

EVALUACION DE LA EFECTIVIDAD DE PROCEDIMIENTOS PARA LA REDUCCION DE LA RETRACCION HIDRAULICA EN HORMIGONES FABRICADOS CON CEMENTOS PORTLAND PUZOLANICOS

Por Carlos Videla C. y Carlos Aguilar R.

Resumen

Con el fin de minimizar el riesgo de fisuración en la construcción en hormigón, se desarrolló un programa experimental para evaluar la efectividad de diversos procedimientos para reducir la retracción hidráulica de hormigones fabricados con cementos Portland Puzolánicos.

El proyecto consideró la cuantificación de la magnitud de la retracción hidráulica del hormigón usado comúnmente en obras de construcción del tipo viviendas y de alternativas técnicamente factibles que incluyeron diferentes curvas granulométricas de los áridos y tipos y dosis de cemento y la utilización de aditivos reductores de retracción de última generación.

A partir de los resultados obtenidos se proponen y priorizan las alternativas de solución, considerando, además de la retracción hidráulica, la condición de resistencia característica requerida en obras de este tipo.

1. INTRODUCCION

El agrietamiento producto de la retracción hidráulica de hormigones es un fenómeno que afecta a toda estructura de hormigón. Estas grietas tienen una serie de implicancias técnicas, económicas y de calidad sobre la construcción en hormigón.

Desde el punto de vista técnico, se puede mencionar que afectan la durabilidad (corrosión de armaduras), la serviciabilidad (filtraciones), la apariencia (estética) y, eventualmente, la seguridad (resistencia) de las obras.

Entre los impactos económicos se cuentan, los aumentos de costo por reparación de las fisuras, costos de asesorías y la eventual detención de labores durante el proceso de diagnóstico, evaluación y discusión de las posibles soluciones.

Por otra parte, el momento de ocurrencia de las fallas muchas veces coincide con la entrega de la obra al usuario, el que ve con alarma la recepción de un producto que estima de inferior calidad a lo esperado. Además, su alarma crece al ver muchas veces la reparación de las fallas, ya sea porque las soluciones no han sido las más idóneas técnicamente o porque el momento de aplicación de la solución no ha sido el oportuno.

Por estas razones, desde hace mucho tiempo la retracción hidráulica del hormigón ha sido considerada como uno de los problemas más serios encontrados en la construcción en hormigón y una de las causas principales de agrietamiento (ACI Committee 224, 1980), debiéndose tomar medidas para su prevención o control, medidas que dependen de factores económicos, técnicos, del uso y exposición de la estructura y de la seriedad del agrietamiento si no se controla.

Para tratar de solucionar este problema se han desarrollado sistemas para la prevención del agrietamiento a través de la modificación de las propiedades del hormigón, principalmente mediante el uso de cementos expansivos o compensadores de retracción (ACI Committee 223, 1983) y de aditivos que reducen la retracción mediante la disminución de la tensión superficial del agua (Holland, 1999; Nmai, 1998; Balogh, 1996; Shah, 1992). Asimismo, se han propuesto métodos de diseño para su control, como por ejemplo los estipulados en la norma británica BS 8007:1987, que consideran la modificación de las restricciones mediante el uso de juntas de movimiento y la especificación de cuantías mínimas de armadura.

La presente investigación tuvo por objetivo estudiar la factibilidad de reducir el agrietamiento producido en losas de hormigón. Para ello se fabricaron hormigones alternativos a los empleados típicamente en obras de edificación, considerando aquellas variables que más influyen en la retracción, de tal manera de obtener hormigones que desarrollaran una menor retracción libre.

Los hormigones alternativos consideraron las siguientes variables: tipo y dosis de cemento, curva granulométrica de los áridos y aditivos expansores y reductores de retracción, tanto comerciales como experimentales.

2. PROGRAMACION EXPERIMENTAL

2.1 Características del Hormigón Tipo en Losas de Edificación

Las especificaciones de obra, para hormigones usados en losas de edificación, generalmente indican el uso de hormigones con resistencia característica, con 20% de defectuosos, entre grado H20 (20 MPa) y H30 (30 MPa).

Por otra parte, las empresas constructoras utilizan por razones de constructibilidad y productividad, hormigones con tamaño máximo del árido de 20 mm y asentamiento del cono de Abrams en el rango 120 ± 20 mm para colocación mediante bombas.

2.2 Variables Consideradas en el Estudio

La Tabla 1 presenta las principales variables consideradas en el estudio de los hormigones, así como la nomenclatura para identificar cada hormigón. Las características de los aditivos utilizados se describen en la sección 2.3.

2.3 Aditivos Utilizados en los Hormigones

Los aditivos utilizados en los hormigones y sus características fueron los siguientes:

- Aditivo N° 1: Tricosal BV-80, es un aditivo plastificante producido por Henkel, reductor de agua de rango medio (WRMR) del hormigón, que mejora las características del hormigón fresco y endurecido. Le confiere al hormigón fresco mayor homogeneidad, cohesividad y plasticidad, reduciendo el peligro de segregación. Por su efecto reductor de agua (10 a 12%) el hormigón endurecido aumenta las resistencias mecánicas iniciales y finales. Densidad = 1,17 kg/l.
- Aditivo N° 2: Superplastificante 1000, es un aditivo reductor de agua de alto rango (WRHR), producido por Henkel. El hormigón fluye fácilmente, manteniendo una alta plasticidad por un largo período de tiempo. Aún así, conserva baja la relación W/C de un hormigón sin asentamiento. Densidad = 1,22 kg/l.
- Aditivo N° 3: Flow Cable, es un aditivo expansor (E) producido por Master Builders que consiste en un polvo a base de compuestos inorgánicos que se añade al cemento para producir una inyección de relleno impermeable sin retracción, bombeable, fluido, sin segregación, con alta resistencia y alta adherencia al acero. Densidad = 2,074 kg/l.
- Aditivo N° 4: Methocel K15, es un aditivo reductor de retracción (ASR1) producido por The Dow Chemical Company, modifica la tensión superficial del agua mejorando la trabajabilidad que se necesita para juntas de muro, estucos, grouts y hormigones. Además, aumenta la viscosidad del hormigón, reduciendo la segregación, permitiendo vibrar y compactar adecuadamente las mezclas. Densidad = 1,321 kg/l.
- Aditivo N° 5: Rhenipol, es un aditivo experimental en base a alcohol etoxilado, reductor de la

retracción (ASR 2), modificador de la tensión superficial del agua. Este aditivo se encuentra en etapa de desarrollo por DICTUC S.A. Densidad = 0,96 kg/l.

- Aditivo N° 6: Polchem A es un aditivo comercial reductor de la retracción hidráulica (ASR 3), en etapa de experimentación, desarrollado por Polchem. Densidad = 0,98 kg/l.

2.4 Programa y Procedimientos de Ensayos

La retracción hidráulica de los hormigones estudiados se determinó siguiendo el método de ensayo descrito en la norma ASTM C 157 "Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic Cement Mortar and Concrete".

A diferencia de lo estipulado en norma, el proyecto de investigación consideró las siguientes variaciones respecto al procedimiento de ensayo:

Dimensiones probetas

- a) Las probetas para el ensayo de retracción fueron de $100 \times 100 \times 500$ mm. Por lo tanto, su longitud fue superior a lo especificado en la norma ASTM. El uso de una longitud de probeta más grande permite una mayor precisión de medida sin alterar los resultados, ya que la retracción depende fundamentalmente del espesor efectivo del elemento (razón volumen/superficie expuesta).

Ciclo curado

- b) • Un día en cámara húmeda, a humedad relativa superior al 90% y temperatura ambiente de $20 \pm 3^\circ\text{C}$.
- 6 días en piscina de curado a $20 \pm 1^\circ\text{C}$.

Se especificó un período de curado total de 7 días para simular las condiciones típicas de curado en terreno.

Luego del ciclo de curado inicial, las probetas fueron sometidas a un proceso de secado a condiciones promedio de 50% de humedad relativa y 23°C de temperatura.

Para determinar las contracciones del hormigón por secamiento, se realizaron mediciones a distintas edades de secado, hasta los 112 días.

El efecto de los diferentes factores analizados en cuanto a su efectividad para reducir la retracción hidráulica del hormigón, se evaluó en forma comparativa con respecto a los resultados de las mediciones en el hormigón patrón.

Por otro lado, a cada hormigón fabricado se le determinaron las siguientes propiedades en estado fresco:

- Asentamiento de cono de Abrams, según norma NCh 1019, equivalente a ASTM C 143.
- Densidad, según norma NCh 1564 Of.79, equivalente a ASTM C 138.
- Temperatura ambiente y del hormigón en el momento de la fabricación, usando termómetros digitales.
- Cantidad de aire atrapado (sólo en hormigones con aditivos).

Tabla 1. Principales características de los hormigones consideradas en el estudio.

Hormigón N°	Parámetro a Estudiar					
	Designación	Curva Granulométrica Aridos	Tipo de Cemento	Dosis de Cemento (Kg/m³)	Razón W/C	Aditivos
1-Patrón	B34PPuzMHR	C3 y C4	Portland Puzolánico	310	0,6	WRMR y WRHR
2	B3PPuzMHR	C3	Portland Puzolánico	310	0,55	WRMR y WRHR
3	B3PPMR	C3	Portland Puro	290	0,6	WRMR
4	B3PPuzE	C3	Portland Puzolánico	310	0,55	E
5	B3PPuzASR1	C3	Portland Puzolánico	310	0,6	ASR 1
6	B3PPuzASR2	C3	Portland Puzolánico	310	0,6	ASR 2
7	B3PPuzASR3	C3	Portland Puzolánico	310	0,6	ASR 3
8	B23PPuz	C2 y C3	Portland Puzolánico	420	0,5	---
9	B23PP	C2 y C3	Portland Puro	420	0,4	---
10	B23PAR	C2 y C3	Port. Puz. de Alta Resistencia	420	0,45	---

* Curvas granulométricas según Road Note N° 4

Además, se confeccionó un total de 3 probetas cúbicas de 20 cm, por cada hormigón estudiado, para evaluar la resistencia a compresión a distintas edades. Las probetas fueron sometidas a curado estandarizado en cámara húmeda hasta el momento del ensayo. Las probetas fueron sometidas a ensayos de compresión a las siguientes edades: 1 probeta a 7 días y 2 a 28 días. Los ensayos se realizaron según la norma NCh 1037 (equivalente a ASTM C 39). Todos los ensayos de resistencia a la compresión se realizaron en una prensa TONIPAC 3000, de 300 ton de capacidad.

3. DISEÑO Y FABRICACION DE HORMIGONES

Con las dosificaciones teóricas estudiadas se fabricaron en promedio 4 hormigones de prueba preli-

minares, para cada tipo de hormigón, con el objeto de ajustar la dosis de agua a los requerimientos de asentamiento de cono de Abrams.

La curva granulométrica de los áridos combinados se ajustó a las establecidas por el Transport and Road Research Laboratory (ver Figura 1).

La Tabla 2 presenta las dosificaciones corregidas usadas finalmente para la fabricación de cada tipo de hormigón estudiado y las propiedades del hormigón fresco medidas.

El procedimiento seguido durante la fabricación de los hormigones fue el siguiente:

- Los hormigones fueron fabricados en una betonera de eje vertical de 100 L de capacidad. Se requirió de una amasada de 80 L para fabricar el número de probetas

Tabla 2. Dosificaciones y propiedades en estado fresco de los hormigones.

Designación	Cemento (kg/m³)	Agua (kg/m³)	Gravilla (kg/m³)	Arena (kg/m³)	Aditivo 1 (kg/m³)	Aditivo 2 (kg/m³)	W/C	Densidad HF (kg/m³)	Asentamiento (mm)	Aire Inc (%)	T° Amb. (°C)	T° Hor. (°C)
B34PPuzMHR	308	179	704	1150	1,39	3,70	0,58	2346	138,0	2,2	26,3	25,2
B3PPuzMHR	309	169	838	1066	1,39	2,47	0,55	2385	145,0	1,8	21,5	19,7
B3PPMR	289	188	837	1066	1,44	---	0,65	2381	150,0	1,5	26,4	25,6
B3PPuzE	311	172	835	1063	12,43	---	0,55	2393	133,0	1,6	27,2	26,1
B3PPuzASR1	309	190	796	1013	0,15	---	0,61	2307	138,0	3,5	18,8	20,8
B3PPuzASR2	316	184	775	986	0,16	---	0,58	2261	125,0	5,4	21,0	25,9
B3PPuzASR3	311	177	837	1023	6,06	---	0,57	2353	138,0	1,6	19,8	21,3
B23PPuz	425	205	1115	655	---	---	0,48	2399	105,0	1	26,5	22,7
B23PP	439	176	1151	677	---	---	0,40	2442	110,0	1	20,6	18,1
B23PAR	324	209	1200	705	---	---	0,65	2438	100,0	1	30,3	26,6

necesarias por cada hormigón considerado.

- El procedimiento de confección de cada tipo de hormigón fue básicamente el siguiente:

- Se midió la humedad de los áridos, el mismo día de la elaboración del hormigón.
- Se corrigió la dosificación teórica por humedad, absorción y volumen a ocupar.
- Se procedió al proceso de pesaje de los distintos componentes.
- Se mezclaron los materiales en betonera de 100 L. Se incorporaron la arena y la gravilla, revolviéndose la mezcla durante 1 minuto. Luego se agregó el cemento y se mezcló durante 30 segundos. Posteriormente se agregó el agua y se revolvió durante 3 minutos, dejándose reposar la mezcla 3 minutos, revolviéndose finalmente durante otros 2 minutos.
- Se midieron el cono de Abrams, la densidad, la temperatura del hormigón fresco y ambiente y el porcentaje de aire.
- Se llenaron los moldes y se vibraron en mesa vibradora.
- Se distribuyeron las probetas en la cámara húmeda y todas fueron curadas durante las primeras 24 horas en cámara húmeda.
- Se desmoldaron las probetas a las $23 \pm 0,5$ horas.
- Se procedió a marcar las probetas de manera diferenciada, considerando las variables que intervienen en cada hormigón, de tal manera que cada uno de ellos fuera identificado de la manera descrita en la Tabla 1.

4. ANALISIS DE RESULTADOS

4.1. Asentamiento del Cono de Abrams

La Tabla 2 presenta los resultados de los ensayos de hormigón fresco incluyéndose, además de las mediciones de asentamiento de cono de Abrams, densidad del hormigón fresco y temperatura, las dosificaciones corregidas.

La Figura 2 presenta el asentamiento de cono obtenido para cada tipo de hormigón y el rango especificado. El análisis de la Figura 2 nos muestra que la mayoría de los hormigones cumple con el rango de asentamiento de cono especificado, quedando comprendido el asentamiento entre 100 y 140 mm. Este rango se estima adecuado para la fabricación y colocación de hormigón bombeado.

Por otra parte, se puede apreciar que los hormigones iguales al patrón pero fabricados con cambios de tipo de cemento y curva granulométrica del árido (B3PPuzMHR y B3PPMR) presentan mayor asentamiento

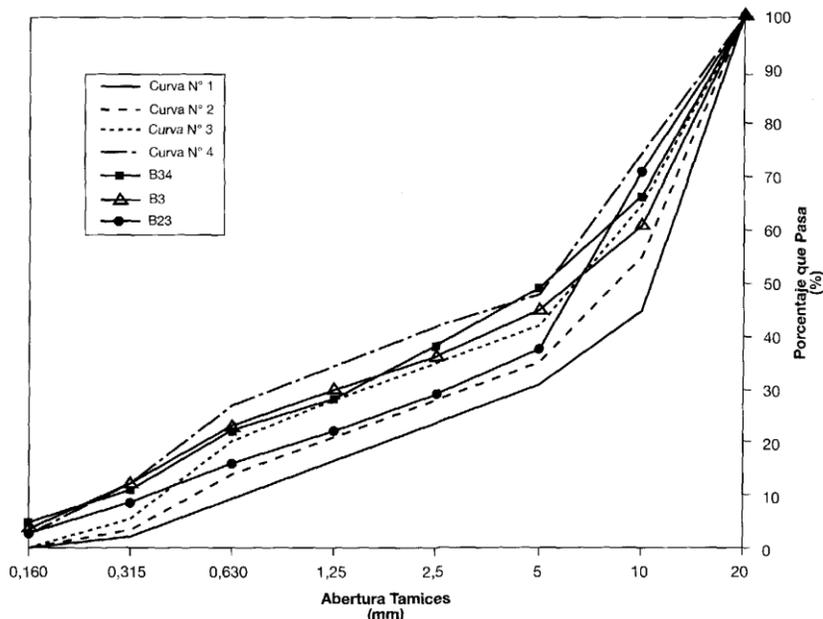


Figura 1. Curvas granulométricas de Road Note N° 4.

de cono que el patrón, mientras que los hormigones fabricados con aditivos reductores de retracción y sin aditivo, muestran valores de asentamiento de cono iguales o menores que el patrón.

Sin embargo, para analizar el efecto de los parámetros en estudio no bastan los antecedentes aportados por la Figura 2, ya que se requiere incorporar en forma simultánea la dosis de agua usada (ver Tabla 2). De estos resultados se puede concluir que el cambio de curva granulométrica de banda entre C3 y C4 a C3 de la Road Note N° 4, manteniendo los demás parámetros constantes, permitiría reducir en forma significativa la dosis de agua requerida para un asentamiento dado (comparar B34PPuzMHR con B3PPuzMHR), no apreciándose un efecto importante del tipo de cemento para hormigones con aditivo. El cambio de tipo de curva granulométrica produce un aumento de trabajabilidad del orden del 5% pese a una disminución del 6% de la dosis de agua, requiriendo el hormigón fabricado con curva C3 una menor cantidad de agua para obtener un asentamiento similar al patrón, lo que implica una menor razón agua cemento y por ende una ganancia en resistencia; además, como veremos más adelante, el cambio de curva granulométrica implicaría una menor retracción hidráulica.

Por otra parte, los resultados muestran que el cambio de tipo de aditivo tiene un gran efecto en la dosis de agua para un asentamiento dado. Es así como los hormigones fabricados sólo con aditivo expansor, requieren dosis de agua similares al patrón para igual asentamiento. Sin embargo, los hormigones fabricados con aditivos modificadores de tensión superficial en general requieren mayores dosis de agua para lograr igual asen-

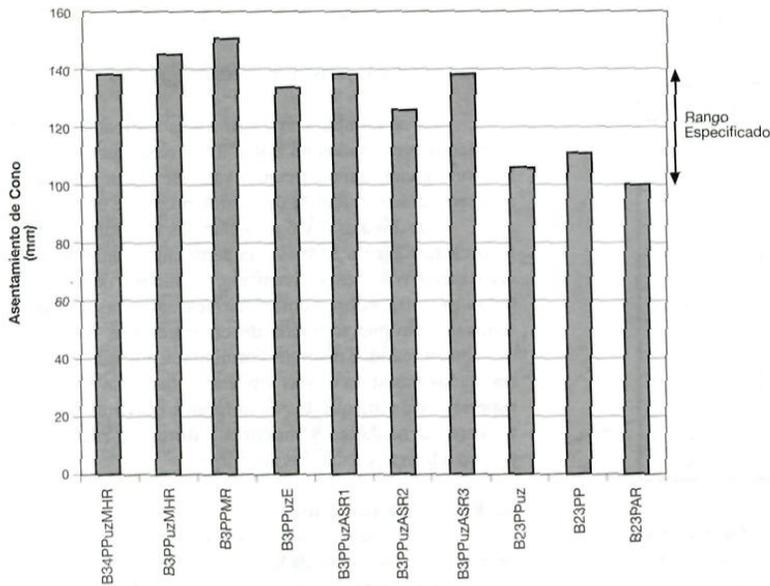


Figura 2. Asentamiento de cono de Abrams.

tamiento que el patrón. Además, los hormigones sin aditivo y con mayores dosis de cemento requieren mayores dosis de agua para lograr un asentamiento similar al del hormigón patrón.

La Figura 3 presenta los valores de densidad del hormigón fresco y contenido de aire obtenidos para los hormigones con aditivo. Del análisis de esta figura se concluye que existe claramente una relación inversa entre estos dos parámetros, lo que concuerda con la teoría y se refleja en la correlación obtenida de la curva de regresión lineal entre estos parámetros.

Además, se puede apreciar que los hormigones fabricados con aditivos reductores de agua o con aditivo expansor presentan valores similares al hormigón patrón en cuanto a los parámetros mencionados: contenidos de aire del orden de 1,5% y densidades de aproximadamente 2370 kg/m³.

Por otro lado, los hormigones fabricados con aditivos modificadores de la tensión superficial del agua, salvo ASR 3, aumentan en forma considerable el contenido de aire y disminuyen por lo tanto la densidad del hormigón fresco, lo cual tendrá un claro efecto sobre la resistencia, como veremos en el próximo punto.

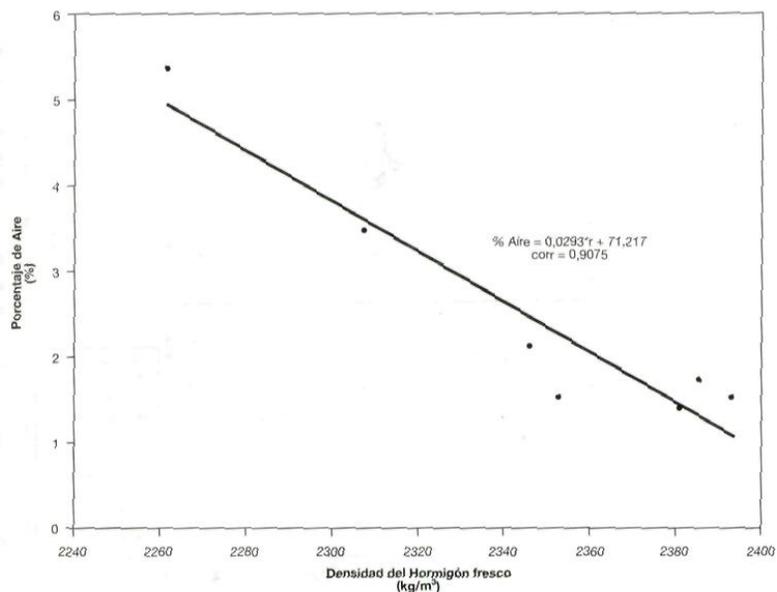


Figura 3. Contenido de aire y densidad del hormigón fresco.

4.2 Resistencia a la Compresión Cúbica

La Tabla 3 presenta los resultados de resistencia a la compresión de los diferentes hormigones.

Del análisis de estos resultados se puede concluir que los hormigones fabricados con aditivos reductores de agua o con una mayor dosis de cemento, presentan mayores valores de resistencia que el patrón, mientras que aquellos que utilizan aditivos modificadores de la tensión superficial del agua o reductores de retracción, presentan menores valores de resistencia.

Por otra parte, en la Figura 4 se presentan los resultados de los ensayos de resistencia a compresión cúbica, expresados como la razón entre la resistencia cúbica a una determinada edad y la correspondiente resistencia cúbica del hormigón patrón. En ella se observa que a la edad de 28 días dichos cuocientes varían entre un máximo de 1,94 y un mínimo de 0,8

del valor de resistencia del hormigón patrón; los mayores aumentos se producen para hormigones fabricados con una mayor dosis de cemento Portland Puro, seguido por el hormigón con expansor, y las mayores pérdidas de resistencia, para hormigones con aditivos reductores de retracción.

Tabla 3. Resistencia a compresión cúbica (MPa).

Designación	Edad de Ensayo (días)	
	7	28
B34PPuzMHR	23,1	31,2
B3PPuzMHR	25	33,7
B3PPMR	29,5	34,1
B3PPuzAS1	15,5	25
B3PPuzE	30,2	38,3
B3PPuzAS2	18,1	26,9
B3PPuzAS3	17,4	26,7
B23PPuz	---	36,6
B23PP	---	60,5
B23PAR	---	33,9

Por otra parte, los hormigones fabricados con aditivos reductores de agua aumentaron la resistencia cerca de un 10% con respecto al patrón. Ahora bien, el solo hecho de cambiar la curva granulométrica del árido, manteniendo lo demás constante, produce una ganancia de resistencia del orden del 8% a 28 días.

Por otro lado, si se estima el valor de la resistencia media requerida con datos estadísticos típicos de desviación estándar de hormigones de obra ($s = 5$ MPa) y con un factor estadístico de 0,842 para un nivel de confianza de 80%, se obtiene el siguiente rango de valores para hormigones grado H20 y H30:

$$34 \text{ (MPa)} > R_m > 24 \text{ (MPa)}$$

en donde R_m es la resistencia media requerida.

Si se compara el valor antes indicado con los resultados presentados en Tabla 3, se concluye que todos los hormigones cumplen con el valor de resistencia media necesaria, considerando la dispersión propia de una obra.

Las Figuras 5 y 6 presentan las relaciones entre la resistencia cúbica a 28 días y la densidad, y entre resistencia y razón W/C, respectivamente. El análisis de los resultados muestra pobres correlaciones entre las variables analizadas, lo que se podría deber, entre otros motivos, a que son en realidad distintos hormigones. En todo caso, los resultados muestran ciertas tendencias que eran lógicas de esperar, es decir, que los hormigones que presentan las mayores densidades y menores valores de razón W/C poseen a la vez resistencias superiores.

4.3 Retracción Hidráulica

La Tabla 4 resume los resultados de los ensayos de retracción hidráulica de los hormigones.

La Figura 7 muestra la evolución de la retracción hidráulica de cada tipo de hormigón. Del análisis de estos datos se puede concluir que todos los hormigones propuestos con aditivos retraen menos que el patrón, ocurriendo lo contrario con aquellos con altas dosis de cemento y sin ningún tipo de aditivo. El valor de la retracción hidráulica del hormigón patrón a 112 días de secado fue de 0.760 mm/m.

Además, el tipo de hormigón que presenta la mayor reducción de retracción hidráulica es el fabricado con el aditivo reductor de retracción hidráulica ASR 3 (0.340 mm/m).

Por otro lado, de esta figura vemos que existe una evolución lógica del fenómeno y que las variaciones que se observan en algunos casos se encuentran dentro de los rangos propios de la exactitud de la medición.

Además, en la Figura 8 se presentan los resultados de los ensayos de retracción hidráulica, expresados como la razón entre la retracción hidráulica a una determinada edad y la retracción hidráulica del hormigón patrón. En ella se observa que los valores de estos cocientes varían entre un mínimo de 1.13 y un máximo de 0.45 de reducción de la retracción hidráulica con respecto al hormigón patrón.

De la Figura 8 se concluye que el cambio de la curva granulométrica desde C 34 a curva C3 de la Road Note N° 4, reduce la retracción hidráulica en 3% con respecto al patrón.

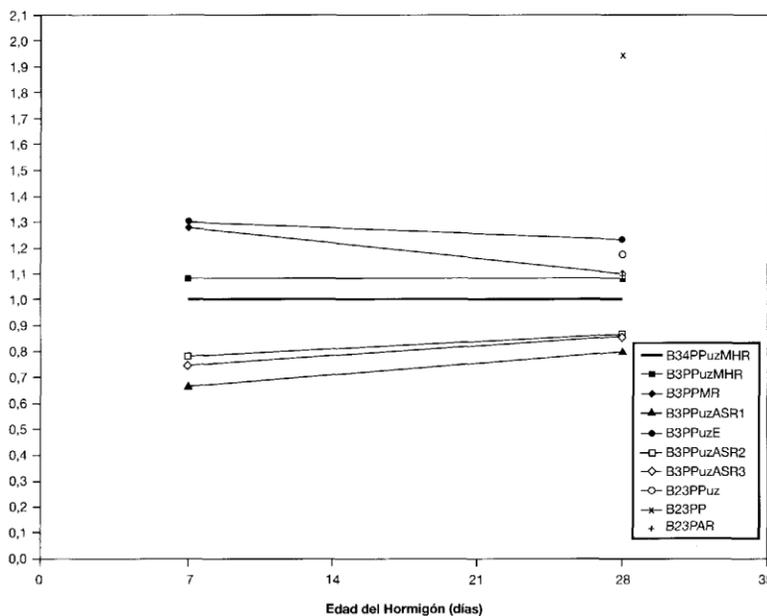


Figura 4. Cuocientes de resistencia cúbica con respecto al patrón.

Por otra parte, el cambio de tipo de cemento a cemento Portland puro y cambio de curva granulométrica (comparar B34PPuzMHR con B3PPMR), disminuye la retracción hidráulica en un 18% aproximadamente.

Los hormigones fabricados con aditivos modificadores de la tensión superficial del agua (ASR) disminuyeron entre un 5% y un 55% la retracción con respecto al patrón.

Con respecto a la efectividad del aditivo expansor utilizado, se puede concluir que éste disminuye la retracción cerca de un 24%, valor comparable con el aditivo ASR1, salvo que el aditivo expansor presenta una mayor resistencia a la compresión, y por ende sería esperable que una mayor reducción de retracción se lograría por ajustes de la dosis de cemento por resistencia.

Cabe destacar que lo anterior también se podría lograr en el hormigón B23PP (cambio de curva granulométrica, clase y dosis de cemento), el cual presenta una altísima resistencia a la compresión (60,5 MPa), es decir, se podría disminuir muchísimo la cantidad de pasta de cemento al disminuir la dosis de cemento y, por ende, se podría esperar una mejora en cuanto al valor de retracción a obtener.

La Figura 9 muestra los parámetros de retracción y resistencia como cocientes con respecto a los valores correspondientes al hormigón patrón; en esta figura se han trazado seis zonas, de acuerdo al cumplimiento o no de dichos parámetros. Las zonas corresponden a:

- **Pésimo:** No se cumple con requisitos de retracción hidráulica ni con resistencia cúbica (valores superiores de retracción e inferior resistencia a los obtenidos con el hormigón patrón).
- **Malo:** No se cumple con requisito de retracción hidráulica o de resistencia cúbica.
- **Bueno:** Se cumple con requisito de retracción hidráulica y la resistencia es superior a la resistencia media requerida.
- **Muy Bueno:** Se cumple con requisito de retracción hidráulica y la resistencia es superior a la del hormigón patrón.

Del análisis de esta figura se puede concluir que el mejor tipo de

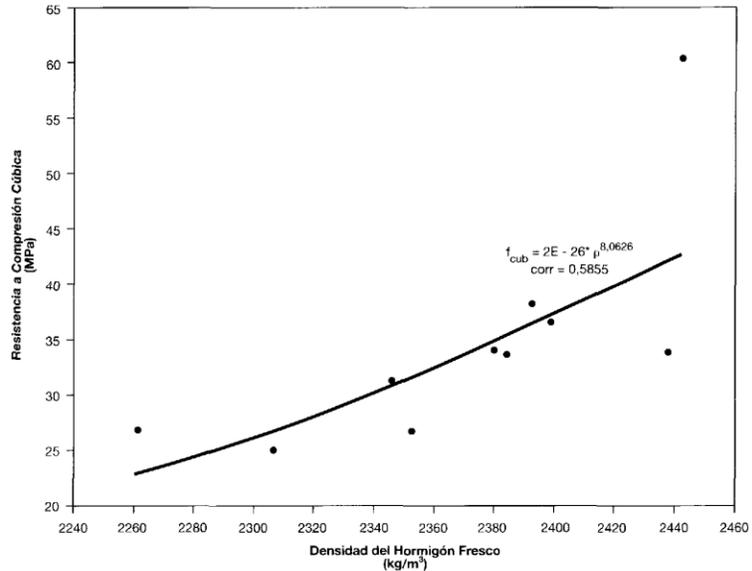


Figura 5. Resistencia a compresión cúbica a 28 días y densidad del hormigón fresco.

hormigón, desde el punto de vista técnico, correspondió al fabricado con aditivo expansor (B3PPuzE). Debe señalarse que tal vez sea posible reducir aún más la retracción de este hormigón, ya que debido a la alta resistencia alcanzada se debería corregir la dosis de cemento usada disminuyendo de esta forma la cantidad de pasta de cemento, que es uno de los principales parámetros que influyen en el fenómeno de retracción.

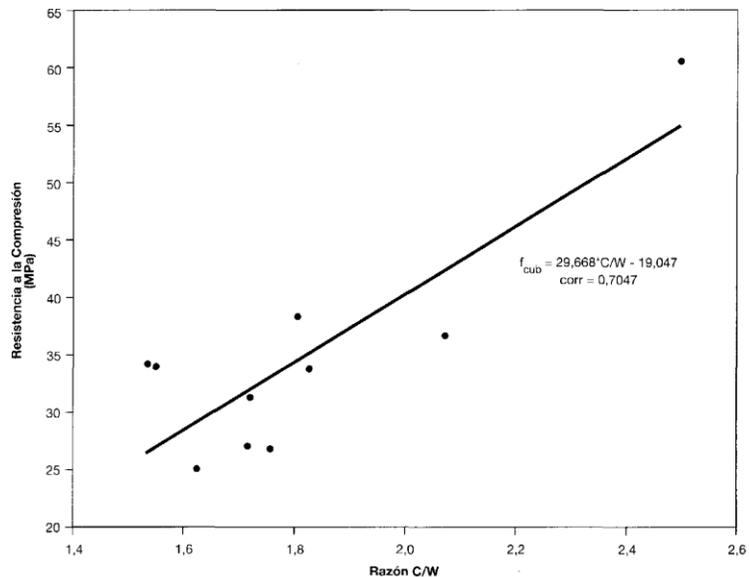


Figura 6. Resistencia a compresión cúbica a 28 días y razón W/C.

**Tabla 4. Resultados de retracción hidráulica.
(mm/m)**

Edad de Secado (días)	Tipos de Hormigón									
	B34PPuzMHR	B3PPuzMHR	B3PPMR	B3PPuzE	B3PPuzASR1	B3PPuzASR2	B3PPuzASR3	B23PPuz	B23PP	B23PAR
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1	0,080	0,080	0,070	0,080	0,038	0,065	0,029	0,057	0,069	0,089
7	0,200	0,205	0,170	0,180	0,108	0,145	0,065	0,257	0,335	0,252
14	0,320	0,337	0,250	0,270	0,198	0,245	0,147	0,403	0,471	0,288
21	0,458	0,362	0,363	0,380	0,218	0,415	0,150	0,512	0,542	0,373
28	0,500	0,457	0,382	0,410	0,258	0,485	0,210	0,596	0,608	0,515
56	0,600	0,597	0,460	0,460	0,407	0,665	0,320	0,772	0,659	0,708
90	0,720	0,617	0,600	0,540	0,498	0,665	0,330	0,895	0,803	0,817
112	0,760	0,737	0,620	0,580	0,558	0,725	0,340	0,921	0,843	0,859

Por otra parte, también debería considerarse como una solución satisfactoria el uso de aditivo ASR 3 (hormigón B3PPuzASR3), ya que reduce a menos de la mitad el valor de retracción hidráulica del patrón y si bien la resistencia es inferior a la del patrón, cumple con la resistencia media requerida.

También se estima conveniente seguir analizando las alternativas del uso de aditivos que modifican la tensión

(B3PPMR y B3PPuzMHR), presentan mejoras en cuanto a retracción y resistencia, siendo alternativas a considerar en una posterior evaluación económica.

Por último, vemos que las alternativas que poseen altas dosis de cemento no presentan un buen comportamiento en cuanto a retracción se refiere. Esto se debió fundamentalmente a que poseen un gran contenido de pasta de cemento, disminuyendo el volumen de árido restrictivo.

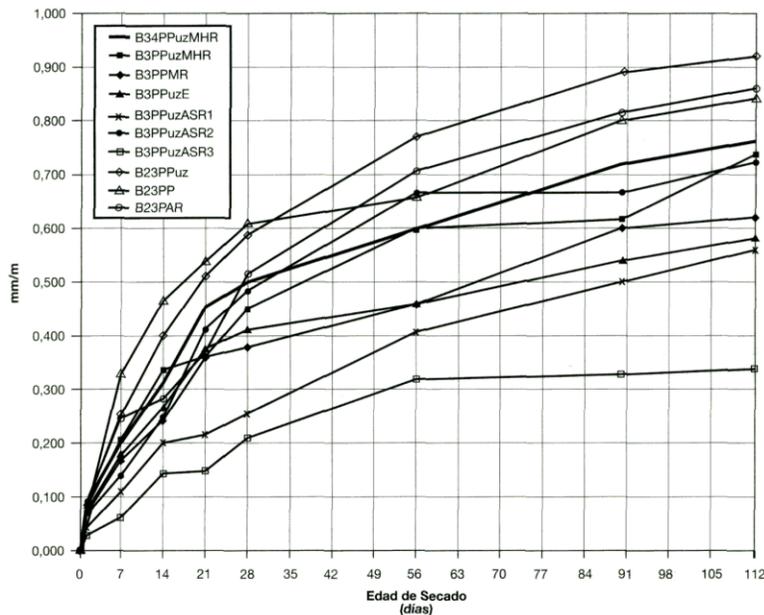


Figura 7. Evolución de la retracción hidráulica de hormigones.

superficial del agua, ya que presentan niveles de retracción y resistencia adecuados, los que se estiman podrían ser aún mejorados si se usan con aditivos que reducen la dosis de agua necesaria por trabajabilidad y que sean antiespumantes.

Además, vemos que las alternativas de cambio, tanto de clase de cemento como de curva granulométrica

de cemento, disminuyendo el volumen de árido restrictivo.

La mejor alternativa, desde el punto de vista de retracción, se logró con el uso de una curva granulométrica más gruesa y con un aditivo reductor de retracción experimental.

Con respecto a los aditivos reductores de agua se puede concluir que no se observa un efecto marcado en la retracción hidráulica.

Por otra parte, se puede concluir que tanto la dosis como el tipo de cemento influyen en la magnitud de la

5. CONCLUSIONES

El objetivo de este estudio fue determinar la factibilidad de reducir la retracción hidráulica del hormigón. Como se mostró en las secciones anteriores, prácticamente todas las alternativas propuestas cumplieron con dicho objetivo. No obstante, para seleccionar un tipo de hormigón en particular se debe considerar, además de la retracción hidráulica, la condición de resistencia mínima requerida.

De este estudio se puede concluir que los aditivos reductores de retracción disminuyen el valor de este parámetro, dependiendo del tipo de aditivo y la dosis utilizada. Sin embargo, también disminuyen los valores de resistencia a la compresión debido a que incorporan altas dosis de aire.

La mejor alternativa, desde el punto de vista de retracción, se logró con el uso de una curva granulométrica más gruesa y con un aditivo reductor de retracción experimental.

Con respecto a los aditivos reductores de agua se puede concluir que no se observa un efecto marcado en la retracción hidráulica.

Por otra parte, se puede concluir que tanto la dosis como el tipo de cemento influyen en la magnitud de la

retracción hidráulica, a una mayor dosis mayor es la retracción, mientras que el tipo de cemento Portland puro presenta un menor valor de retracción, a igualdad de dosis de cemento.

Por último, se debe hacer notar que aditivos expansores mejoran la resistencia a compresión y disminuyen los valores de retracción libre.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (Proyecto FONDECYT N° 1980943, 1998) y al Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile por el apoyo financiero dado a esta investigación, y al Laboratorio de Resistencia de Materiales RESMAT de la Pontificia Universidad Católica de Chile, cuyo apoyo técnico fue fundamental para el logro del objetivo del proyecto.

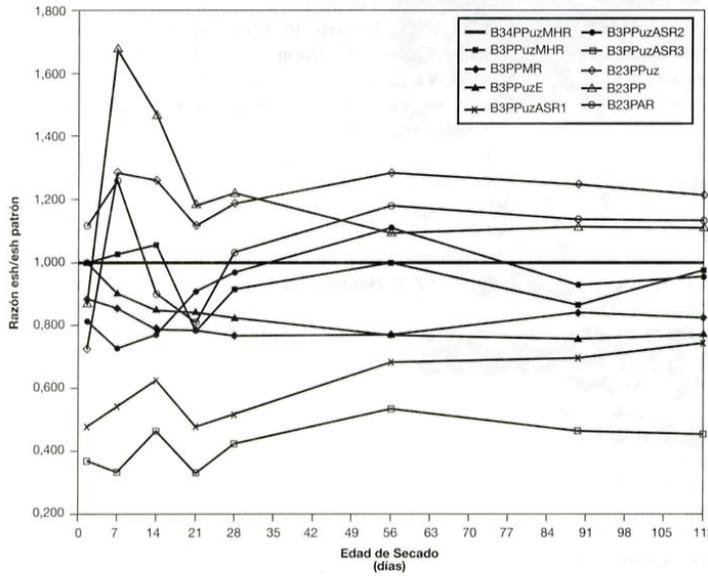
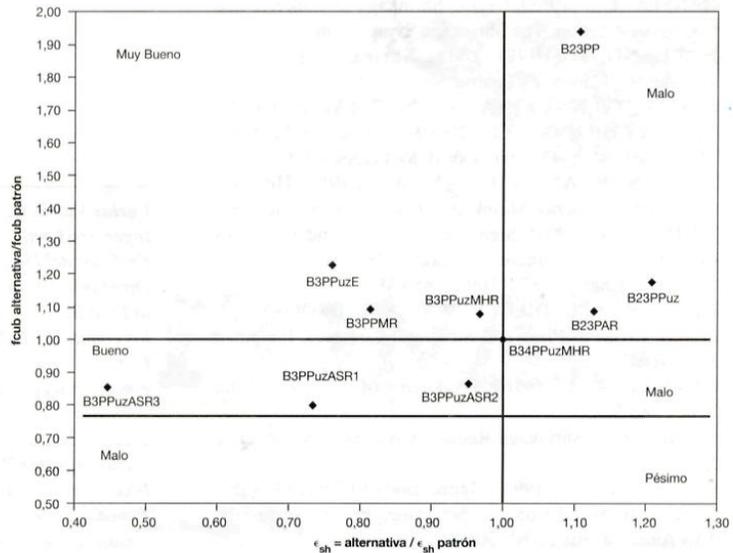


Figura 8. Cuocientes de retracción hidráulica a distintas edades con respecto al hormigón patrón.

Figura 9. Representación de cuocientes de retracciones hidráulicas y resistencias cúbicas de hormigones con respecto al hormigón patrón.



7. REFERENCIAS

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, Committee 224 (1986), Cracking of Concrete Members in Direct Tension, ACI Committee Report 224, 2R-86, ACI Journal, Vol. 83, N°1, pp 3-13, and Discussion, Vol. 83, N°5, pp 878.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, Committee 209 (1997), Factors Affecting Shrinkage, Creep and Thermal Expansion of Concrete and Simplified Models to Predict Strains.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (1983), Standard Practice for the Use of Shrinkage Compensating Concrete.
- AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS, C 157 (1991), Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic Cement, Mortar and Concrete.
- BALOGH, A. (1996), New Admixture Combats Concrete Shrinkage, Concrete Construction, July.
- BAZANT, Z.P. (1997), Creep and Shrinkage Prediction Model for Analysis and Design of Concrete Structure, Fall Convention, ACI.
- BRITISH STANDARD 8007 (1987), Design of Concrete Structures for Retaining Aqueous Liquids.
- BROOKS, J.J. (1989), Influence of Mix Proportions, Plasticizers and Superplasticizers on Creep and Drying Shrinkage of Concrete, Magazine Concrete Research, 41, N° 148, pp 145-154.
- CAMPELL, A. (1979), The Reduction of Cracking in Concrete, The University of Sydney.
- CARREIRA, D. AND BURG, R. (1999), Testing for Concrete Creep and Shrinkage, (for publishing).
- DILGER (1997), A Creep and Shrinkage Prediction Model for High Performance Concrete, International Conference on Engineering Materials, Ottawa, Canada.
- GARDNER, N.J. AND ZHAO, J.W. (1993), Creep and Shrinkage Revisited, ACI Materials Journal, V. 90, N°3, pp 236-246.
- HANSEN, T.C. (1968), Drying Shrinkage of Concrete due to Capillary Action, The Shrinkage Symposium.
- HOLLAND, T. (1999), Using Shrinkage Reducing Admixtures, Concrete Construction.
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION, NORMA CHILENA, NCh 2221 c94, Hormigón y Mortero - Método de Ensayo - Determinación de los Cambios de Longitud.
- MARTIN, R. AND PHELAN, W. (1995), How do Admixtures Influence Shrinkage?, Concrete Construction.
- METHA, P.K. (1994), Significance of Test and Properties of Concrete and Concrete - Making Materials - Cap.23 "Volumen Change", STP 169 C, ASTM.
- NEVILLE, A.M., DILGER, W.H. AND BROOKS, J.J. (1983), Creep of Plain and Structural Concrete, Longman Inc., New York.
- NEVILLE, A.M. (1996), Properties of Concrete, John Wiley and Sons.
- NMAI (1998), Shrinkage Reducing Admixtures, Concrete International.
- OGAWA, A., et al (1994), Application of Highly Flowable Concrete to Actual Concrete Structures, Proceedings of the JAS Annual Meetings, N°1306.
- PERENCHIO, W.F. (1997), The Drying Shrinkage Dilemma - Some Observations and Questions About Drying Shrinkage and Its Consequence, Concrete Construction, Vol. 42, N°4, pp 379-383.
- SHAH et al (1992), Effects of Shrinkage Reducing Admixtures on Restrained Shrinkage Cracking of Concrete, ACI Materials Journal.
- TRANSPORT AND ROAD RESEARCH LABORATORY (1950), "Design of Normal Concrete Mixes", Road Note N°4, Department of the Environment, London.
- VIDELA, C., Desarrollo Tecnológico de Aditivos, X Jornadas Chilenas del Hormigón, Santiago, Chile.
- VIDELA, C. (1994), Estudio Experimental de la Retracción Hidráulica de Hormigones Bombeados, Informe de Investigación, DICTUC S.A., 1996.
- VIDELA, C. (1996), Retracción Hidráulica y Propiedades Mecánicas y Elásticas de Hormigones, Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón.
- WITTMANN, F.H. (1982), Creep and Shrinkage Mechanisms, Creep and Shrinkage in Concrete Structures (edited by Z.P. Bazant), John Wiley & Sons, New York.

Carlos Videla C.

Ingeniero Civil, Ph.D.

Profesor del Depto. de Ing. y Gestión de la Construcción y Director del Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Miembro de los comités 231, 209 y 301 del American Concrete Institute.

e-mail: cvidela@ing.puc.cl

Carlos Aguilar R.

Ingeniero Civil de la

Pontificia Universidad Católica de Chile

e-mail: caaguila@ing.puc.cl

