

ANALISIS DEL IMPACTO DE LOS PARAMETROS DE DOSIFICACION EN LA RETRACCION HIDRAULICA DE HORMIGONES

INFLUENCE OF MIX DESIGN PARAMETERS ON DRYING SHRINKAGE OF CONCRETE

Por / By Carlos Videla, Carlos Aguilar

Resumen

El objetivo de esta investigación fue analizar el efecto de los parámetros de dosificación en la retracción hidráulica del hormigón. Un total de 24 hormigones diferentes fueron estudiado. Las principales variables analizadas incluyen: cantidad de agua, tipo y tamaño máximo del árido, clase, finura y cantidad de cemento. Las deformaciones por retracción fueron medidas hasta 448 días de secado. Se concluye que para hormigones con una resistencia dada, el uso de un cemento de endurecimiento rápido, la utilización del mayor tamaño máximo del árido y el menor contenido de agua, son parámetros ventajosos desde el punto de vista de reducir las deformaciones por retracción hidráulica. Además, se observó que hormigones fabricados con contenidos de cemento bajo 420 kg/m^3 , el parámetro de dosificación que gobierna la retracción hidráulica corresponde al módulo de elasticidad de los áridos. Para mayores dosis de cemento, la cantidad de pasta de cemento es el factor principal que afecta la retracción hidráulica.

Palabras claves: *Arido calcáreo, árido silicio, tamaño máximo del árido, módulo de elasticidad del árido, cemento Portland, cemento Portland Puzolánico, retracción hidráulica.*

Abstract

The objective of this research program was to analyze the effect of mix design parameters on drying shrinkage of concrete. A total of 24 different concrete mixes were studied. The major variables included amount of water, maximum size and type of aggregate, and class, fineness and amount of cement. Shrinkage strains were measured up to 448 days of drying. It is concluded that for a given strength, the use of rapid-hardening cement, large maximum aggregate size and low water dosage is beneficial from the point of view of reducing drying shrinkage strains. It was also observed that for concrete made with cement content of up to 420 kg/m^3 , shrinkage is governed by the modulus of elasticity of the aggregate. For large cement content, the quantity of the cement paste is the principal factor affecting shrinkage.

Keywords: *Limestone aggregate, siliceous aggregate, maximum aggregate size, modulus of elasticity of aggregate, Portland cement, Portland Pozzolan cement, drying shrinkage.*

1. INTRODUCCION

Los cambios de volumen del hormigón son un fenómeno intrínseco de este material que induce tensiones de tracción si el movimiento de un elemento es restringido. Ya que todos los elementos de hormigón presentan algún grado de restricción, externa o interna, existe un riesgo potencial que se produzca el agrietamiento del hormigón. Particularmente, los cambios de volumen asociados con la retracción hidráulica del hormigón han sido considerados como una de las principales causas de agrietamiento en la construcción en hormigón. (American Concrete Institute 224, 1986) y puede reducir significativamente los márgenes de seguridad frente a algunos tipos de colapso (Bazant, 1991).

Estas grietas producen un importante impacto técnico, económico y de calidad en las obras de construcción en hormigón, ya que afectan adversamente la durabilidad, serviciabilidad y estética de las estructuras. Por tanto, el agrietamiento del hormigón debe ser prevenido o controlado y las medidas tomadas dependerán del uso y exposición de la estructura y del costo de la eventual medida.

Aunque numerosas investigaciones han sido desarrolladas para estudiar el mecanismo y los factores que afectan la retracción, desarrollar modelos de predicción y procedimientos para su prevención, existe poca investigación de retracción en hormigones con cementos Portland mezclados. Investigaciones desarrolladas en Chile muestran que hormigones fabricados con cementos Portland Puzolánicos retraen más que hormigones con cementos Portland normal, probablemente

por las características intrínsecas de los materiales utilizados (Videla & Aguilar, 1999).

Por tanto, investigación en este campo es necesaria para cuantificar la magnitud de la retracción hidráulica de hormigones fabricados con cementos que contienen puzolanas naturales y para evaluar cuantitativamente el efecto de las diferentes variables de dosificación en la retracción.

2. IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACION

Estudios nacionales e internacionales muestran claramente que una proporción significativa de problemas de agrietamiento se presenta durante los primeros 6 meses después del hormigonado, los cuales se atribuyen a deformaciones por retracción hidráulica. De acuerdo a estos estudios, las grietas por retracción representan del orden de 35% a 40% del total de grietas producidas (Videla, 1994; Campbell, 1979).

Por tanto, el objetivo de esta investigación es contribuir al conocimiento del comportamiento del hormigón fabricado con cemento Portland mezclado (cemento Portland Puzolánico) con respecto a cambios de volumen producidos por retracción hidráulica. Se espera que los resultados obtenidos permitan minimizar el agrietamiento de estructuras de hormigón producido por retracción y evitar de esta manera sus consecuencias técnicas y económicas. Además, al proveer información empírica del efecto de los parámetros de dosificación en la magnitud y evolución de la retracción hidráulica, será posible optimizar una dosificación desde el punto de vista de minimizar la retracción hidráulica y por ende el riesgo de agrietamiento, satisfaciendo los requisitos especificados de resistencia y asentamiento de cono del hormigón.

3. OBJETIVO Y ALCANCE DEL ESTUDIO

El principal objetivo de esta investigación fue analizar el impacto de los parámetros de dosificación en las deformaciones por retracción hidráulica de hormigones. Se utilizó en la investigación hormigones con una resistencia cilíndrica característica de 30 MPa, los que son utilizados frecuentemente en la construcción en hormigón. El efecto de las principales variables de dosificación que afectan la retracción hidráulica fue estudiado. Las variables analizadas incluyen: áridos silíceos y calcáreos, tamaños máximos de áridos de 20 mm y 40 mm, cementos Portland y Portland Puzolánicos y cantidad de agua para producir asentamientos de cono de Abrams de 60 mm y 120 mm.

4. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para determinar la influencia de la cantidad de agua, tamaño máximo y tipo de árido, y clase, finura y cantidad de cemento en la retracción hidráulica, se llevó a cabo un extenso programa experimental.

El estudio consideró un total de 24 hormigones con igualdad de resistencia pero con diferentes asentamientos de cono, tipos y tamaños máximos de árido y tipos de cementos. El diseño del experimento se muestra en Tabla 1.

Una segunda fase del estudio considera hormigones con igualdad de dosis de diferentes tipos de cemento, 300 kg/m³ y 400 kg/m³ de cemento, independiente de la resistencia del hormigón a obtener.

Tabla 1. Diseño del Experimento.

Parámetros de Dosificación	Valores de Constantes y de Variables Independientes	
Resistencia a Compresión Especificada (Mpa)	30	
Período de Curado (días)	7	
Granulometría del Árido Combinado	Entre Curvas N°2 y N°3 de Road Note N°4 del Transport and Road Research Laboratory (Road Research Laboratory, 1950)	
Asentamiento de Cono (mm)	60	120

Tamaño Máximo del Arido (mm)	20						40						20						40					
Tipo de Arido	Silíceo			Calcáreo																				
Tipo de Cemento	PU A	P	PU B	PU A	P	PU B	PU A	P	PU B	PU A	P	PU B	PU A	P	PU B	PU A	P	PU B	PU A	P	PU B	PU A	P	PU B

5. CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES

5.1 Cemento

Tres tipos de cemento fueron utilizados durante la investigación, correspondiendo a cemento Portland (tipo III) y dos cementos Portland Puzolánicos con diferentes finuras y cantidades de puzolana natural. La siguiente notación identifica cada tipo de cemento: P (cemento Portland), PU-A (cemento Portland Puzolánico grueso) y PU-B (cemento Portland Puzolánico fino), respectivamente. Cementos Portland Puzolánicos tipos A y B corresponden a cementos de endurecimiento lento y rápido, respectivamente.

Además, para evitar el efecto de un tipo de fábrica de cemento, se utilizó en la fabricación de hormigones una mezcla de dos marcas de cemento en igualdad de proporciones. La Tabla 2, muestra las propiedades físicas y químicas de las mezclas de cementos utilizadas.

Tabla 2. Propiedades del Cemento

Propiedad	Unidad	Tipos de Cemento								
		PU A1	PU A2	Mezcla PU-A	PU B1	PU B2	Mezcla PU-B	P1	P2	Mezcla P
Fraguado Inicial	HH:MM	04:10	04:10	04:10	03:00	03:10	03:05	03:10	03:15	03:10
Fraguado Final	HH:MM	05:10	05:10	05:10	04:00	04:00	04:05	04:10	04:15	04:00
Finura Blaine	cm ² /g	4249	4363	4300	5033	5554	5100	3474	4277	3643
Resistencia a Compresión										
7 días	Mpa	29,2	29,8	29,5	47,6	41,2	44,7	48,6	48,6	48,6
28 días	Mpa	37,3	38,5	37,8	54,3	45,4	50,3	57	52,6	55
Resistencia a Tracción por Flexión										
7 días	Mpa	6	6,3	6,1	7,5	7,2	7,4	7,6	7,3	7,5
28 días	Mpa	7,8	8	7,9	8,3	8	8,1	9	8,4	8,7
Peso Específico	---	2,87	2,84	2,86	3,15	2,97	2,97	3,11	3,13	3,11
Consistencia	%	33,6	34,8	34,12	35	35,3	35	34,6	30,8	30,2
Cont. de Puzolana	%	29,7	28	28,9	20	18	19	0	0	0
Residuo Insoluble	%	25,55	26,55	26,00	16,1	15,8	16,1	3,25	0,61	2,06
Pér. por Ignición	%	2,86	3,24	3,03	3,15	2,12	3	1,41	1,52	1,89
SiO ₃	%	2,16	3,04	2,56	2,5	2,98	2,55	2,25	3	2,66

5.2 Aridos

Dos tipos de áridos fueron utilizados en la investigación, correspondiendo a calcáreos y silíceos, los que se identifican con las iniciales Lim y Sil, respectivamente.

Para caracterizar las propiedades de los áridos se realizó una serie de ensayos normales, a saber: densidad aparente, peso específico, absorción y granulometría. Además se llevó a cabo el ensayo de módulo de elasticidad de los áridos. Para ello, se preparó muestras de rocas utilizando testigos cilíndricos de 75x150 mm. La Tabla 3 presenta los resultados de ensayos.

6. DISEÑO Y FABRICACION DE HORMIGONES

Con las dosificaciones teóricas estudiadas se fabricaron 4 hormigones de prueba con el objeto de ajustar la dosis de agua de la mezcla a los requerimientos de asentamiento de cono de Abrams y resistencia. Los hormigones fueron mezclados en una betonera de eje vertical de 0,25 m³ de capacidad. Para la fabricación de los hormigones definitivos, se requirió de amasadas de 0,18 m³ para realizar los ensayos de hormigón fresco y fabricar la totalidad de probetas a ser ensayadas; 18 probetas cilíndricas, 2 probetas cúbicas y 6 probetas prismáticas. Los hormigones fueron mezclados de acuerdo a lo establecido en la norma ASTM C 192 (NCh 1018).

7. PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO

Una serie de ensayos fueron realizado a cada hormigón.

A los hormigones en estado fresco se realizó los siguientes ensayos: asentamiento de cono de Abrams (ASTM C 143 – NCh 1019), densidad del hormigón fresco (ASTM C 138 – NCh 1564) y medición de las temperaturas ambiente y del hormigón.

Tabla 3. Propiedades de los Aridos

Propiedad	Unidad	Tipos de Aridos						
		Silicio				Calcáreo		
		Grava A	Gravilla B	Arena Gruesa C	Arena Fina D	Grava E	Gravilla F	Arena G
Tamaño Máximo	Mm	40	20	10	5	40	20	5
Coef. Volumétrico	---	0,23	0,27	---	---	0,14	0,22	---
Chancado Efectivo	%	89	80	---	---	100	97	---
Rodado Efectivo	%	11	20	---	---	0	3	---
Densidad Aparente	Kg/m ³	1651	1623	1780	1657	1568	1713	1753
Absorción	%	0,9	1,01	0,95	1,59	0,35	0,46	1,54
Contenido de Huecos	%	39,4	40,3	33,5	37	42,2	36,6	33,7
Contenido de Finos	%	0,2	0,2	0,5	1,8	0,2	1,7	17,7
Módulo de Elasticidad	GPa	57				95		
Proporciones de Arido para Dosificación								
Tamaño Máx. 20 mm	%	0	63	22	15	0	72	28
Tamaño Máx. 40 mm	%	37	28	23	12	38	24	38
Módulo de Finura del Arido Combinado								
Tamaño Máx. 20 mm	---	5,14				5,57		
Tamaño Máx. 40 mm	---	5,81				5,87		

En hormigón endurecido los ensayos de resistencia fueron realizados utilizando una prensa TONIPAC 3000 (ASTM C 39- NCh 1037), realizándose ensayos de compresión a 6 probetas cilíndricas a los 7, 28 y 90 días y 2 probetas cúbicas a 28 días. Además, se realizó ensayos de tracción por hendimiento (ASTM C 496 – NCh 1170) a las edades de 7, 28 y 90 días. También se llevó a cabo ensayos de Módulo de elasticidad (ASTM C 469) a las edades de 7, 28 y 90 días. Para cada edad de ensayo se utilizó dos probetas.

Finalmente, los ensayos de retracción hidráulica fueron realizados de acuerdo a ASTM C 157 y C 490 (NCh 2221). 6 probetas prismáticas fueron fabricadas para cada hormigón, 3 de 75x75x285 mm y 3 de 100x100x500 mm, a las cuales se les determinó la retracción hidráulica hasta los 448 días de secado. Las probetas fueron secadas en una sala acondicionada. Los rangos de temperatura y humedad relativa fueron 23 ± 2 °C y 50 ± 4 %, respectivamente.

En éste artículo sólo los resultados de probetas 100x100x500 son analizados.

8. RESULTADOS Y DISCUSION

8.1 Efecto del tipo de árido y cemento en la dosificación de hormigones

La Figura 1 muestra las cantidades de cemento y agua utilizadas en la fabricación de hormigones con igualdad de resistencia. Del análisis de esta figura se puede concluir que las cantidades de agua y cemento son similares en hormigones con cementos Portland P y cemento Portland Puzolánico PU-B, puesto que éstos presentan evoluciones de resistencia comparables. Sin embargo, las cantidades de agua y cemento requeridas por hormigones fabricados con cemento Portland Puzolánico PU-A son mucho mayores.

Por lo tanto, para lograr la resistencia especificada de 30 MPa a 28 días de edad, hormigones fabricados con tipos de cemento de endurecimiento rápido, P y PU-B, presentan similares valores de razón W/C y éstas son mayores que la utilizada en hormigones con cemento PU-A.

Además, la figura muestra claramente el efecto del tipo de árido en las cantidades requeridas de agua y cemento para

obtener los asentamientos de cono y resistencia especificados. Hormigones con áridos calcáreos necesitan mayores dosis de material que aquellos fabricados con áridos silicios, siendo el efecto más notorio en hormigones con cementos PU-A. Esto podría ser consecuencia del mayor porcentaje de partículas chancadas presentes en áridos calcáreos (ver Tabla 4), demandando mayores cantidades de agua y cemento para lograr el asentamiento de cono y resistencia especificados.

Igualmente se observa que la diferencia en los contenidos de agua y cemento para asentamientos de cono 60 mm y 120 mm, son mayores en hormigones con áridos calcáreos y cementos Portland Puzolánico PU-A que en hormigones con

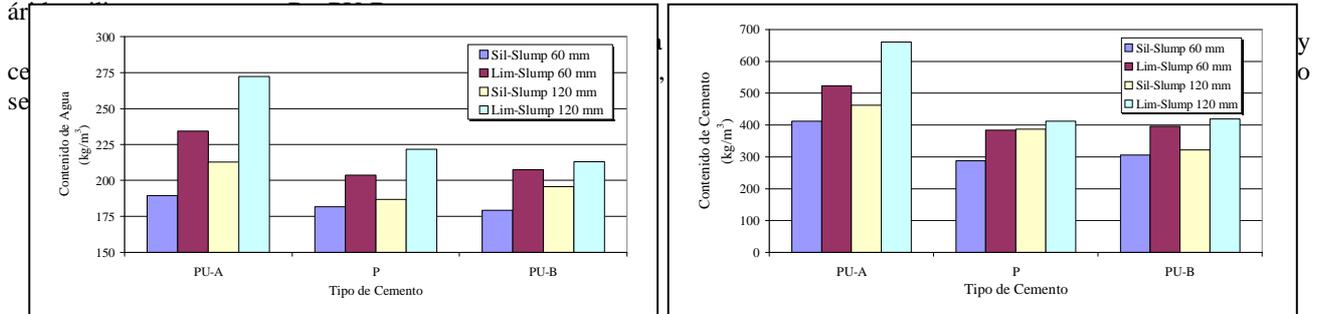
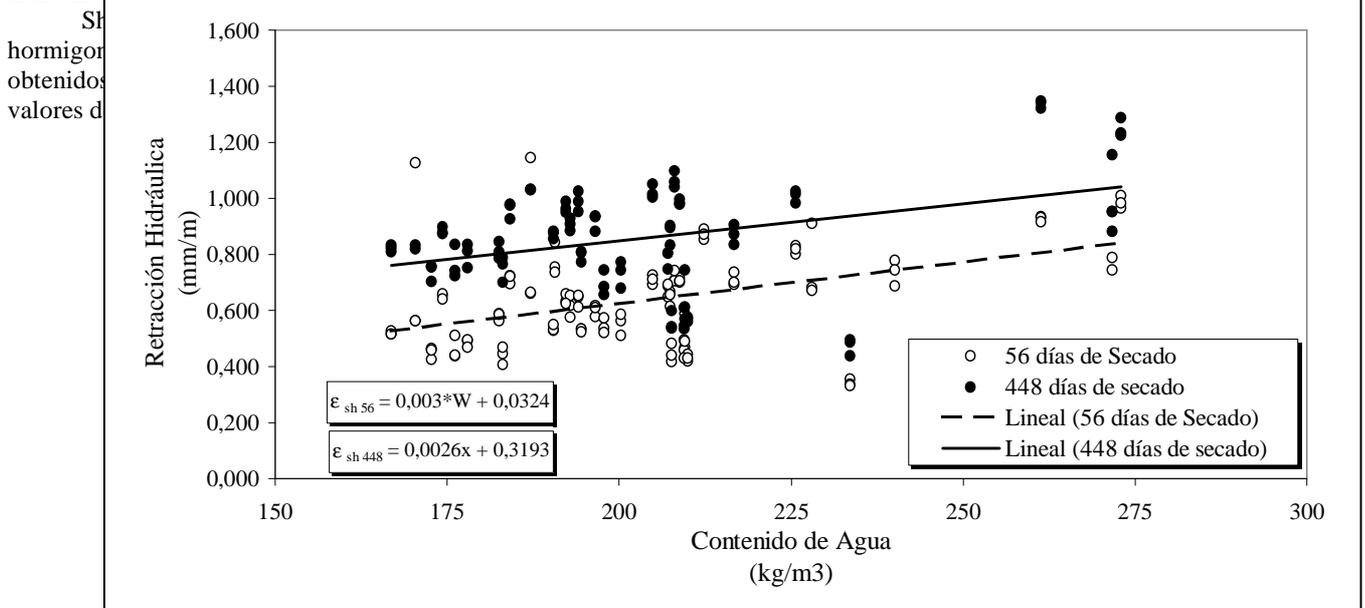


Figura 1. Cantidades de Agua y Cemento utilizadas en Hormigones.

8.2 Efecto del contenido de agua en la retracción hidráulica

La Figura 2 ilustra la relación entre la retracción hidráulica y la cantidad de agua del hormigón. El análisis de esta figura confirma el efecto bien conocido del agua sobre la retracción, es decir, la magnitud de la retracción aumenta con una mayor dosis de agua. Además, la figura muestra que esta tendencia es similar para diferentes tiempos de secado.

La alta dispersión de resultados de retracción es producto de que todos los hormigones han sido considerados en el análisis, en orden de establecer un patrón general de comportamiento del efecto del contenido de agua sobre la retracción hidráulica.



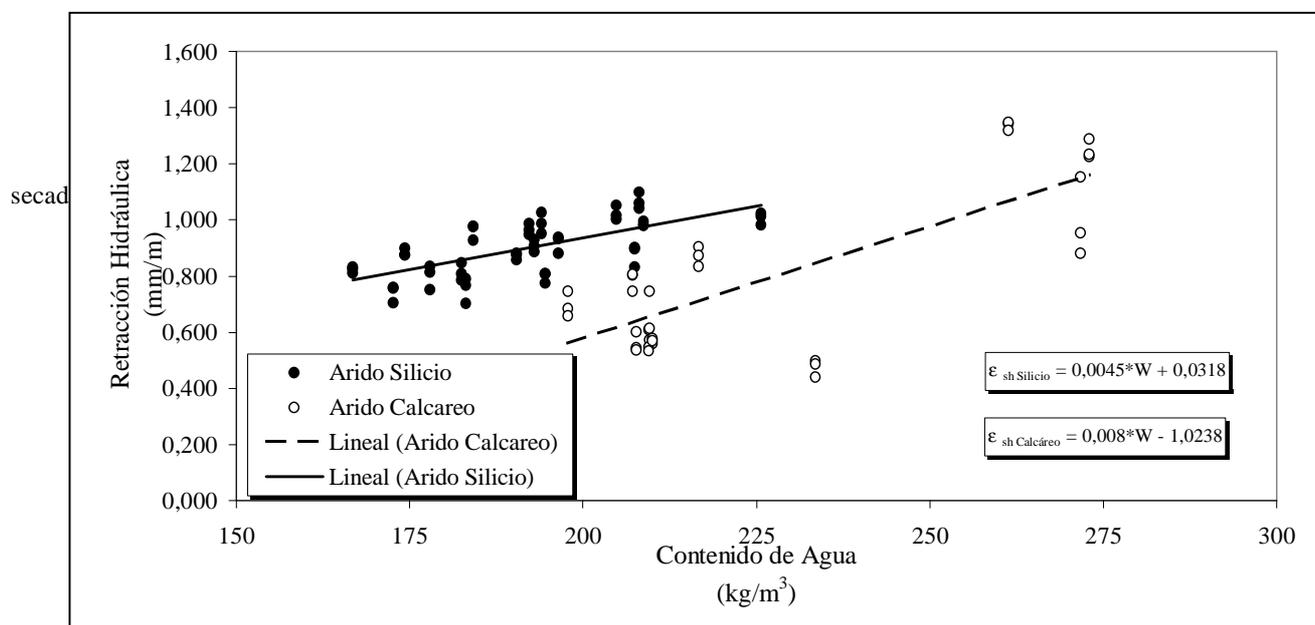


Figura 3. Efecto del contenido de agua y tipo de árido en la retracción hidráulica a los 448 días de secado.

Un aspecto interesante a ser notado es que hormigones con áridos calcáreos requieren mayores contenidos de agua para un asentamiento de cono dado, sin embargo presentan menores valores de retracción que aquellos fabricados con áridos silíceos. Esto podría ser explicado considerando que áridos calcáreos poseen un mayor módulo de elasticidad que los áridos silíceos, como se verá en la próxima sección. Neville afirma que el contenido de agua *per se* no es un factor principal y afecta la retracción hidráulica puesto que reduce el volumen de árido restrictivo (Neville, 1996).

8.3 Efecto del tipo de árido en la retracción hidráulica

La Figura 4 presenta una comparación de retracciones hidráulicas de hormigones fabricados con áridos calcáreos y silíceos. De esta figura se puede concluir que hormigones fabricados con áridos calcáreos y cementos de endurecimiento rápido (P y PU-B), presentan menores retracciones que aquellos fabricados con áridos silíceos. Los resultados muestran que para cementos de endurecimiento rápido, valores de retracción de hormigones con áridos silíceos son entre 17% y 25% mayores que los fabricados con áridos calcáreos, dependiendo del tipo de cemento utilizado. Por el contrario, para hormigones fabricados con cemento de endurecimiento lento (PU-A), se observó un comportamiento diferente, es decir, hormigones con áridos calcáreos poseen mayores valores de retracción que hormigones con áridos silíceos (20% mayor).

Diversos autores consideran que la influencia más importante en la retracción es ejercida por el contenido de áridos (Neville, 1996; Mehta, 1993; Delibes, 1993). Por tanto, para un bajo contenido de árido (o un gran contenido de pasta de cemento), es de esperar una alta retracción hidráulica.

Esta conducta ha sido verificada por los resultados de hormigones fabricados con cementos de endurecimiento lento PU-A. Como se enunció anteriormente, hormigones fabricados con áridos calcáreos requieren mayores cantidades de cemento y agua para lograr la resistencia y asentamiento de cono especificados en el diseño experimental. Debido a la gran cantidad de pasta de cemento presente en los hormigones fabricados con estos áridos, era de esperar los altos valores de

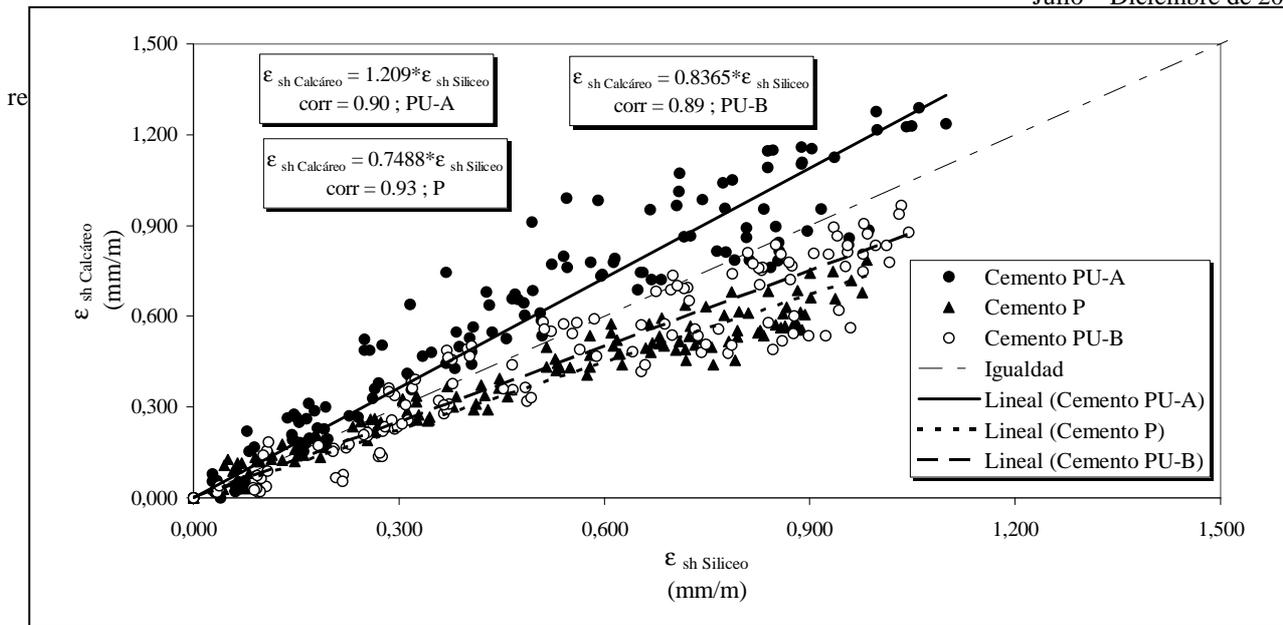


Figura 4. Comparación de valores de retracción hidráulica de hormigones fabricados con áridos calcáreos y silicios para diferentes tipos de cemento.

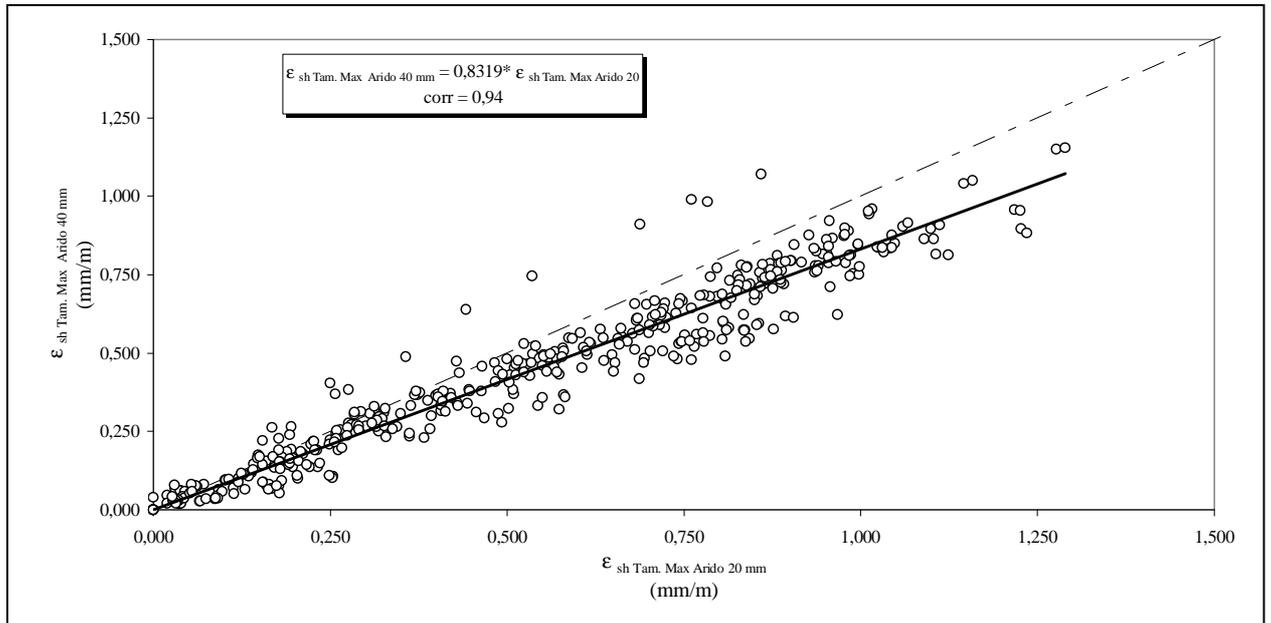
Los resultados experimentales de hormigones fabricados con cementos de endurecimiento rápido muestran, sin embargo, que el comportamiento es compensado por el efecto beneficioso de un mayor módulo de elasticidad del árido. De hecho, pese a la gran cantidad de pasta de cemento presente en hormigones fabricados áridos calcáreos, el comportamiento opuesto al esperado ha sido observado. Esto podría ser explicado por el alto módulo de elasticidad del árido calcáreo comparado con el árido silicio (67%). Por lo tanto, un mayor módulo de elasticidad del árido determina un mayor grado de restricción y por esta razón una disminución de las deformaciones por retracción hidráulica.

El diferente comportamiento de hormigones fabricados con cementos de endurecimiento lento es producto de la distinta cantidad de pasta de cemento necesaria para lograr la resistencia especificada. Para éstos hormigones se requieren una dosis de cemento mucho mayor, produciendo una disminución del contenido de áridos y un aumento notable de la pasta de cemento, suprimiendo el efecto de un mayor módulo de elasticidad de los áridos calcáreos.

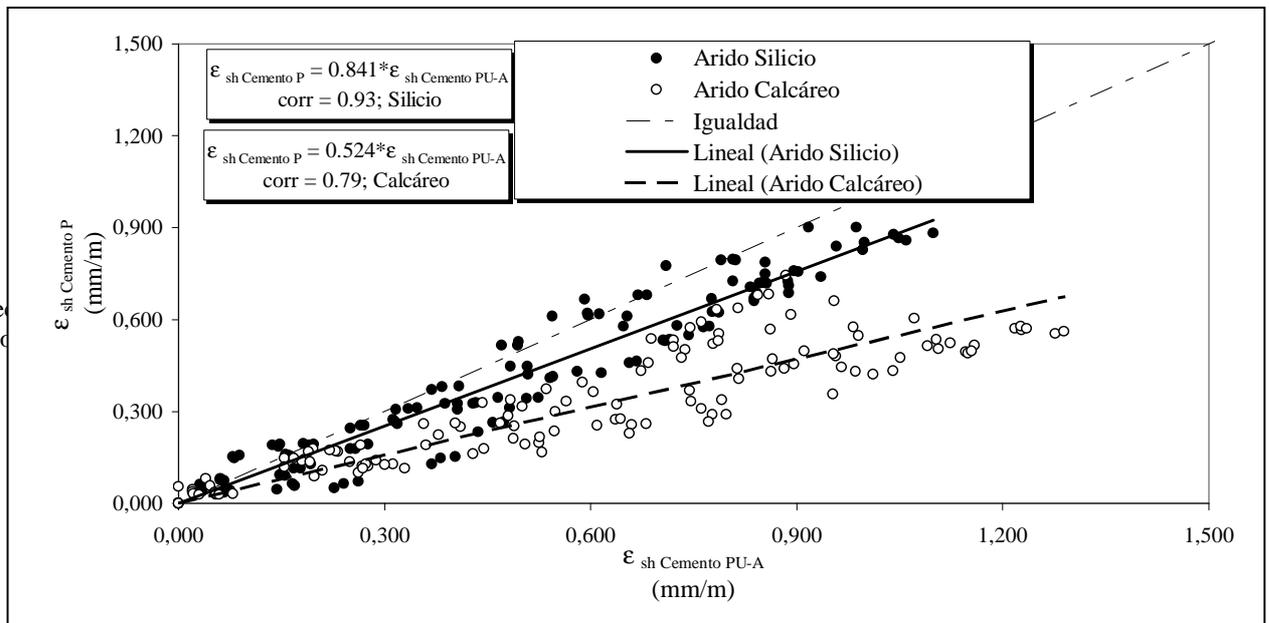
De la discusión anterior se puede concluir que tanto el contenido de árido como su módulo de elasticidad son factores importantes en la retracción hidráulica de hormigones. Para la calidad de áridos utilizados en la presente investigación, se ha determinado que hasta los 420 kg/m³ de cemento, el módulo de elasticidad del árido es el factor que gobierna el comportamiento de la retracción hidráulica, mientras que para mayores cantidades de cemento es el contenido del árido el factor que controla el comportamiento.

Por otro lado, la Figura 5 presenta los resultados de retracción hasta los 448 días de secado de hormigones fabricados con tamaños máximos del árido de 20 mm y 40 mm. Como era de esperar, el uso de un mayor tamaño máximo reduce la retracción hidráulica, 17% en promedio.

La afirmación anterior está de acuerdo con los resultados informados por la literatura técnica (Neville, 1996; Nmai, 1997; Mehta, 1993). Un mayor tamaño máximo implica un mayor módulo de finura y por tanto una menor cantidad de pasta de cemento por volumen. Esto trae como consecuencia una disminución tanto del contenido de agua como del cemento, de tal manera de mantener constante la razón W/C por requerimientos de resistencia, aumentando el volumen de árido restrictivo y por ende disminuyendo las deformaciones por retracción hidráulica.



8.4
 respo
 silicio



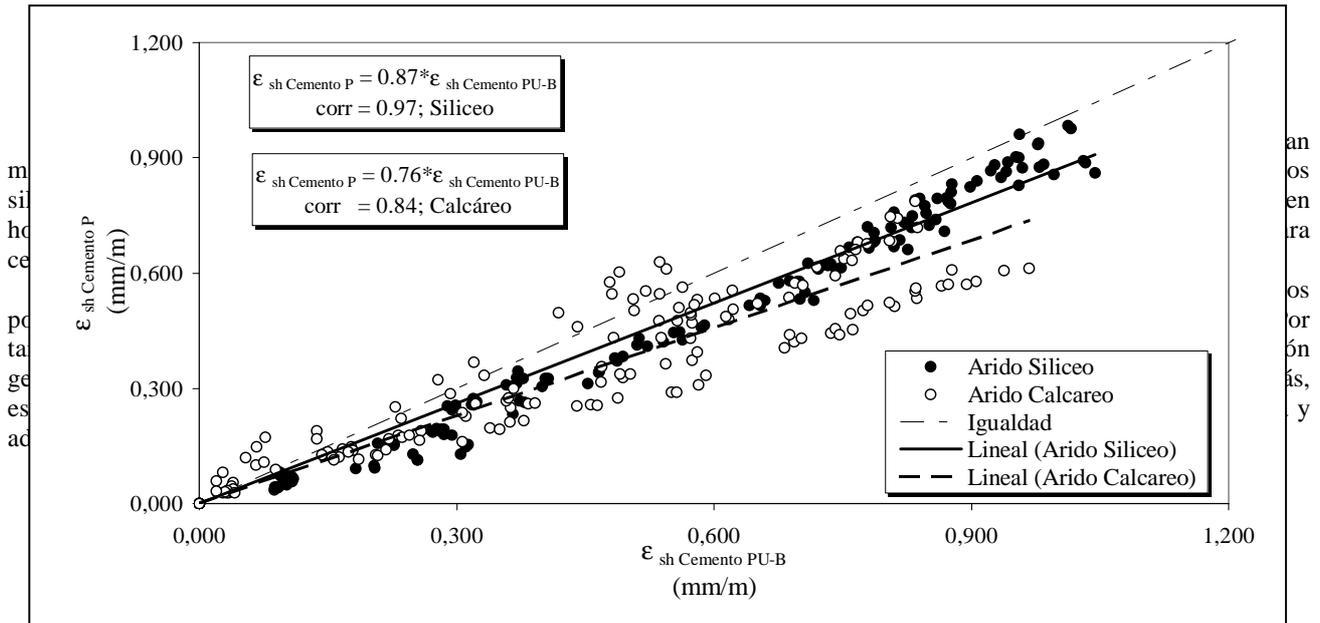


Figura 7. Comparación de valores de retracción hidráulica de hormigones fabricados con cementos de endurecimiento rápido Portland y Portland Pozolánico.

El efecto sobre la retracción hidráulica de la finura del cemento es mostrado en la Figura 8 para cementos Portland Pozolánicos. Se debe recordar que estos cementos poseen diferentes cantidades de puzolana (ver Tabla 2).

De esta figura se observa que prácticamente no existe diferencia en los valores de retracción de largo plazo para hormigones con áridos silicios. Sin embargo, se cree que el fenómeno observado es altamente influenciado por el contenido de pasta de cemento y el tipo y velocidad de desarrollo de los productos de hidratación. Para hormigones fabricados con

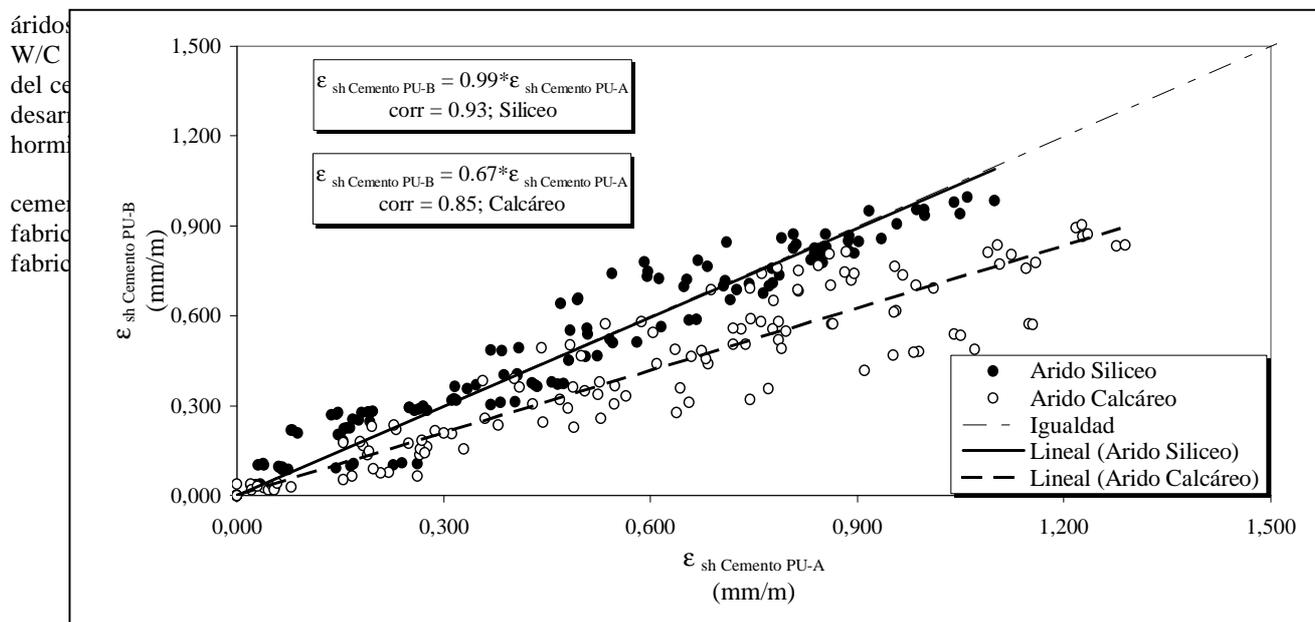


Figura 8. Comparación de valores de retracción hidráulica de hormigones fabricados con cementos Portland Pozzolánicos de endurecimiento lento y rápido.

9. CONCLUSIONES

La retracción hidráulica del hormigón depende de una serie de factores, entre los que destacan principalmente la calidad y cantidad de pasta de cemento y la cantidad y propiedades de los áridos utilizados.

El hecho que la retracción hidráulica esté relacionada con las cantidades de agua y cemento, el módulo de elasticidad, la resistencia y el tamaño máximos de los áridos, para el caso de un hormigón de una resistencia especificada, responde directamente de la dependencia de la retracción hidráulica respecto de la concentración volumétrica de los áridos.

Basado en los resultados experimentales presentados en este artículo, las siguientes conclusiones respecto de la retracción hidráulica de hormigones pueden ser realizadas:

- La retracción hidráulica es directamente proporcional a la cantidad de agua usada en la fabricación de hormigones. Esto es consecuencia de la disminución del volumen de árido restrictivo producto de un aumento en el contenido de

agua.

- Para cementos de endurecimiento rápido (P o PU-B), el uso de árido calcáreo puede reducir la retracción hidráulica hasta un 25% del valor obtenido con áridos silíceos, producto del mayor módulo de elasticidad de los áridos calcáreos. Para cementos de endurecimiento lento, se observó un comportamiento opuesto debido al aumento en la cantidad de pasta de cemento anulando el efecto beneficioso del mayor módulo de elasticidad de los áridos calcáreos.
- El uso de un mayor tamaño máximo del árido produce menores valores de retracción. Resultados muestran un 17% de disminución de los valores de retracción, al pasar de un tamaño máximo de 20 mm a 40 mm.
- El tipo de cemento tiene una importante influencia en el comportamiento de la retracción hidráulica de un hormigón, dada una resistencia. Los valores de retracción de hormigones fabricados con cementos Portland Puzolánicos son mayores que los obtenidos en hormigones con cemento Portland.
- La finura de cementos puzolánicos no aumenta necesariamente la retracción hidráulica. Para áridos silicios resultados muy similares fueron obtenidos para cementos finos y gruesos. Sin embargo, para áridos calcáreos los resultados indican que el cemento grueso produce los mayores valores de retracción. Los autores creen que este comportamiento es producto de la gran cantidad de cemento Portland Puzolánico de endurecimiento lento requerido por condición de resistencia.
- Resultados de valores de retracción hidráulica de probetas pequeñas (75x75x285 mm), no mostradas en este artículo, confirman las afirmaciones previas.

Finalmente, los autores esperan que los resultados mostrados sean una contribución al entendimiento de la influencia que poseen los parámetros de dosificación sobre la retracción hidráulica de hormigones.

10. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico por el financiamiento dado a este estudio bajo el proyecto Fondecyt N° 1980943 – 1998. Además se agradece la donación de los materiales por las fábricas de cemento Polpaico y Melón.

11. REFERENCIAS

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE - 209 (1997), Factors Affecting Shrinkage, Creep and Thermal Expansion of Concrete and Simplified Models to Predict Strains, Draft Report of ACI Committee 209, pp. 5-16.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE - 224 (1986), Cracking of Concrete Members in Direct Tension. Journal of American Concrete Institute, Vol.83, N°1, pp. 3-13, and Discussion, Vol. 83, N°5, pp 878.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (2000), ASTM C192, Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS 92(2000), ASTM C138, Standard Test Method for Unit Weight, Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (2000), ASTM C143, Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (1999), ASTM C39, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (1996), ASTM C 496, Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (1994), ASTM C469, Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (1999), ASTM C157, Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement, Mortar, and Concrete.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (2000), ASTM C490, Standard Practice for Use of Apparatus for the Determination of Length Change of Hardened Cement Paste, Mortar, and Concrete.
- BAZANT, Z.P. (1991), Improved Prediction Model for Time-dependent Deformations of Concrete. Part 1 - Shrinkage, Materials and Structures, N° 24, pp 327-345.
- CAMPELL, A. (1979), The Reduction of Cracking in Concrete. The University of Sydney.
- DELIBES, A. (1993), Tecnología y Propiedades Mecánicas del Hormigón, Intemac, España.

- MEHTA, P.K., MONTEIRO, P.J. (1993), Concrete: Properties and Materials, Prentice-Hall Inc., New Jersey.
- NEVILLE, A.M. (1996), Properties of Concrete. John Wiley and Sons, London.
- NMAI, C. (1997), Contracción del Concreto, Publicación N°10, Master Builders Technologies.
- PERENCHIO, W. (1997), The Drying Shrinkage Dilemma – Some observations about drying shrinkage and its consequence. Concrete Construction, Vol 42, N°4 pp.379-383.
- ROAD RESEARCH LABORATORY (1950), Design of Concrete Mixes. Road Note N°4, H.M.S.O., 2nd edition, pp. 16.
- SHACKLOCK, B. AND KEENE, P. (1957), The effect of mix proportions and testing conditions on drying shrinkage and moisture movement of concrete. Cement and Concrete Association, Technical. Report TRA, London, pp.266.
- VIDELA, C. (1994), Desarrollo Tecnológico de Aditivos. X Jornadas Chilenas del Hormigón, Santiago, Chile.
- VIDELA, C., AGUILAR, C. (1999), Evaluación de la Efectividad de Procedimientos para la Reducción de la Retracción Hidráulica en Hormigones fabricados con Cementos Portland Puzolánicos. Revista de Ingeniería de Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile, N°20, pp.17-26.

Carlos Videla

Ingeniero Civil, Ph.D.

Profesor; Departamento Ingeniería y Gestión de la Construcción

Pontificia Universidad Católica de Chile

Jefe Laboratorio Resistencia de Materiales

DICTUC S.A.

Santiago, Chile

Civil Engineer, Ph.D.

Professor, Department of Construction Engineering and Management

Pontificia Universidad Católica de Chile

Head of Material's Strength Laboratory

DICTUC S.A.

Santiago, Chile

cvidela@ing.puc.cl

Carlos Aguilar

Ingeniero Civil

Alumno del Programa de Doctorado

Pontificia Universidad Católica de Chile

Santiago, Chile

Civil Engineer

Ph.D. Student

Pontificia Universidad Católica de Chile

Santiago, Chile

caaguila@ing.puc.cl