

HORMIGÓN LIVIANO ESTRUCTURAL EXTRUIDO (HLEE): COMPORTAMIENTO DE ARENAS VOLCÁNICAS FRENTE A LA REACCIÓN ÁLCALI-SÍLICE.

Darío Campos¹, Paula Parola¹, Francisco Locati², Silvina Marfil³

¹ASTORI ESTRUCTURAS S.A. - Av. Piero Astori 1500. (X5013DCF). Córdoba. R. A.
Tel (54- 351) 496- 8600 Int.: 1607 - dariocampos@astori.com.ar, paulaparola@astori.com.ar
²CICTERRA (CONICET - UNC). Av. Vélez Sarsfield 1611, (X5016GCA) Córdoba, Argentina.
flocati@efn.uncor.edu

³UNS - CIC (Provincia de Buenos Aires) - INGEOSUR, San Juan 670, (8000) Bahía Blanca,
Argentina. smarfil@uns.edu.ar

Palabras clave: Hormigones extruidos, arena volcánica, reacción álcali-sílice

RESUMEN

En un trabajo previo se estudió la factibilidad de producir un Hormigón Liviano Estructural (densidad promedio de ~ 2000 Kg/m³) con arena volcánica, colocado mediante máquinas extrusoras, desarrollado en el departamento de calidad de la empresa Astori Estructuras S.A. Se moldearon losas alveolares mediante máquinas de alto rendimiento las cuales evidenciaron condiciones físico-mecánicas aceptables tanto en estado fresco como endurecido. Las losas fueron acopiadas sin ninguna protección y expuestas a los agentes climáticos durante aproximadamente 3 años. Los agregados livianos utilizados corresponden a fragmentos de pumitas (piedra pómez), compuestas por vidrio volcánico, un material potencialmente reactivo frente a la reacción álcali-sílice (RAS) por ser metaestable y de rápida velocidad de reacción. A su vez los agregados gruesos utilizados poseen un alto porcentaje de cuarzo tensionado en su composición. Teniendo en cuenta esto y que los elementos premoldeados podrían ser utilizados en sectores expuestos a la intemperie, se llevaron a cabo estudios para establecer posibles deterioros asociados a la RAS. Se realizó una inspección ocular de los elementos estructurales y luego se extrajeron muestras de diferentes sectores que fueron estudiadas con estereomicroscopio y microscopio óptico de polarización sobre secciones delgadas. Finalmente, se determinó la densidad del hormigón (IRAM 1567) y la resistencia a la flexión (IRAM 11598) de las losas. El hormigón se encuentra en buen estado a nivel macroscópico y microscópico, reconociéndose solo escasas microfisuras. Los valores de densidad son similares a los determinados inicialmente y se observó un mejoramiento de la resistencia en los ensayos de flexión. Según las observaciones realizadas, hasta el momento las losas no presentan deterioros asociados a la RAS posiblemente por el efecto puzolánico del material vítreo de grano fino. La incorporación de este material habría contribuido no solo en la generación de elementos estructurales livianos, sino a mejorar las prestaciones del hormigón.

INTRODUCCIÓN

Las pumitas (más conocidas como piedra pómez) son rocas ígneas volcánicas muy porosas y vítreas. Estas rocas están ampliamente distribuidas y pueden encontrarse en casi

todos los sectores del mundo donde exista o haya existido actividad volcánica explosiva. Una de sus características principales es la presencia de una gran cantidad de canales internos generados por desgasificación cuando la lava es proyectada al aire y sufre descompresión. Esto le otorga a la roca una muy baja densidad (menor a 1 g/cm^3), pudiendo flotar en el agua (1).

Estas rocas han sido utilizadas como agregados livianos para hormigón desde hace mucho tiempo. Su combinación con el cemento portland y agua, generan un hormigón liviano que puede actuar de aislante térmico y sonoro para un gran número de prestaciones (2).

Además, su incorporación como material fino reemplazando parcialmente el contenido de cemento de la mezcla, produce un efecto puzolánico a través del consumo de hidróxido de calcio para formar silicatos de calcio hidratado. Este proceso disminuye la alcalinidad de la solución de poro del hormigón y el porcentaje de espacios vacíos en la pasta, y aumenta su resistencia. Estos efectos son indudablemente beneficiosos para el hormigón ya que a través de la reducción de la permeabilidad (y de la porosidad), disminuyen las probabilidades de sufrir ataques por sulfatos y cloruros, procesos de corrosión, y ciclos de hielo-deshielo (p.ej. 3-4).

La incorporación de este material también juega un rol importante para impedir reacciones del tipo álcali-agregado cuando se utilizan agregados potencialmente reactivos, no solo por su efecto puzolánico sino porque de generarse productos de neoformación (geles o formas cristalinas), estos pueden ser acomodados dentro de la red de poros característica de las pumitas (5).

En un trabajo previo (6) se estudió la factibilidad de producir un Hormigón Liviano Estructural con arena volcánica, colocado mediante máquinas extrusoras, desarrollado en el departamento de calidad de la empresa Astori Estructuras S.A. En esa oportunidad se moldearon losas alveolares mediante máquinas de alto rendimiento (con una densidad promedio de 2004 kg/m^3) las cuales evidenciaron condiciones físico-mecánicas aceptables tanto en estado fresco como endurecido. Las losas fueron posteriormente acopiadas sin ninguna protección y expuestas a los agentes climáticos durante aproximadamente 3 años. Los agregados livianos utilizados corresponden a fragmentos de pumitas, compuestas casi en su totalidad por vidrio volcánico, un material potencialmente reactivo frente a la reacción álcali-silíce (RAS) por ser metaestable y de rápida velocidad de reacción.

Teniendo en cuenta el buen desempeño físico-mecánico de las losas producidas y que estos elementos premoldeados podrían ser utilizados en sectores expuestos a la intemperie, se llevaron a cabo estudios para establecer posibles deterioros asociados a la RAS y determinar el estado actual de las mismas.

MATERIALES Y MÉTODOS

En una primera etapa, y a fin de contar con una caracterización más precisa de los materiales pétreos utilizados en la confección de las losas (agregados gruesos, arena natural y arena volcánica), se determinó el porcentaje de cada tipo litológico tomando como parámetro el examen petrográfico (7), efectuando controles por medio de observaciones macro y microscópicas. Se trabajó con un estereomicroscopio hasta 40x y un microscopio óptico de polarización (Leica DM EP) hasta 500x. Se tomaron fotomicrografías a nicoles paralelos (N//) y cruzados (NX). Los agregados gruesos fueron identificados y contados bajo estereomicroscopio y con posterioridad se realizaron observaciones microscópicas de los grupos mayoritarios sobre secciones delgadas. La arena natural fue tamizada mediante los tamices N°10 (2 mm), 18 (1 mm), 30 (0,59 mm), 60 (0,25 mm) y 100 (0,149 mm) y se realizó

el conteo de los tipos litológicos en cada fracción. Además se realizaron observaciones microscópicas complementarias sobre el material retenido en el tamiz N° 60 (fracción mayoritaria). La identificación y conteo de los tipos litológicos en la arena volcánica se realizó directamente mediante estudios microscópicos sobre secciones delgadas. Según datos previos (6), la arena volcánica posee ~6% de material con granulometría <150 µm.

Respecto al estudio de las losas, se trabajó con muestras extraídas de los elementos premoldeados expuestos a la intemperie durante aproximadamente 3 años. En primera instancia, se realizó la inspección ocular in situ de las mismas a fin de detectar la presencia de microfisuras, manchas, pérdidas de material, signos de corrosión, etc. Luego se extrajeron muestras en los extremos y la parte media de una de ellas mediante sierra a disco manual. Sobre las muestras extraídas se realizaron estudios macroscópicos sobre placas pulidas, y microscópicos sobre secciones delgadas. De forma complementaria se determinó la masa por metro cúbico (8) y se realizaron ensayos de flexión (9) sobre los elementos premoldeados expuestos a fin de hacer comparaciones con los valores determinados inicialmente (6).

En la Tabla 1 se muestra la dosificación de la mezcla para un H30 y el contenido alcalino del cemento utilizado en la confección de las losas (6).

Tabla 1: Dosificación H-30 y contenido alcalino del cemento utilizado.

Material	Unidad	Cantidad	
Cemento CPN40	Kg/m ³	450	
Arena natural	Kg/m ³	190	
Arena volcánica	Kg/m ³	410	
Agregado grueso 3-13	Kg/m ³	766	
Agua	Kg/m ³	174	
Densidad teórica	Kg/m ³	1990	
Relación aproximada (a/c)	-	0,38	
Asentamiento teórico	cm	1	
Contenido alcalino del cemento*	Na ₂ O	%	0,40
	K ₂ O	%	1,15

*Datos aportados por la empresa proveedora del cemento.

RESULTADOS

Caracterización de los agregados gruesos y finos utilizados

Los agregados gruesos provienen de una cantera de triturados pétreos de la provincia de Córdoba. A nivel macroscópico poseen forma irregular a levemente redondeada, presentan algo de polvo superficial y en ocasiones se observan pátinas de carbonato de calcio recubriendo parcialmente las partículas (Figura 1a). La muestra está compuesta por gneises de composición variable y diferente grado de deformación (64,8 %) en su mayoría frescos pero con algo de alteración en los feldespatos, rocas ígneas (23,1%) de composición granítica a tonalítica (aquí se incluye ~5% de partículas monominerales o con alto contenido de cuarzo), anfibolitas (10,1%) y mármoles (2%). Tanto los gneises como los agregados ígneos muestran un alto porcentaje de cuarzo tensionado (muy por encima del 5% establecido como límite en el Reglamento CIRSOC 201 (10)) calificándolos como potencialmente reactivos frente a la RAS (agregados de reacción lenta/diferida).

La arena natural proviene del río Paraná. Este material (Tabla 2) está constituido en forma predominante por cuarzo (70,6 %) y areniscas cuarzosas (29 %). El 0,4 % restante lo constituyen muy escasa cantidad de concreciones ferruginosas, calcedonia, terrones

blandos y minerales opacos. Los terrones blandos están conformados por arena cuarcítica débilmente cementada. Las partículas (Figura 1b) son redondeadas (23 %), irregulares equidimensionales (77 %) e irregulares planares (< 1 %).

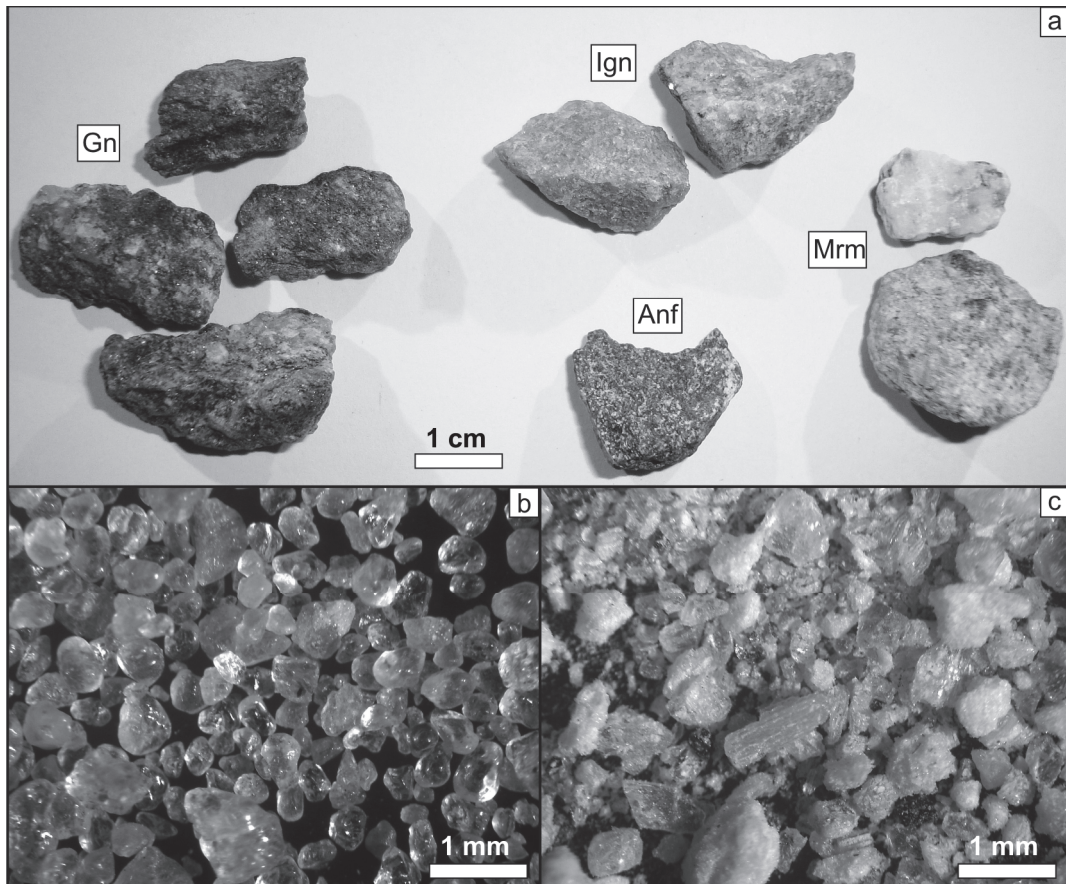


Figura 1: a) Agregados gruesos. Gn: gneises, Ign: rocas ígneas, Anf: anfibolita, Mrm: mármoles. b) Arena natural. c) Arena volcánica.

Tabla 2: Arena natural. Composición litológica ponderada de la muestra en peso (%).

Constituyentes	Porcentaje de constituyentes ponderados en cada fracción de tamiz IRAM (%)						Composición ponderada de la muestra (%)
	10	18	30	60	100	<100	
Cuarzo	0,2	1,1	5,0	56,2	7,5	0,6	70,6
Areniscas silíceas	0,1	0,6	3,1	23,0	2,0	0,2	29,0
Rocas graníticas	<0,1	0,1	0,1	-	-	-	0,2
Concreciones ferruginosas	<0,1	-	-	-	-	-	<0,1
Calcedonia	<0,1	<0,1	0,1	-	-	-	0,1
Terrones blandos	<0,1	<0,1	0,1	-	-	-	0,1
Minerales opacos	-	-	-	-	-	<0,1	<0,1
Total en la fracción de tamiz	0,3	1,8	8,4	79,2	9,5	0,8	100,0

La arena volcánica proviene de una cantera de la provincia de Mendoza. Está constituida en forma predominante por vidrio volcánico fresco (93,8 %). El 6,2 % restante son feldspatos (3,8%), fragmentos líticos (1,6%) y calcita (0,8%). Los fragmentos líticos están constituidos principalmente por basaltos y tobas. Las partículas son irregulares y muy porosas (Figura 1c). Presentan partículas adheridas de menor dimensión pero de la misma composición que los agregados de mayor tamaño.

Inspección ocular in situ

Las losas se encuentran en buen estado general, no presentan fisuras ni evidencias de corrosión. Se observan sectores decolorados (blanquecinos) sobre la superficie de las mismas, principalmente localizados sobre los tabiques inter-alveolares (Figura 2a). El material blanquecino es solo superficial y no se observa continuidad hacia el interior de las mismas (Figura 2b).

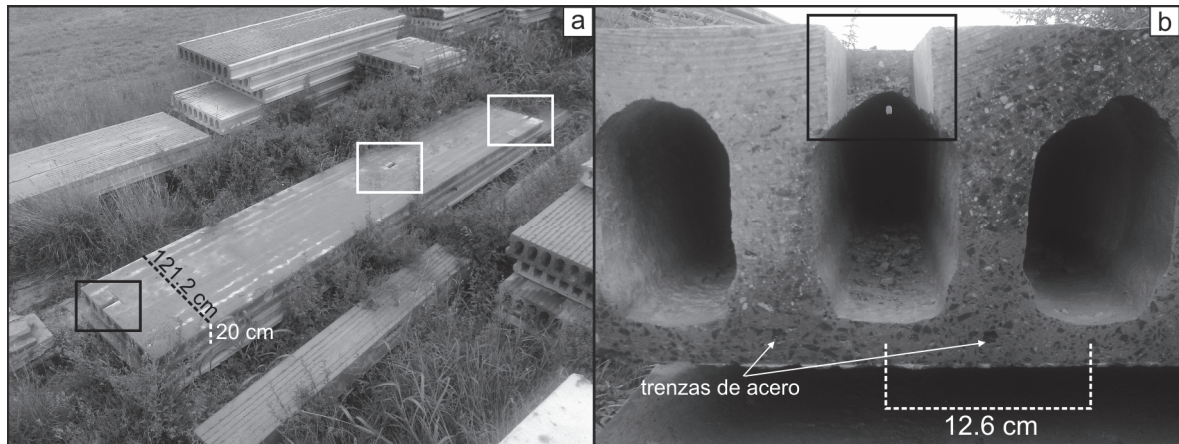


Figura 2: a) Losa construida con HLEE expuesta a la intemperie (centro). Los recuadros indican los sectores de muestreo. El recuadro negro muestra el sector detallado en la Figura 1b. b) Vista de la sección transversal de la losa. El recuadro negro indica uno de los sectores muestreados.

Observaciones macroscópicas

A nivel macroscópico las losas se observan en buen estado, sin evidencias de microfisuración en la pasta. Tanto los agregados volcánicos como los no volcánicos presentan buen estado en las interfaces pasta-agregado (Figura 3). Se observa un frente de carbonatación de la pasta restringido a los primeros 5 mm en contacto con la intemperie.

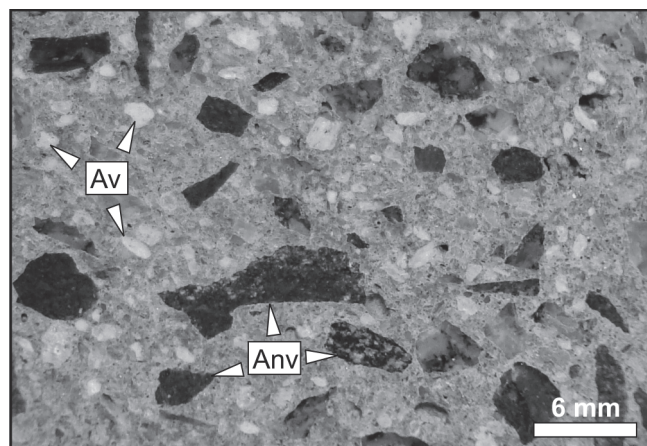


Figura 3: Hormigón a nivel macroscópico. Av: agregados volcánicos. Anv: agregados no volcánicos.

Observaciones microscópicas

A nivel microscópico el hormigón presenta buen estado de conservación. Sólo localmente se han reconocido escasas microfisuras que afectan la pasta y algunos agregados. No se observan bordes de reacción o productos de neoformación asociados a

los agregados gruesos (Figura 4a y b), a las partículas de arena natural (Figura 4c) ni a las partículas de arena volcánica (Figura 4d).

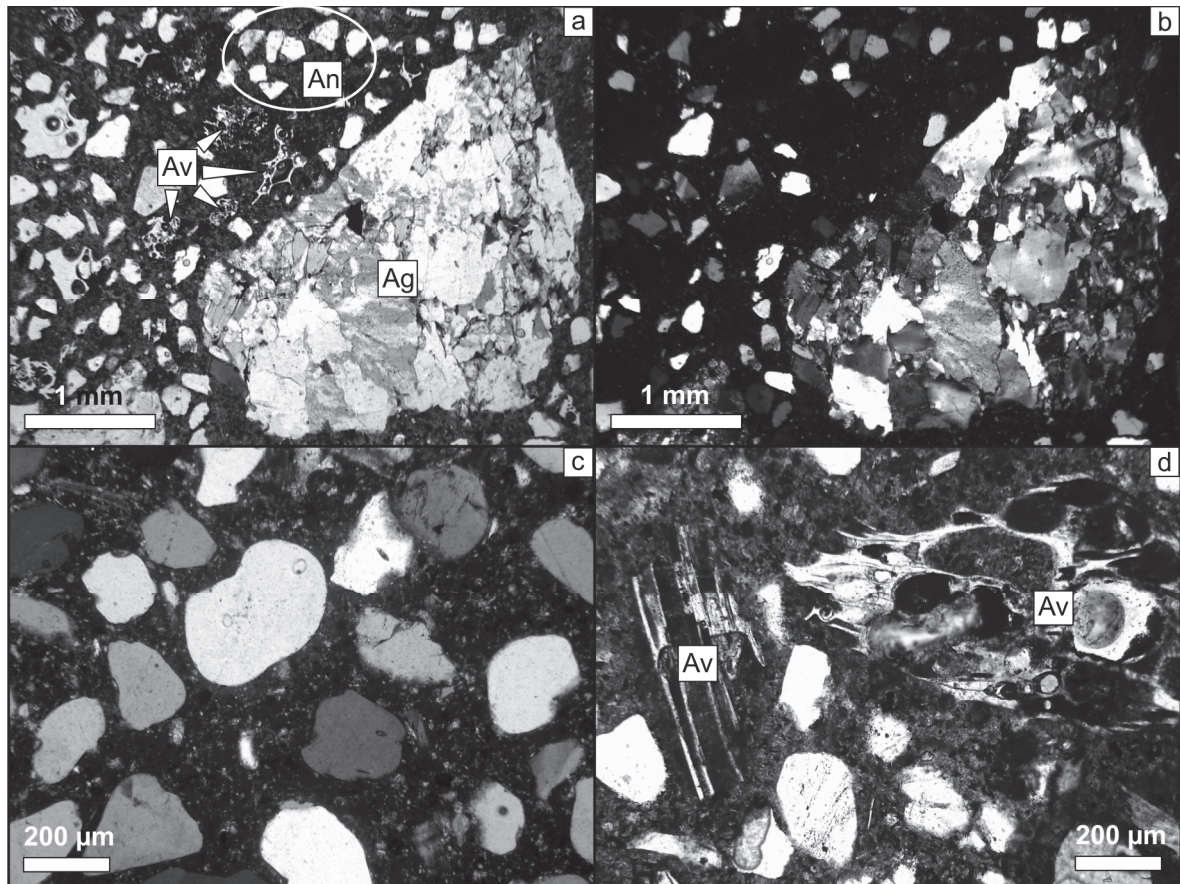


Figura 4: Fotomicrografías. a) Hormigón a nivel microscópico (N//). b) Mismo sector (NX). c) Partículas de cuarzo redondeadas correspondientes a la arena natural (NX). d) Partículas de arena volcánica con marcado desarrollo de cavidades generadas por escape de gases durante su formación (N//). Av: arena volcánica. An: arena natural. Ag: agregado gnésico.

Ensayos físico-mecánicos

El valor de densidad (8) promedio (3 determinaciones) medido sobre el hormigón luego de 3 años de exposición, está ligeramente por debajo del determinado inicialmente (1965 vs. 2004 kg/m³), representando una pérdida del 1,95%.

Por otro lado, los valores de flexión (9) evidencian una ganancia en la resistencia a la flexión del hormigón, pasado el tiempo de exposición (Figura 5).

CONSIDERACIONES Y CONCLUSIONES

Según Hossain et al. (4), la resistencia a la compresión y tensión (así como el módulo de elasticidad) de hormigones livianos que contienen pumitas como agregados gruesos y/o finos, disminuiría con el aumento de los agregados volcánicos en reemplazo de los no volcánicos, debido a la incorporación de materiales más débiles a la mezcla. Sin embargo, dependiendo de los porcentajes de mezcla (agregados gruesos y/o finos volcánicos por agregados gruesos y/o finos no volcánicos) se pueden desarrollar hormigones livianos adecuados tanto para elementos estructurales livianos como para otros productos de menor exigencia. En el caso estudiado, la incorporación de arenas volcánicas (pumitas

principalmente) en reemplazo parcial de las arenas naturales (68,33% de arena volcánica) permitió la fabricación de losas livianas construidas mediante HLEE, que luego de 3 años de estar expuestas a la intemperie muestran valores aceptables de resistencia a flexión (mejorando incluso los valores iniciales), con una leve disminución de los valores de densidad (1,95%).

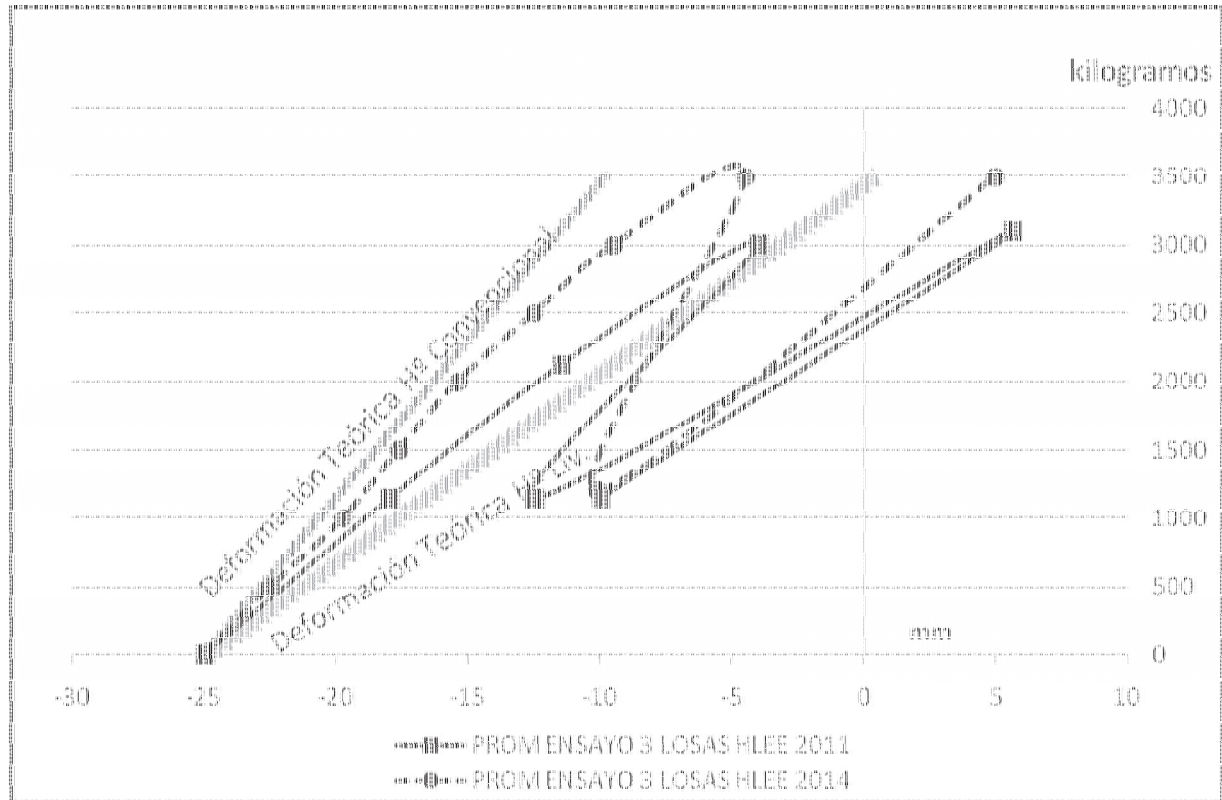


Figura 5: Curvas del comportamiento en el Ensayo de Flexión de HLEE (9). Comparación entre los valores determinados inicialmente (2011, (6)) y los valores determinados en este estudio (2014).

La presencia de partículas finas de pumitas (~6% de material con granulometría <math>< 150 \mu\text{m}</math>) en la muestra de arena volcánica impactó positivamente en el desempeño de las losas a través de su efecto puzolánico. La elevada inestabilidad en condiciones alcalinas del vidrio volcánico que las constituye posiblemente contribuyó a la disminución del pH de la solución de poro del hormigón mediante el consumo de hidróxido de calcio para formar silicatos de calcio hidratados. Esto provocó la disminución de espacios vacíos en la pasta y el mejoramiento de la resistencia del hormigón. A su vez, el decrecimiento de la permeabilidad evitó la posibilidad de ingreso de humedad hacia el interior de los elementos estructurales y minimizó la profundidad del frente de carbonatación con la consecuente preservación de las armaduras.

Finalmente, a pesar de la elevada alcalinidad del cemento utilizado en la fabricación de las losas ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} = 1,16\%$), la posibilidad de deterioro por RAS (por parte de los agregados gruesos ricos en cuarzo tensionado o por parte de las arenas volcánicas de mayor tamaño de grano) se vio inhibida. La baja relación agua/cemento utilizada en la dosificación de la mezcla (0,38), sumada a la disminución de la permeabilidad por la reacción de la arena volcánica fina y el consumo de álcalis de la misma para la generación de los silicatos de calcio hidratados, habrían impactado positivamente para evitar el desarrollo de esta reacción.

Si bien los comportamientos observados se condicen con los informados a nivel internacional para este tipo de materiales volcánicos, se necesitan de mayores estudios para poder confirmarlos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CICTERRA (CONICET-UNC), al Dpto. de Geología de la UNS-INGEOSUR y a la CIC de la Prov. de Bs. As. por el apoyo brindado. Además agradecen a la empresa Astori Estructuras S.A. por facilitar las muestras estudiadas y permitir la publicación de los resultados obtenidos.

REFERENCIAS

- (1) McPhie J., Doyle M., Allen R. "Volcanic textures. A guide to the interpretation of textures in volcanic rocks". Centre for Ore Deposit and Exploration Studies. University of Tasmania, Hobart, Tasmania, (1993), 196 pp.
- (2) Gündüz L. "The effect of pumice aggregate/cement ratios on the low-strength concrete properties", *Construction and Building Materials*, Vol. 22, (2008), 721-728.
- (3) Hossain K.M.A. "Blended cement using volcanic ash and pumice", *Cement and Concrete Research*, Vol. 33, (2003), 1601-1605.
- (4) Hossain K.M.A., Ahmed S., Lachemi M. "Lightweight concrete incorporating pumice based blended cement and aggregate: Mechanical and durability characteristics", *Construction and Building Materials*, Vol. 25, (2011), 1186-1195.
- (5) Tapan M. "Use of pumice and scoria aggregates for controlling alkali sílica reaction", *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, Vol. 50, N° 2, (2014), 467-475.
- (6) Campos D.G., Rissi R.R. "Hormigón liviano estructural extruido (HLEE): Estudio de Aplicación", En: Sota J.D., Ortega N.F., Moro J.M. (eds), *Memorias del V Congreso Internacional y 19º Reunión Técnica de la AATH, Bahía Blanca*, (2012), 8 pp.
- (7) IRAM 1649, "Examen petrográfico de agregados para hormigón", IRAM, (2008), 18 pp.
- (8) IRAM 1567, "Agregados livianos para hormigón estructural", IRAM, (2008), 16 pp.
- (9) IRAM 11598, "Estructuras. Elementos prefabricados lineales. Ensayo de flexión", IRAM, (1997), 11 pp.
- (10) Reglamento CIRSOC 201, "Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón", INTI-CIRSOC, (2005), 481 pp. + Apéndices.