

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CONTRACCIÓN AUTÓGENA EN PASTAS DE CEMENTO

Benítez, Graciela Alejandra<sup>\*1</sup>; Anfossi, Lionel<sup>\*2</sup>; Rodríguez, Matías<sup>\*2</sup>;  
Polzinetti, Matías<sup>\*\*3</sup>; Curria, María<sup>\*\*4</sup>

\* Unidad Técnica Tecnología del Hormigón, Centro de Construcciones, Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), Av. General Paz 5445, Buenos Aires, Argentina.

\*\* División Tecnología del Hormigón, Departamento Técnico, Instituto del Cemento Portland Argentino (ICPA), San Martín 1137, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

**Palabras clave:** contracción autógena, ASTM C1698, cemento, escoria, filler calcáreo

## RESUMEN

La contracción autógena se define como el cambio de volumen externamente perceptible que ocurre en la pasta de base cemento, debido a fenómenos de contracción química y autodesecación. Su magnitud depende de diversos factores, entre los que se destacan la composición de la pasta, la relación agua/cemento, el uso de adiciones y aditivos químicos, las características intrínsecas de los materiales y el régimen de temperatura de exposición. El propósito de este trabajo es presentar los resultados de un proyecto de investigación tendiente a evaluar la magnitud del fenómeno para diversas pastas preparadas con materiales disponibles localmente y validar las hipótesis de estudio de bibliografía internacional. A partir de los resultados obtenidos, se pudo comprobar el aumento de la contracción autógena en pastas con relaciones agua/cemento menores, la incidencia del uso de escoria granulada de alto horno y filler calcáreo, así como documentar el comportamiento de distintos cementos base empleados ante este fenómeno.

## INTRODUCCIÓN

La contracción autógena refiere a la reducción de volumen aparente que desarrollan las pastas de cemento, por efecto combinado de su contracción química y autodesecación (1). La influencia de cada uno de estos factores depende esencialmente del instante de análisis, las características de los materiales empleados y la composición de la pasta.

En la hidratación del material cementicio, los productos de hidratación (gel) presentan un volumen menor que la suma de los correspondientes al cemento anhidro y el agua de amasado en conjunto (1), resultando en una retracción progresiva de su volumen sólido y

---

<sup>1</sup> Coordinadora Unidad Técnica Tecnología del Hormigón, INTI Construcciones.

<sup>2</sup> Técnicos Laboratoristas Unidad Técnica Tecnología del Hormigón, INTI Construcciones

<sup>3</sup> Coordinador División Tecnología del Hormigón, Departamento Técnico, Instituto del Cemento Portland Argentino

<sup>4</sup> Asistente técnica en la División Tecnología del Hormigón, Departamento Técnico, Instituto del Cemento Portland Argentino

líquido, denominada contracción química. En tal sentido, resulta evidente que este cambio de volumen se incrementa a la medida que el grado de hidratación es mayor.

Al alcanzarse el fraguado de la matriz de cemento, este cambio volumétrico (contracción química) comienza a ser restringido por la rigidización de la matriz en formación, a partir del desarrollo de productos de hidratación (silicato de calcio hidratado). Es en esta transición cuando la contracción autógena comienza a diferenciarse de la química, dado que ésta continúa en progresión creciente, mientras que la deformación externa aparente, asociada al fenómeno de contracción química, tiende a disminuir. La formación de nuevos vacíos en la pasta de cemento compensa la reducción interna debido a la formación de nuevos productos de hidratación, resultando en un volumen aparente exterior prácticamente sin variaciones. Sin embargo, con posterioridad al fraguado, la contracción autógena de la pasta puede incrementarse como resultado de su autodesecación, originado por el consumo de agua para la hidratación del cemento de la pasta (1)(2).

La contracción autógena es resultado del cambio de volumen sin transferencia de humedad con el medio exterior. De acuerdo con los estudios de diversos autores (2), esta retracción es relevante en casos de mezclas que emplean relaciones agua/cemento menores a 0,42, tal como sucede en los hormigones de alto desempeño, con resistencia de diseño a la compresión mayores a 40 MPa. Para las mezclas de uso convencional, con relaciones agua/cemento superiores, la contracción autógena suele manifestarse en valores menores en comparación con otros mecanismos de retracción, tal como la contracción por secado. Ésta es la razón por la que, a pesar que el concepto de contracción autógena es conocido desde hace más de 100 años, su estudio ha cobrado particular interés en las últimas décadas, debido a las características tecnológicas de las mezclas que se elaboran contemporáneamente. Indudablemente, un estadio de mayor contracción puede conducir a la formación de estados de fisuración, los que se intenta mitigar por razones de durabilidad, integridad estructural y aspecto final.

Existen diversos factores que afectan la magnitud de la contracción autógena, entre los que cabe destacar el tipo de material cementante y sus características (composición del clinker  $-C_3S$ ,  $C_3A$  y  $C_4FA-$ , finura, presencia de adiciones minerales), el régimen de las temperaturas de exposición, el uso de aditivos químicos con efecto dispersante de los granos de cemento y la edad de análisis. Los cementos con mayor contenido de  $C_3A$ , los que presentan mayor finura, así como las pastas con tiempos de fraguado prolongados, conducen habitualmente a una mayor contracción autógena (2).

Asimismo, el uso de adiciones minerales puede conducir a una mayor contracción autógena, debido a que por efecto de mayor refinamiento en la estructura de poros, el consumo de agua puede aumentar comparativamente, y conducir a mayor efecto de autodesecación (2). Sin embargo, algunas adiciones minerales como el metacaolín han sido informadas como agentes que conducen a una menor contracción autógena, a través de la mejora en la distribución granulométrica de granos del material cementicio. En el caso de la escoria granulada de alto horno, otros autores (3) han concluido que para porcentajes muy elevados de reemplazo (80 %) es posible lograr una reducción de la contracción autógena, en función de un menor grado de autodesecación en la pasta; mientras que para porcentajes de reemplazo inferiores al 50 %, la correlación es positiva entre la retracción y el porcentaje creciente de reemplazo.

En el presente trabajo se expone un análisis comparativo del efecto de estos factores mencionados. Para ello, fueron estudiadas 18 pastas de diferentes características y composición y se documentaron los resultados y los principales aspectos resultantes de su discusión.

## MATERIALES

Se seleccionaron dos cementos portland normal, de categorías resistentes 40 y 50, de expedición a granel de procedencia de fábricas de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Asimismo, se seleccionaron 2 adiciones minerales de uso habitual en nuestro país, escoria granulada de alto horno y filler calcáreo, para su uso combinado con los cementos antes mencionados. El agua de amasado empleada para la preparación de las pastas correspondió a agua de laboratorio conforme a la norma IRAM 1622 (4).

Los materiales empleados fueron caracterizados, y sus resultados se indican en las **Tablas 1** y **2**. La dosificación de las pastas preparadas se exhibe en la **Tabla 3**, mientras que en la **Tabla 4** se incluyen los resultados obtenidos para su caracterización.

**Tabla 1:** Cementos. Caracterización.

Determinación		Norma de ensayo	Unidad	CPN 40	CPN 50
Pérdida por calcinación		IRAM 1504 (5)	g/100 g	3,21	1,80
Densidad		IRAM 1624 (6)	g/cm <sup>3</sup>	3,11	3,08
Superficie específica		IRAM 1623 (7)	m <sup>2</sup> /kg	355	423
Pasta de consistencia normal		IRAM 1612 (8)	%	24,8	27,1
Tiempo de fraguado	Inicial	IRAM 1619 (9)	min	165	165
	Final	IRAM 1619 (9)	min	230	265
Resistencia a la flexión	1 día	IRAM 1622 (4)	MPa	2,8 ± 0,3	2,1 ± 0,2
	28 días	IRAM 1622 (4)	MPa	8,6 ± 0,1	8,3 ± 0,1
Resistencia a la compresión	1 día	IRAM 1622 (4)	MPa	10,6 ± 0,2	8,3 ± 0,2
	2 días	IRAM 1622 (4)	MPa	23,8 ± 0,4	32,1 ± 0,3
	28 días	IRAM 1622 (4)	MPa	52,7 ± 0,6	58,0 ± 0,9

**Tabla 2:** Adiciones minerales. Caracterización.

Determinación	Norma de ensayo	Unidad	Filler calcáreo	Escoria granulada de alto horno
Pérdida por calcinación	IRAM 1504 (5)	g/100 g	37,6	0,61
Retenido en tamiz 45 µm	IRAM 1621 (10)	%	20,7	1,2
Densidad	IRAM 1624 (6)	g/cm <sup>3</sup>	2,69	2,87
Superficie específica	IRAM 1623 (7)	m <sup>2</sup> /kg	527	400

**Tabla 3:** Composición de las pastas (en g)

Identificación de las pastas	Componentes				
	CPN 40	CPN 50	Agua	Filler calcáreo	Escoria gran. de alto horno
N40-050	1000	0	500	0	0
N40-045	1000	0	450	0	0
N40-042	1000	0	420	0	0
N40-040	1000	0	400	0	0
N40-036	1000	0	360	0	0
N40-034	1000	0	340	0	0
N40-032	1000	0	320	0	0
N40-030	1000	0	300	0	0
N40-028	1000	0	280	0	0
N40-026	1000	0	260	0	0
N50-036	0	1000	360	0	0

**Tabla 3:** Composición de las pastas (en g) -continuación-

Identificación de las pastas	Componentes				
	CPN 40	CPN 50	Agua	Filler calcáreo	Escoria gran. de alto horno
N50-032	0	1000	320	0	0
N40-030-F15	850	0	300	150	0
N40-030-F20	800	0	300	200	0
N40-030-F25	750	0	300	250	0
N40-040-F20	800	0	400	200	0
N40-030-E15	850	0	300	0	150
N40-040-E25	750	0	400	0	250

**Tabla 4:** Resultados de caracterización de las pastas

Identificación de las pastas	Tiempo de fraguado		Resistencia a 2 días [MPa]		Extendido [cm]
	Inicial [min]	Final [min]	Flexión	Compresión	
N40-050	460	705	3,6 ± 0,3	14,9 ± 0,3	>Diámetro mesa
N40-045	410	520	3,9 ± 0,5	18,7 ± 0,2	>Diámetro mesa
N40-042	370	510	4,3 ± 1,0	23,0 ± 0,2	18,8 *
N40-040	300	355	4,7 ± 0,3	24,4 ± 0,3	17,5 *
N40-036	295	335	7,1 ± 0,0	34,0 ± 0,5	21,5 **
N40-034	275	305	6,7 ± 0,1	40,3 ± 7,8	21,6 ***
N40-032	250	295	8,7 ± 0,3	46,3 ± 2,3	22,3 ****
N40-030	230	255	8,9 ± 0,0	56,3 ± 1,7	21,3 ****
N40-028	205	230	10,3 ± 0,5	61,8 ± 1,2	20,2 ****
N40-026	190	230	10,9 ± 0,0	62,4 ± 0,8	22,3 ****
N50-036	275	470	7,3 ± 0,1	48,1 ± 2,9	21,3 ****
N50-032	230	350	9,3 ± 0,4	56,8 ± 3,3	22,0 ****
N40-030-F15	230	260	8,1 ± 0,0	45,4 ± 0,6	20,5 ****
N40-030-F20	220	270	7,7 ± 0,9	42,7 ± 0,9	21,2 ****
N40-030-F25	240	280	6,9 ± 0,2	39,3 ± 2,0	21,2 ****
N40-040-F20	360	555	4,3 ± 1,2	23,8 ± 0,3	19,1 *
N40-030-E15	195	330	6,5 ± 0,1	45,5 ± 0,4	21,1 ****
N40-040-E25	380	645	4,9 ± 0,2	19,8 ± 0,5	18,5 ****

**Notas:** \* El ensayo se realizó sin aplicar los golpes a la mesa de extendido \*\* El ensayo se realizó aplicando 10 caídas de la mesa de extendido; \*\*\* El ensayo se realizó aplicando 20 caídas de la mesa de extendido; \*\*\*\*El ensayo se realizó aplicando 25 caídas de la mesa de extendido.

## METODOLOGÍA

Para la determinación de la contracción autógena se empleó el método propuesto por la ASTM C1698-09 (11), con las modificaciones propuestas en (12). La contracción autógena se informa en valores acumulados para las edades de 1, 3, 7, 14 y 28 días, con excepción de las pastas de cemento que incluyen el uso de escoria granulada de alto horno, cuyos resultados se exhiben hasta la edad de 14 días.

Cada valor informado corresponde al promedio de, al menos, 2 resultados individuales de probetas preparadas, acondicionadas y ensayadas en idénticas condiciones.

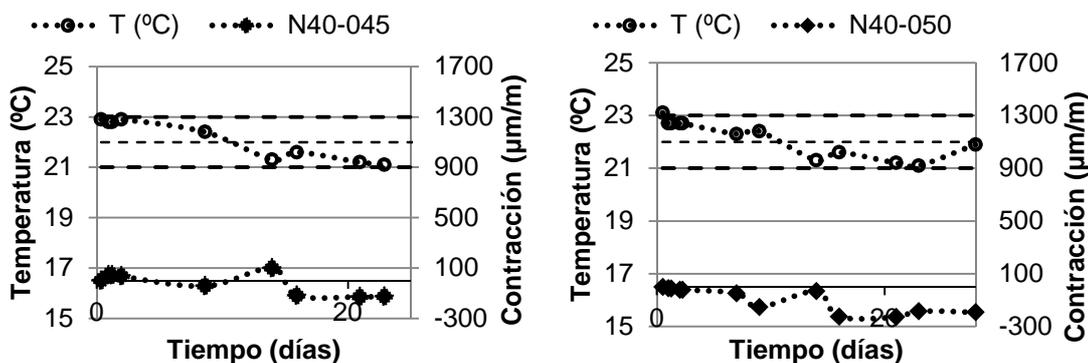
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 5 muestra los resultados obtenidos para cada una de las pastas ensayadas. Cabe destacar que no se presentan resultados de contracción autógena para las mezclas preparadas con relaciones agua/cemento 0,45 y 0,50, dado que el cambio de largo registrado resultó ser exiguo, y particularmente asociado a la variación volumétrica por

efecto de la fluctuación de temperatura, aún dentro del intervalo  $\pm 1$  °C respecto a la temperatura objetivo (Ver **Figuras 1 y 2**). Del estudio de dos casos, resulta ser de sencilla corroboración la hipótesis de partida que presupone que ante el empleo de relaciones agua/cemento superiores a 0,42, la magnitud de la contracción autógena resulta ser de mínima significación, y, en particular, si se analiza comparativamente con otros casos de composición de la pasta, y otros fenómenos de variación volumétrica, tal como la contracción por secado. Cabe destacar en las **Figuras 1 y 2** la correspondencia en la manifestación del cambio de largo de cada probeta y la variación del registro de temperatura ambiente que acompaña a cada medida.

**Tabla 5:** Contracción autógena medida a 1, 3, 7, 14 y 28 días

Muestra	Contracción Autógena [ $\mu\text{m}/\text{m}$ ]				
	A 1 día	A 3 días	A 7 días	A 14 días	A 28 días
N40-042	6	24	60	122	201
N40-040	24	67	152	210	320
N40-036	29	95	241	442	560
N40-034	67	210	449	579	655
N40-032	142	336	554	653	738
N40-030	217	440	622	712	857
N40-028	520	870	978	1058	1108
N40-026	676	1009	1118	1127	1193
N50-036	56	120	247	414	521
N50-032	55	278	439	544	756
N40-030-F15	436	561	656	746	817
N40-030-F20	378	460	503	643	643
N40-030-F25	356	442	582	638	701
N40-040-F20	91	98	112	170	246
N40-030-E15	126	259	382	546	---
N40-040-E25	6	16	16	21	---



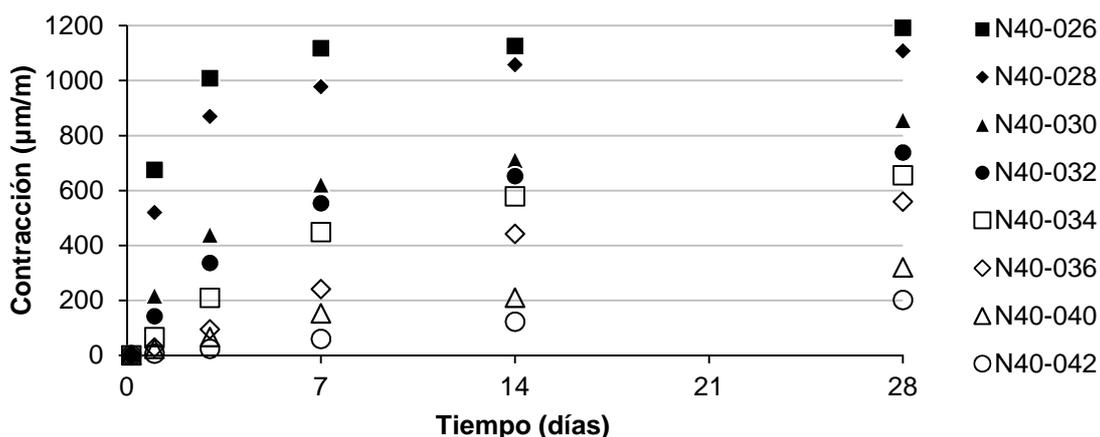
**Figura 1 (izq):** Resultados de ensayo para pasta de cemento CPN 40, con relación a/c = 0,45

**Figura 2 (der):** Resultados de ensayo para pasta de cemento CPN 40, con relación a/c = 0,50

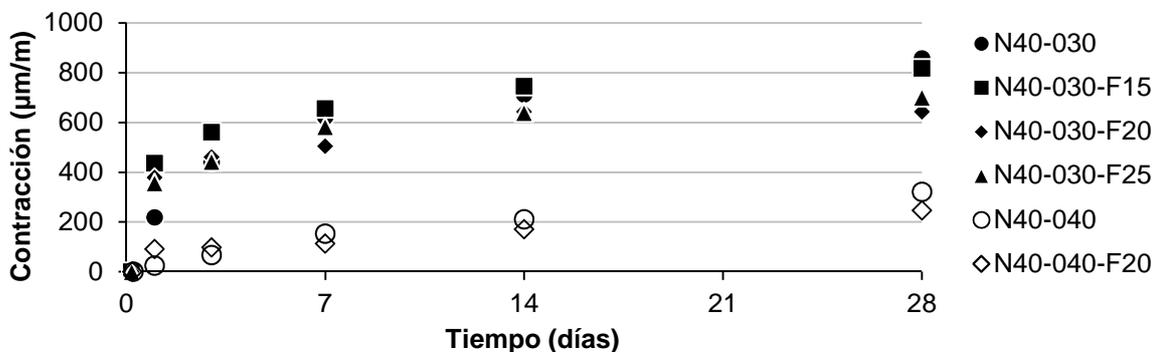
Del estudio comparado entre pastas preparadas con igual aglomerante (CPN 40) y relaciones agua/cemento variables entre 0,42 a 0,26 (ver **Figura 3**), es posible verificar que a medida que tal relación aumenta, la contracción autógena decrece. La contracción autógena para pastas con relación agua/cemento 0,26 a 0,28 es del orden del doble que para las alternativas con a/c en el entorno 0,32 a 0,36, y de 4 a 5 veces de la registrada para relaciones a/c cercanas a 0,40. Este comportamiento puede aducirse a que el efecto de autodesecación propio a la contracción autógena de la pasta, luego de su fin de fragüe, es de menor magnitud por la mayor disponibilidad de agua libre.

Por otra parte, en la **Figura 4** se presentan los resultados del estudio comparado entre pastas preparadas con igual cemento base (CPN 40), con reemplazos variables de filler calcáreo, en proporciones de entre el 15 y el 25 % en masa, para relaciones agua/cemento de 0,30 y 0,40. En ambos casos, puede destacarse que el efecto de la inclusión de esta adición es de baja significación, observándose que los resultados obtenidos para distintos porcentajes de reemplazo, e igual relación a/c se mantienen en un mismo entorno de orden de magnitud, y que las diferencias entre dichas pastas se encuentran en el mismo orden de la desviación propia del método de ensayo.

Para relaciones a/c igual a 0,40, se observa el mismo comportamiento registrado para el estudio comparado anterior, mostrándose niveles de contracción autógena bajos, y de menor relevancia a los fines de las aplicaciones usuales de los materiales de base cemento dentro del campo de la Ingeniería. Sin perjuicio de lo anterior, y con respecto a los casos con porcentajes de reemplazo de cemento base con filler calcáreo en proporciones mayores al 20 %, se observa cierta incidencia del efecto de dilución propio de la incorporación de la adición mineral en reemplazo de cemento, que tiende a conducir a registros de menor contracción, en particular sobre los resultados de edades posteriores a 3 días. En estos casos, la contracción autógena para un cemento (cemento base + filler calcáreo) con una mayor finura en comparación con el cemento base no muestra resultados de mayor magnitud, lo que puede justificarse teniendo en cuenta las características de reacción propias del filler calcáreo como adición (sin reacción puzolánica).



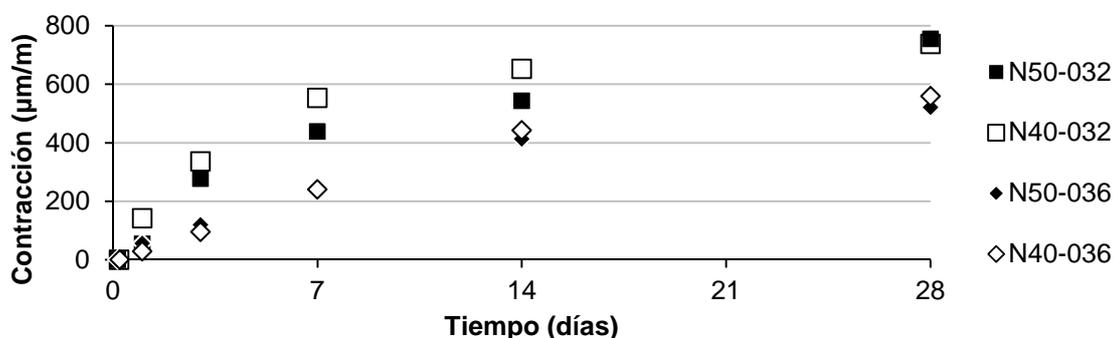
**Figura 3:** Efecto de la relación agua/cemento en pastas con mismo aglomerante (CPN 40)



**Figura 4:** Efecto del reemplazo de cemento base (CPN 40) por filler calcáreo

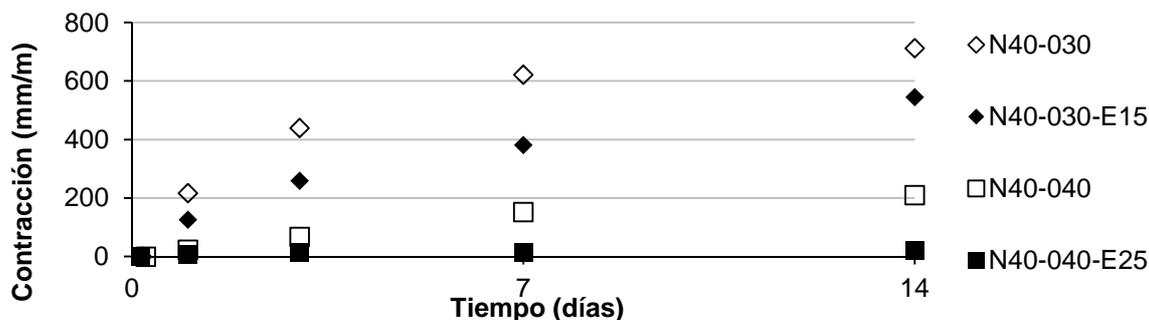
En el caso de los registros de contracción autógena acumulada a 1 día de edad, se destaca una ligera tendencia de mayor contracción autógena para los casos que emplean reemplazos de cemento por filler calcáreo, lo que podría presumirse por una mayor velocidad de hidratación de los componentes del cemento portland (13) a partir del efecto de nucleación sobre los granos de filler calizo, que también conduce a mayores niveles resistentes a edades tempranas.

Al respecto del análisis comparado entre los dos cementos base seleccionados para el estudio (CPN 40 y CPN 50), se observa que las diferencias registradas para los casos de relaciones  $a/c$  de 0,32 y 0,36 resultan de escasa significación, siendo menores a la desviación propia del método. En el caso del cemento CPN 40 se observa una menor finura, y presumiblemente un menor contenido de componentes minoritarios de acuerdo con los valores de densidad y pérdida por calcinación de cada cemento. En tal sentido, es posible inferir cierta compensación entre el efecto de mayor finura del cemento en un caso, y la mayor inclusión de minoritarios o diferencias en la composición del clinker para el otro caso. Estos resultados se presentan gráficamente en la **Figura 5**.



**Figura 5:** Efecto sobre la contracción autógena del tipo de cemento base (composición del clinker, presencia de minoritarios y finura)

Por último, en relación al estudio particular de la contracción autógena para las pastas que incluyen un reemplazo parcial de cemento base (CPN 40) con escoria granulada de alto horno (**Figura 6**), caben destacar dos conclusiones particulares. La primera de ellas confirma lo antes mencionado, en relación a la reducida contracción autógena alcanzada para los casos en los que se presentan relaciones  $a/c$  del orden de 0,40, con independencia del sistema cementicio que se utilice. En segundo lugar, se distingue un efecto benéfico sobre la contracción autógena del reemplazo del cemento base por escoria granulada de alto horno para todas las edades, aunque se observa que, por presentar esta adición actividad hidráulica, la contracción autógena a corta edad tiende a ser comparativamente menor, mientras que esa diferencia se reduce a mayor edad, presumiéndose el efecto de un mayor desarrollo de las reacciones de hidratación para edades más prolongadas.



**Figura 6:** Efecto del uso de escoria granulada de alto horno

## CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados de este trabajo, ha sido posible cuantificar la contracción autógena de distintos materiales cementantes (cementos base puros y con adiciones minerales) disponibles localmente, comprobándose, a su vez, los supuestos que permiten presumir la incidencia sobre la contracción autógena de factores variables, tales como la relación agua/cemento, la inclusión de adiciones minerales puzolánicas y no puzolánicas, el uso de materiales cementicios de distinta finura y la composición de clinker. En tal sentido, se ha observado como factor preponderante sobre la contracción autógena a la relación agua/material cementíceo.

El reemplazo de cemento base con escoria granulada de alto horno condujo a una reducción de los registros de contracción autógena, al igual que en el caso de los reemplazos más elevados con filler calcáreo, aunque menos significativa para este último caso. Existen indicios que denotan que la contracción autógena acumulada a edad temprana puede ser comparativamente menor en el caso de porcentajes de reemplazo superiores al 20 %, mientras que en el caso de la escoria granulada de alto horno, su incidencia benéfica es mayor en el estudio a corta edad.

Con respecto a la incidencia sobre la contracción autógena de pastas de cemento con adiciones minerales activas (puzolanas naturales y artificiales y el uso de escoria granulada de alto horno en porcentajes de reemplazo superiores al 35 %), composición química del clinker y finura del material cementante, se proyecta continuar con estudios adicionales, cuyos resultados serán objeto de otro artículo.

## REFERENCIAS

- (1) Clariá M A, Irassar E F, López R, Bonavetti V, "Ese material llamado hormigón", 1ra edición, AATH, 2012, ISBN 978-987-21660-5-2, Capítulo 2, 45-66.
- (2) Holt E, "Early age autogenous shrinkage of concrete", VTT Building and Transport, VTT Technical Research Centre of Finland, VTT Publications 446, ISBN 951-38-6250-X, 2001
- (3) Lim S, Wee T, "Autogenous Shrinkage of ground granulated blast furnace slag concrete", ACI Materials Journal, volumen 97-M67, 2000.
- (4) Norma IRAM 1622, "Cemento pórtland. Determinación de resistencias mecánicas", 2006.
- (5) Norma IRAM 1504, "Cemento pórtland. Análisis químico", 1986.
- (6) Norma IRAM 1624, "Cemento. Método de ensayo para la determinación de la densidad", 2005
- (7) Norma IRAM 1623, "Cemento pórtland. Método de ensayo de finura por tamizado seco y por determinación de la superficie específica por permeabilidad al aire (método de Blaine)", 2004.
- (8) Norma IRAM 1612, "Cemento. Método de ensayo para la determinación de la consistencia normal", 2006.
- (9) Norma IRAM 1619, "Cemento. Método de ensayo para la determinación del tiempo de fraguado", 2006.
- (10) Norma IRAM 1621, "Cemento pórtland. Método de ensayo de finura por tamizado húmedo", 2004.
- (11) Norma ASTM C1698, "Standard Test Method for Autogenous Strain of Cement Paste and Mortar", American Society of Testing Materials (ASTM), 2009.
- (12) Benitez A, Graneros G, Soto S, Curria M, Polzinetti M, "Implementación de un método para determinar la contracción autógena de pastas de cemento a partir de la retracción lineal en tubos sellados", VII Congreso Internacional y 21ª Reunión Técnica de AATH, 2016.
- (13) Bonavetti V, Castellano C, Donza H, Rahhal V, Irassar E F, "El Modelo de Powers y los límites del contenido de adición de material calcáreo en los cementos portland", Concreto y Cemento, Investigación y Desarrollo, Volumen 5, Número 1 (2012), 40-50.