaría un mayor aumento de las resistencias en los testigos.

1. INTRODUCCIÓN

El método de los testigos, consiste en extraer una muestra cilíndrica del elemento en estudio por medio de un taladro para posteriormente determinar la resistencia a la compresión. El Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de Vialidad Nacional, refiere que en el caso

de requerir estimar la resistencia del hormigón de una parte determinada de la obra, se extraerán y ensayarán al menos dos (2) testigos del hormigón de la estructura a la edad de 28 días y ningún testigo podrá tener una resistencia a la compresión menor que el 80% de la resistencia especificada [1].

El Reglamento CIRSOC 201-05 establece que los testigos de una estructura no podrán tener en promedio una resistencia menor que el 85% de la especificada, ni ningún valor individual menor al 75% de ésta.

Numerosas investigaciones muestran que la resistencia a la compresión del hormigón medida a partir de testigos extraídos de la estructura, es menor en el orden del 10% al 15% [2] que la suministrada por los cilindros moldeados, curados y ensayados a la misma edad. Esto es así porque los testigos nos proporcionan información directa sobre el hormigón in-situ, tal como existe en el elemento en el momento de la extracción (resistencia real), y es el resultado final de la calidad del hormigón suministrado por el proveedor y de la correcta ejecución y curado por parte del constructor.

Los resultados de los testigos no son directamente comparables con los obtenidos a partir de probetas cilíndricas que miden la calidad del hormigón en condiciones ideales de compactación y curado previo a la realización del ensayo de compresión (resistencia potencial). En tanto que el hormigón de la estructura habrá sido curado según un procedimiento distinto, casi siempre más desfavorable que las condiciones de conservación estándar, y posiblemente haya sido colocado con un grado de compactación menor y este sometido a las variaciones climáticas imperantes en el lugar.

Particularmente, el hormigonado en clima cálido puede provocar algunos problemas específicos. Una alta temperatura ambiental tiene como consecuencia una mayor demanda de agua del hormigón y un incremento en la temperatura de dicho hormigón en estado fresco, aumentando la velocidad de pérdida de fluidez y acelerando los tiempos de fraguado, alcanzando así menores resistencias finales en el hormigón [3]. La pérdida de fluidez genera la frecuente adición de agua al hormigón con el objeto de restablecer la trabajabilidad original. [4]. Como resultado de todo lo anterior, la temperatura ambiental alta puede afectar adversamente las propiedades mecánicas y de servicio del hormigón endurecido. Las resistencias iniciales aumentan considerablemente cuando se incrementa la temperatura de curado, pero el desarrollo de la resistencia final se ve afectado negativamente.

Las evaluaciones realizadas procuran brindar información de utilidad para el productor de hormigón elaborado en cuanto a la dirección que se debería tomar para optimizar, desde el punto de vista técnico-económico el diseño de hormigones y atenuar los efectos adversos del hormigonado en tiempo cálido en la relación testigo - probeta.

2. ANTECEDENTES

El Centro Tecnológico Holcim ha realizado diferentes estudios sobre las variables que pueden atenuar los efectos del hormigonado en clima caluroso: uso de aditivo retardador de fragüe, cambio del tipo del cemento y cambio en el tamaño máximo del agregado [5]. Para esto, con el fin de simular el comportamiento de los pavimentos de hormigón de manera simplificada

y realizable a escala de laboratorio, se construyeron losas de las que se extrajeron testigos y se moldearon probetas normalizadas. Además, los pastones de hormigón se realizaron simulando condiciones de alta temperatura para lograr 30°C en el hormigón.

Las distintas dosificaciones se diseñaron considerando las variables que se determinó evaluar. En todos los casos, se definió un asentamiento de consigna de 8±1 cm y, en base a experiencias previas, se ajustaron los contenidos unitarios de cemento de las diferentes dosificaciones para lograr similar resistencia en probetas moldeadas, de manera tal que las resistencias obtenidas en testigos pudieran ser comparadas directamente.

De este trabajo se concluyó que el uso de cemento de menor velocidad de hidratación o retardadores de fraguado colaboraban en lograr mejores resistencias en testigos y probetas y aumentaban la relación testigo probeta. Similar efecto beneficioso tuvo la reducción del tamaño máximo del agregado de 38 a 19 mm. A continuación en la Figura 1 se muestran los resultados obtenidos.

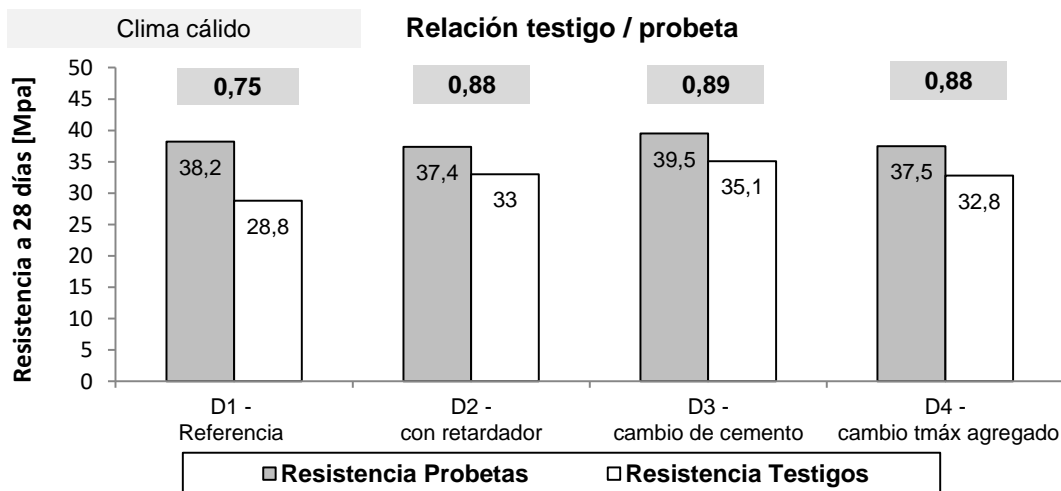


Figura 1: Resistencias en probetas y testigos de la evaluación en clima cálido

A partir de estos resultados se estudió el efecto de diferentes retardadores de fraguado de uso habitual en el mercado.

3. MATERIALES Y METODOS

Los pastones para evaluar el uso de los aditivos retardadores se realizaron en laboratorio con un contenido de cemento de 400 kg/m³ y una temperatura de 30±2 °C en el hormigón fresco. En todos los casos, se agregaron dosis prefijadas de los distintos aditivos y se buscó un asentamiento inicial del hormigón en el cono de Abrams de 10±2 cm por medio del ajuste del agua de amasado.

Se mantuvieron las probetas a 30±2°C las primeras 6 horas y luego a 23±2°C hasta cumplir las 24 horas. Finalizado este período se desmoldaron y se curaron en cámara húmeda

hasta la edad de rotura. Cabe destacar que las condiciones de curado inicial bajo las cuales se evaluó el efecto de los retardadores fueron muy severas respecto de las condiciones habituales de obra.

Para controlar la evolución de la temperatura del hormigón y el efecto del uso de retardador se moldeó una probeta adicional para cada pastón y se introdujo una termocupla con la que se llevó a cabo el registro de temperatura cada 10 minutos durante las primeras 24 horas a contar desde que se moldearon.

A los fines de la evaluación del tiempo de fraguado de las distintas alternativas, se realizaron morteros variando el uso de aditivos retardadores. Se utilizó una relación a/c entre 0,37 y 0,40 en los distintos morteros realizados, cuya temperatura de ensayo se fijó en $30\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Materiales

- Cemento Pórtland Compuesto CPC40.
- Arena sílicea fina.
- Arena sílicea gruesa.
- Triturado granítico. T_{máx} 19 mm.
- Triturado granítico. T_{máx} 38 mm.
- Aditivo plastificante
- Aditivo retardador

La dosificación utilizada en los hormigones para verificar la eficacia de los aditivos retardadores es la que se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1 – Dosificación tipo utilizada para los hormigones H35

Hormigón tipo H-35		Cantidades	
Cemento		kg/m ³	400
Agua		kg/m ³	* ¹
Áridos finos	Arena fina	kg/m ³	167
	Arena gruesa	kg/m ³	558
Áridos gruesos	Triturado t _{max} 19	kg/m ³	502
	Triturado t _{max} 38	kg/m ³	632
Aditivo		%	* ²

*¹ CUA necesaria para asentamiento de consigna (10±2 cm).

*² Tipos y dosis de aditivo según combinaciones prefijadas.

4. ANALISIS DE RESULTADOS

En la Tabla 2 se presentan los valores de resistencia y costo por MPa obtenidos en los hormigones con y sin aditivos retardadores.

Tabla 2: Comparativa de resistencia, rendimiento y costo/MPa a 28 días con y sin aditivo retardador.

	Sin retardador	con retardador		
		Retardador 1	Retardador 2	Retardador 3
	(prom. 3 pastones)	(prom. 13 pastones)	(prom. 4 pastones)	(1 pastón)
CUA [lts/m ³]	170	169	165	164
Aditivo Plastificante [%]	0,60	0,60	0,60	0,60
Aditivo Retardador [%]	-	0,20	0,35	0,35
Resistencia a 28 días [MPa]	38,8	40,7	40,9	41,6
Rendimiento a 28 días [Kg/cm ² /kg/m ³]	0,99	1,04	1,04	1,06
Costo por MPa a 28 días [\$/m ³ . MPa]	26,1	25,0	25,1	24,6
Incremento de resistencia		+2,0 MPa (+5%)	+2,1 MPa (+5%)	+2,8 MPa (+7%)

La Figura 2 presenta un par de resultados obtenidos de la evolución de la temperatura, el cual es representativo del comportamiento general de los distintos hormigones con y sin aditivo retardadores.

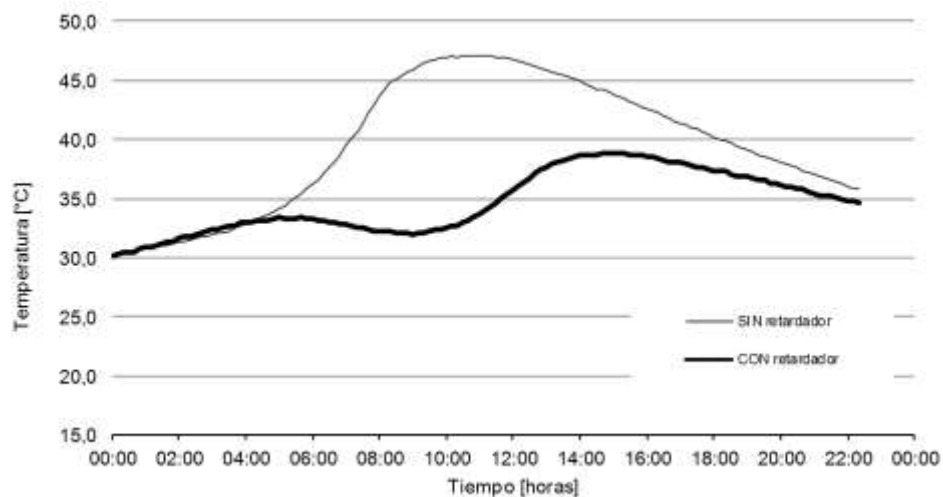


Figura 2: Curvas de evolución de temperatura en probetas de hormigón con y sin aditivo retardador.

En la Figura 3 se presentan los tiempos de fraguado obtenidos con los distintos aditivos retardadores. Todos los resultados se presentan en comparación con un mortero sin aditivo retardador.

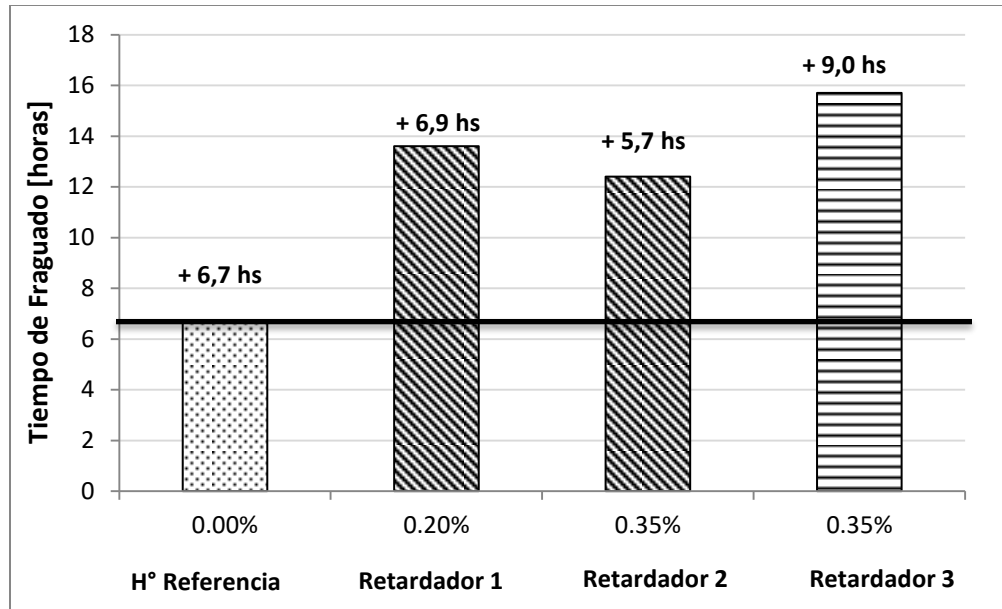


Figura 3: Gráfico de barras del tiempo de fraguado inicial para distintos tipos y dosis de aditivos retardadores.

- La incorporación del aditivo retardador en el hormigón H35 a 30°C aumentó en promedio 5% la resistencia a 28 días respecto del hormigón sin aditivos.
- El costo por MPa del hormigón se redujo en promedio 5% cuando se incorporó aditivo retardador (\$26,1 contra un promedio de \$24,9 por cada MPa).
- El uso de aditivo retardador disminuyó el pico máximo de temperatura desarrollada en el hormigón y retardó varias horas la ocurrencia del mismo.

Vinculando los resultados alcanzados en [5] que se resumen en la figura 1 con los resultados surgidos del uso de diferentes retardadores se confeccionó la Tabla 3, donde se comparan con un hormigón sin aditivo retardador, las resistencias obtenidas en probetas con diferentes retardadores y las potenciales resistencias que se obtendrían en testigos. Estas últimas se ven incrementadas por la mayor relación testigo / probeta y por la mayor resistencia absoluta alcanzada con el uso de retardadores. Estos mismos resultados se representan gráficamente en la figura 4.

Tabla 3: Comparativa de la resistencia en hormigones con y sin retardador versus incremento de la relación testigo probeta y costo por MPa.

	Sin retardador	con retardador		
		Retardador 1	Retardador 2	Retardador 3
Incremento de resistencia en probetas [MPa]	39	41 (+2,0)	41 (+2,1)	42 (+2,8)
Incremento de resistencia en testigos [MPa]	29	36	36	37
Costo por MPa en testigos a 28 días [\$/m ³ . MPa]	34,9	28,3	28,5	27,6

Podemos observar como en todos los casos la resistencia de las probetas y testigos con retardador son mayores que sus correspondientes sin retardador.

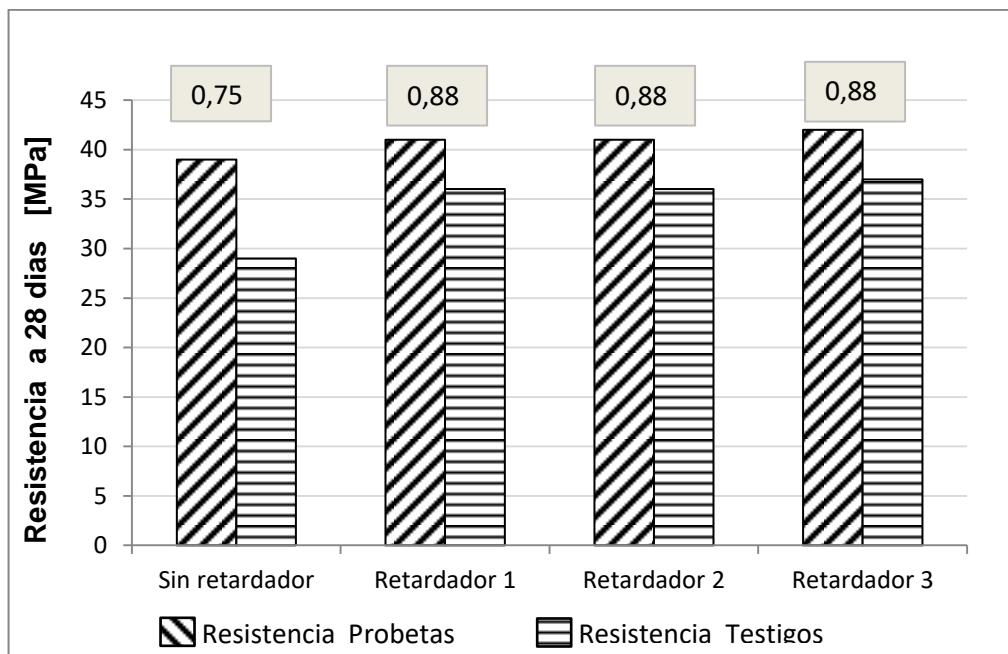


Figura 4: Gráfico de las resistencias obtenidas en probetas y testigos con y sin retardador.

5. CONCLUSION

Finalmente podemos concluir que el uso de aditivos retardadores de frague, mejora el rendimiento y el costo de los hormigones para la condición de hormigonado en tiempo caluroso, resultando una alternativa de uso en la dosificación de hormigones, para atenuar las diferencias existentes entre probetas y testigos.

Efectivamente, la relación testigo/probeta aumenta con el uso de aditivo retardador de frague en hormigones curados a alta temperatura, aumentando a su vez la resistencia absoluta obtenida en los testigos.

Al aumentar la resistencia de los testigos ensayados, el costo por MPa disminuye a razón de 7 \$/m³.MPa, un promedio del 20% con respecto al testigo sin retardador, presentando una ventaja no solo técnica sino económica.

6. REFERENCIAS

- [1] Dirección Nacional de Vialidad. "Pliego de especificaciones generales de Vialidad Nacional" (1998)
- [2] Neville, A. M. "Core tests: Easy to perform, Not Easy to Interpret". Concrete International, November (2001)
- [3] Neville, A. M. "Properties of concrete", 4ta edición, John Wiley & Sons, Inc. (1995)
- [4] Mouret M, et al, "Drop in concrete strength in summer related to the aggregate temperature", Cement & Concrete Research, Vol 27, N° 3, (1997), pp 345-357.
- [5] Basualdo, S., Ycolan, N., López, R. "Optimización de mezclas de hormigón para la maximización de la relación de resistencia testigo/probeta". AATH (2014), Concordia, Entre Rios, Argentina.