

FLUENCIA Y CONTRACCIÓN DE HORMIGONES CON CEMENTO COMPUESTO

Carlos Milanesi¹, Mariano Pappalardi¹, Sebastián Orlando¹, Francisco Hours²,
Agustín Rossetti², María Celeste Torrijos³, Graciela Giaccio², Raúl Zerbino³

¹ Cementos Avellaneda S.A. Argentina, cam@cavellaneda.com.ar

² LEMIT-CIC, Facultad de Ingeniería UNLP, Argentina

³ CONICET. LEMIT-CIC, Facultad de Ingeniería UNLP, Argentina, zerbino@ing.unlp.edu.ar

RESUMEN

Esta comunicación se vincula a un proyecto que tiene por objetivo valorar las propiedades de hormigones elaborados con cemento compuesto, fabricados a partir de la incorporación de puzolanas, obtenidas por tratamiento térmico de arcillas illíticas, para diferentes aplicaciones. En este caso, se presentan los resultados obtenidos hasta la fecha de un estudio sobre la fluencia y contracción por secado. Comprende tres hormigones elaborados con proporciones y materiales similares, variando el tipo de cemento: CPN40 (como referencia), CPC40 y CPC50. Se midió la contracción libre sobre prismas y en paralelo la fluencia en compresión bajo cargas iguales al 40 % de la resistencia a compresión.

Palabras claves: cemento compuesto, arcillas calcinadas, fluencia, contracción por secado.

INTRODUCCIÓN

Las tendencias actuales en la producción de cemento abordan la exploración de materiales que promuevan una mayor sustentabilidad en la industria de la construcción. Entre las alternativas que han despertado mayor interés en los años recientes aparece el aprovechamiento de arcillas calcinadas como adición mineral para la fabricación de cemento compuesto. Esta posibilidad resulta muy competitiva en regiones del mundo donde otras adiciones tradicionales, como la escoria de alto horno o las cenizas volantes, no se encuentran disponibles en la cercanía de las fábricas de cemento. Los cementos así obtenidos permiten un mayor aprovechamiento de los recursos naturales (canteras) e implican un menor consumo de combustibles y generación de CO₂ [1, 2].

El presente trabajo se enmarca dentro de un proyecto, en desarrollo, que tiene por objetivo valorar las propiedades de hormigones elaborados con cementos compuestos, fabricados a partir de la incorporación de puzolanas obtenidas por tratamiento térmico (arcillas calcinadas), para diferentes aplicaciones. A continuación, se resumen los resultados obtenidos sobre fluencia y contracción por secado.

PROGRAMA EXPERIMENTAL

Se elaboraron tres hormigones empleando proporciones y materiales similares y variando únicamente el tipo de cemento, uno con CPN40, utilizado como referencia, otro con CPC40 y el tercero con CPC50. Con cada hormigón se moldearon probetas prismáticas y cilíndricas para evaluar la contracción libre, la resistencia y fluencia en compresión.

Materiales y mezclas

En todos los casos se emplearon como agregados piedra partida granítica de 19,0 mm de tamaño máximo (PP 6-20, módulo de finura 6,73) y una combinación de una arena fina natural (módulo de finura 1,78) con una de trituración granítica (arena 0/6, módulo de finura 3,55), para dar como resultado una mezcla de módulo de finura 2,31. Los hormigones difieren, básicamente, en el cemento utilizado y se identifican, en base a ellos, un hormigón de referencia con CPN40 y dos con cementos compuestos CPC40 y CPC50. Las propiedades de los tres cementos se presentan en la Tabla 1. Se utilizó un aditivo reductor de agua de alto rango, de base naftalénica, en una dosis igual a 0,9 % en peso de cemento.

Tabla 1: Propiedades de los cementos empleados.

Propiedades	Unidad	CPN40	CPC40	CPC50	
Contenido de caliza	%	5,0	15,5	8,9	
Contenido de puzolana	%	0,0	7,2	8,7	
Retenido sobre tamiz N° 325	%	14,4	5,5	1,7	
Superficie específica (Blaine)	m ² /kg	302,5	398,8	428,0	
Pérdida por calcinación	%	2,9	7,3	4,7	
Residuo insoluble	%	0,9	7,5	8,5	
SO ₃	%	2,8	2,4	2,5	
Resistencia a compresión	1 día	MPa	16,2	16,1	20,7
	2 días	MPa	26,5	27,0	32,2
	28 días	MPa	53,1	52,1	58,3

Las proporciones y propiedades en estado fresco de las mezclas se indican en la Tabla 2. Todos los hormigones se elaboraron durante una misma jornada, siendo las condiciones ambientales 21±1 °C de temperatura y 37±1 % de humedad relativa. No se registraron mayores diferencias ni en el asentamiento inicial ni en la pérdida de asentamiento (al cabo de 30') ni en el contenido de aire incorporado. Tanto el aspecto como el nivel de cohesión de las mezclas fueron buenos y no se observaron signos de exudación.

Tabla 2: Hormigones elaborados.

Hormigones		CPN40	CPC40	CPC50
Cemento	kg/m ³	305	308	308
Arena fina silícea	kg/m ³	609	612	604
Arena gruesa granítica	kg/m ³	262	263	260
Piedra partida granítica 6/20	kg/m ³	1067	1079	1079
Agua	kg/m ³	175	167	170
Aditivo fluidificante	kg/m ³	2,7	2,8	2,8
Relación agua/cemento	-	0,57	0,54	0,55
Peso de la unidad de volumen	kg/m ³	2421	2433	2424
Asentamiento (a 15')	mm	130	120	140
Asentamiento (a 30')	mm	100	90	120
Aire incorporado	%	2,5	2,2	2,3
Temperatura del hormigón	°C	22,9	23,3	22,9
Aspecto		B	B	B
Cohesión		B	MB	MB
Exudación		No	No	No

Con cada hormigón se moldearon tres prismas de 75x105x430 mm para evaluar la contracción libre y nueve cilindros de 150x300 mm: tres para la determinación de la resistencia a compresión ($f'c_{150x300}$) a 28 días, tres para la fluencia en compresión (bajo cargas cercanas al 40 % de la resistencia a compresión a 28 días) y tres para control de la contracción libre. Adicionalmente, se moldearon otras probetas cilíndricas de 100x200 mm (cuatro por cada edad) para verificar la evolución de la resistencia a compresión ($f'c_{100x200}$). Las probetas fueron desmoldadas a las 24 horas y curadas en cámara húmeda.

La Tabla 3 informa los resultados de los ensayos a compresión y, en el caso de los cilindros de mayor tamaño, los valores del módulo de elasticidad a la edad de carga, lo que permitió comparar las deformaciones inmediatas luego de la aplicación de las cargas de fluencia con las elásticas calculadas.

Tabla 3: Ensayos de compresión de los hormigones en estudio.

Hormigones			CPN40	CPC40	CPC50
$f'c_{100x200}$	1 día	MPa	7,8	6,7	9,9
	7 días	MPa	29,5	29,8	32,5
	28 días	MPa	32,3	32,5	38,2
$f'c_{150x300}$	28 días	MPa	30,3	30,1	34,7
Módulo de elasticidad		GPa	33,0	35,0	34,3
Tensión en ensayos de fluencia		% $f'c$	39	39	39
Deformaciones inmediatas bajo carga		10^{-5}	41	36	42
Deformaciones elásticas calculadas		10^{-5}	36	34	39

Métodos de evaluación de la contracción y fluencia

La metodología adoptada para el estudio en general, esto es evaluación de la contracción y fluencia, así como el resto de las propiedades mecánicas ha sido utilizada durante años y descrita en varias publicaciones anteriores [3-4]. La contracción por secado se evaluó sobre prismas de 75x105x430 mm con pernos en sus extremos y un comparador de longitudes con una precisión de 10^{-4} pulgadas, siguiendo los lineamientos generales de la norma ASTM C157. Las probetas fueron curadas en cámara húmeda hasta la edad de 28 días y luego expuestas en cámara seca (22 ± 2 °C, humedad relativa 55 ± 5 %) hasta la fecha.

En cuanto a la fluencia en compresión, los nueve cilindros de 150x300 mm de cada hormigón también fueron curados 27 días en cámara húmeda, a los 28 días tres de ellos fueron ensayados para determinar la resistencia a compresión y los otros seis ubicados en la cámara seca; allí, utilizando pórticos con resortes, un grupo de tres probetas de cada hormigón fue sometido a cargas de compresión equivalentes al 40% de la resistencia a compresión a 28 días, mientras que otros tres cilindros se mantuvieron sin cargar con el propósito de evaluar la contracción libre. En este caso las deformaciones se midieron mediante un deformómetro de láminas paralelas con una precisión de 10^{-4} pulgadas, aplicado entre puntos fijos de acero inoxidable, que fueron pegados a 120° sobre tres generatrices de cada cilindro, el día previo al ingreso a la cámara seca.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES PRELIMINARES

La Figura 1 muestra los resultados de contracción por secado y variación de peso de los prismas, durante los meses transcurridos de exposición en cámara seca. Si bien se aprecia una tendencia a menor pérdida de peso en los hormigones con cemento CPC, los valores de contracción registrados en los tres hormigones son prácticamente coincidentes.

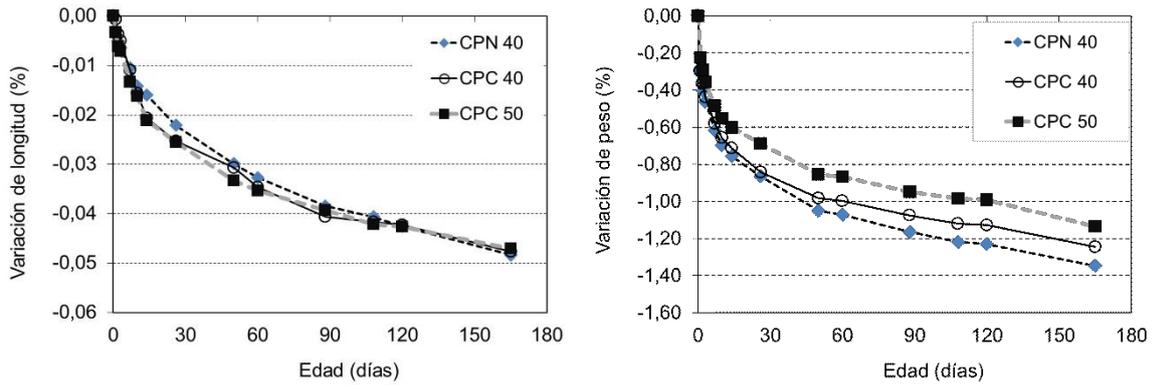


Figura 1: Contracción por secado durante la exposición en cámara seca.

En la Figura 2 se presentan los resultados de fluencia en compresión. Se incluyen tanto las deformaciones totales bajo carga como las deformaciones diferidas, expresadas en términos de fluencia específica ($10^{-6}/\text{MPa}$). Cabe reiterar que todas las mezclas tienen básicamente el mismo esqueleto granular y proporciones, no hay diferencias en el contenido de aire incorporado ni grandes cambios en la demanda de agua y relación agua/cemento. Las diferencias en la respuesta reológica tendrían que asociarse con las características del cemento, esto es, algunos cambios en la demanda de agua y principalmente efectos relacionados con la evolución de la resistencia en el tiempo. No obstante, hasta el momento no se aprecian diferencias significativas entre los hormigones.

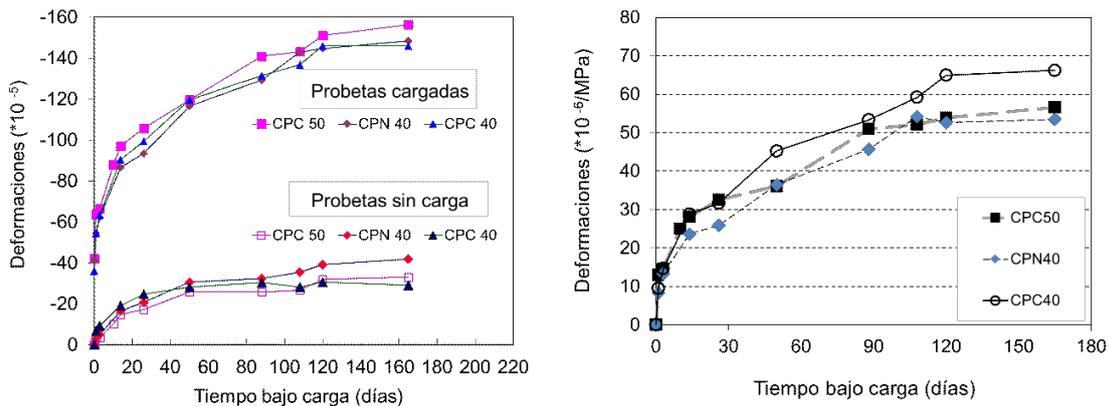


Figura 2: Resultados de fluencia en compresión. Izquierda: deformaciones totales en probetas bajo carga y probetas sin carga de referencia. Derecha: deformaciones de fluencia específica.

REFERENCIAS

- [1] Scrivener K, John VM, Gartner EM, "Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry", *Cem. Concr. Res.*, 114, (2018), <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.03.015>
- [2] Fernandez R, Martirena F, Scrivener K, "The origin of the pozzolanic activity of calcined clay minerals: A comparison between kaolinite, illite and montmorillonite", *Cem. Concr. Res.* 41 (1), (2011), 113-122.
- [3] Antoni M, Rossen J, Martirena F, Scrivener K, "Cement substitution by a combination of metakaolin and limestone", *Cem. Concr. Res.* 42, (2012), 1579–1589. doi:10.1016/j.cemcon res. 2012.09.006.
- [4] Giovambattista A, Zerbino R, "Creep of concrete after ten years loading", *Fifth International RILEM Symposium on Creep and Shrinkage of Concrete*, Ed. E&FN SPON, 22, (1993), 51-56.
- [5] Di Maio A, Giaccio G, Zerbino R, "Hormigón con agregados reciclados: Resistencia, módulo de elasticidad y fluencia bajo cargas de compresión", *Hormigón 40*, (2004), 37-50.