

---

HORMIGONES LIVIANOS PARA USO ESTRUCTURAL.  
EXPERIENCIAS REALIZADAS CON ARCILLAS EX-  
PANDIDAS DE PRODUCCION NACIONAL

---

Ing. José F. Colina  
Ing. Alberto Giovambattista  
Ing. Milan E. Klaric

---

## CONSIDERACIONES GENERALES

---

En oportunidad de realizarse en el LEMIT el primer Simposio sobre "Materiales y elementos constructivos para la vivienda", en octubre de 1964, presentamos algunas experiencias efectuadas durante ese año utilizando como árido liviano para la preparación del hormigón las muestras producidas en una planta piloto por una de las firmas que actualmente producen entre nosotros "arcillas expandidas por cocción".

Poco después de esa fecha este tipo de árido comenzó a producirse industrialmente en las dos fábricas que en la actualidad existen en el país, instaladas ambas en la Provincia de Buenos Aires, una en el partido de General San Martín y la otra en el de Berazategui, en las proximidades de las estaciones José León Suarez y Hudson, respectivamente.

La aparición de este nuevo material fue bien recibida por los industriales de la construcción tanto por sus propiedades físicas convenientes para diversos usos, como por las ventajas económicas que puede reportar su empleo, pero, como era lógico esperar, muchos técnicos antes de proyectar, calcular o construir estructuras resistentes con estos hormigones livianos desearon tener mayor información sobre las posibilidades de aplicación y el grado de seguridad que les brindaba su empleo.

Esto se tradujo en la doble necesidad, por parte de fabricantes y usuarios, de recurrir a los laboratorios en busca de la experiencia y la información necesarias para la utilización adecuada del producto, y esto, a su vez, motivó que aquellos debieran realizar estudios y ensayos que les permitieran responder a las consultas formuladas.

Con este propósito en el LEMIT se programó una serie de experiencias cuyo resumen y resultados disponibles hasta el momento vamos a presentar en esta oportunidad.

Antes de exponer los resultados de estas experiencias recordaremos que el empleo de áridos livianos obtiene -

dos por cocción de arcillas comenzó hace medio siglo en EE.UU. cuando Stephen J. Hayde perfeccionó en 1917 un método para obtener arcillas expandidas, las que comenzaron a comercializarse con la denominación de "Haydita". A partir de entonces la producción comenzó a crecer notablemente para llegar en la actualidad en ese país a 15.000.000 de toneladas anuales fabricadas en 70 plantas industriales. En Europa se tiene conocimiento de una fábrica que fué instalada hace 25 años en Dinamarca, país que juntamente con Rusia son los que más han desarrollado en Europa la producción de este material. Se tiene información además de la existencia de fábricas en otros muchos países tales como Suecia, Alemania, Inglaterra, Francia, Polonia, Hungría, Italia, Checoslovaquia, Japón y Australia. En Sudamérica sabemos de plantas productoras solamente en Brasil y Argentina. Como ya dijimos, en nuestro país hay, hasta ahora, dos fábricas que tienen una capacidad de producción total de 850 m<sup>3</sup> diarios y que están produciendo, entre ambas, unos 600 m<sup>3</sup> por día.

El material producido se destina principalmente a la fabricación de elementos premoldeados para la construcción, fin para el cual lo hacen particularmente apto sus diversas características: peso de la unidad de volumen, aislación térmica y acústica, resistencias mecánicas, facilidad de cortar, clavar, etc. Pero su aplicación más interesante desde el punto de vista de la ingeniería es la posibilidad de utilizarlo en la preparación de hormigones estructurales, campo en el que ya ha sido utilizado en estructuras de muy variadas características: barcos, puentes, edificios de grandes dimensiones y estructuras laminares son otros tantos ejemplos de sus múltiples usos. Según una estadística reciente en Estados Unidos el 65% de la producción total se destina a la prefabricación, y el 35% restante a hormigones estructurales. Esta última aplicación es la que también, sin duda, requiere el mejor y más completo conocimiento del material para poder utilizarlo con un margen de seguridad adecuado en el proyecto y dimensionado de las distintas piezas. Las experiencias cuyos resultados expondremos enseguida han sido dirigidas hacia el conocimiento de las principales características físicas y mecánicas del material, necesarias para este fin, y es

nuestro propósito completarlas en el futuro con aquellas destinadas a conocer su comportamiento en servicio bajo variadas condiciones ambientales de exposición.

Algunos inconvenientes observados en los últimos años en determinadas estructuras en servicio han motivado que en la actualidad se le preste mucha atención a este problema de la durabilidad de las obras construídas con hormigones livianos que contienen arcillas expandidas por cocción.

Según Short, su mayor porosidad hace que los hormigones livianos sean más vulnerables a la acción del medio ambiente húmedo o agresivo, que los hormigones normales.

En una comunicación presentada por el Ing. Alberto S. C. Fava al simposio sobre hormigones livianos que la Rilem celebró en Budapest en el mes de marzo de 1967 se hace saber de algunas estructuras construídas en EE.UU. y cuyo comportamiento en la práctica no ha sido satisfactorio, habiéndose producido al cabo de pocos años fisuración y/o desintegración del hormigón liviano. Tal el caso del viaducto de Omaha, construído en el estado de Nebraska en 1950 y que ya en 1960 comenzó a presentar signos de alteración, y del puente de Talmage, también en Nebraska, en uno de cuyos extremos puede apreciarse que la parte construída con hormigón liviano está deteriorada, mientras que la adyacente de hormigón normal se mantiene inalterada. En la misma comunicación el Ing. Fava hace mención de un informe de Donald O. Woolf sobre las observaciones realizadas en 195 tableros de puentes construídos con hormigones livianos en 16 Estados de la Unión. Según el mismo: 9% estaba en malas condiciones, 22% en condiciones regulares y el resto (69%) en condiciones normales de servicio, teniendo algunos de estos últimos más de 30 años de vida útil.

Los estudios realizados hasta la fecha no han permitido llegar a ninguna conclusión sobre las causas del fenómeno. Los ensayos de congelación y deshielo que normalmente se efectúan para evaluar la durabilidad del hormigón han dado resultados satisfactorios y en los casos mencionados no se pudieron observar signos de que se hubiera producido en la masa del hormigón ninguna de las reacciones químicas que se conocen son capaces de afectarlo y llegar a producir su desintegración.

En consecuencia y como esos problemas de durabilidad podrían tener su origen en algunas características aún no bien conocidas de las arcillas expandidas por cocción, sea por su composición, estructura o proceso de fabricación, entendemos que será prudente, por el momento, no utilizarlas en los tipos de estructuras o condiciones de exposición en que puedan tenerse dudas sobre su comportamiento posterior. En el caso particular de estructuras de edificios esta limitación alcanzaría a aquellas partes que van a quedar directamente expuestas a la acción de la intemperie y a las fundaciones, que puedan estar en contacto con la humedad o con suelos o aguas agresivas.

---

#### RESULTADOS DE LAS EXPERIENCIAS REALIZADAS EN EL LEMIT

---

A continuación presentamos los resultados obtenidos en los ensayos efectuados sobre un conjunto de mezclas preparadas con distintos áridos gruesos. En todas ellas se utilizó el mismo cemento portland, de una partida adquirida en fábrica y homogeneizada previamente a su empleo; la misma agua, de la red de distribución del LEMIT; el mismo árido fino, de naturaleza silíceo y en estado de saturado y con la superficie seca y como áridos gruesos se emplearon arcillas expandidas provenientes de las dos fábricas en producción, canto rodado silíceo o piedra partida granítica de Olavarría. Las principales características de cada uno de estos materiales excepto el acero están indicadas en la Tabla I. Para los ensayos de adherencia al acero se utilizaron barras de la misma procedencia y partida, de sección circular, aletadas, torsionadas en frío, de alto límite de fluencia. Con estos materiales se proyectaron mezclas para una resistencia media a compresión, medida en probeta cilíndrica normal, de 200 Kg/cm<sup>2</sup> a la edad de 28 días. En la Tabla II se dan las proporciones y las características del hormigón fresco de las cuatro mezclas utilizadas.

En la primera columna se da la identificación del hormigón mediante el tipo de árido grueso utilizado y la re-

sistencia media de proyecto, además en el caso de las mezclas con arcillas expandidas se agregaron los subíndices a y b que caracterizan a las de cada fábrica.

El asentamiento, medido por el método del tronco de cono, se trató de mantenerlo aproximadamente constante entre 5 y 7 centímetros y para cada una de las mezclas se determinó además el contenido unitario de aire y el peso de la unidad de volumen. Con respecto al contenido de aire se hace notar que los valores dados para las mezclas con áridos livianos deben tomarse solamente como informativos ya que igual que los demás fueron determinados con el método a presión (dispositivo de Washington) que no es el indicado para este tipo de hormigones.

Cada una de las mezclas fue repetida en cuatro días distintos, de manera que los resultados consignados son promedio de cuatro determinaciones, cuyos valores fueron prácticamente coincidentes. En cada jornada de trabajo se prepararon pastones correspondientes a las cuatro mezclas utilizadas y con el hormigón de cada pastón, se moldearon probetas para realizar todos los ensayos programados sobre el hormigón endurecido.

Las probetas fueron desmoldadas a las 24 horas y conservadas a partir de ese momento en la cámara de temperatura y humedad constantes del LEMIT (temperatura  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  y humedad relativa superior al 95%) hasta completar los primeros 7 días. A partir de ese momento se diversificó el curado para las probetas destinadas a ensayos de compresión y tracción dejándose en cada caso la mitad de las probetas en la misma cámara y la otra mitad se llevó a una cámara climatizadora con temperatura  $23 \pm 1^\circ\text{C}$  y humedad relativa  $50 \pm 4\%$ .

Las probetas destinadas a ensayos de flexión y adherencia se conservaron hasta los 28 días en la cámara húmeda. La única variante a estas condiciones de curado fue la correspondiente a las probetas destinadas a medir la contracción por secado del hormigón que luego de desmoldadas se mantuvieron sumergidas en agua hasta los 7 días y posteriormente en la cámara climatizadora mencionada hasta completar 84 días.

En la Tabla III se consignan, para cada mezcla y cada condición de curado, las resistencias a compresión y

tracción y las de flexión y adherencia al acero. También figura en la última columna el peso de la unidad de volumen del hormigón endurecido. Para las distintas propiedades medidas se da el número (N) de probetas ensayadas, el valor medio y la dispersión ( $\Delta$ ) de resultados correspondientes a las mismas, medidas por el desvío standard.

En la Tabla IV se dan los valores medios de los módulos de elasticidad estáticos, determinados para cargas de compresión del orden del 40% de la carga de rotura, y las contracciones por secado, en micrones por metro, obtenidas por diferencia de longitud de las probetas normales medidas inmediatamente después de extraídas del agua, a los 7 días de edad, y luego de completarse los 84 días de permanencia en la cámara climatizadora.

El análisis comparativo de los resultados presentados puede resumirse brevemente en los siguientes términos:

- a) Para obtener la misma resistencia de proyecto, 200 Kg/cm<sup>2</sup>, los hormigones livianos requirieron un contenido unitario de cemento 10% mayor que los preparados con áridos pétreos.
- b) Para esa resistencia de proyecto el peso de la unidad de volumen de los hormigones con arcillas expandidas estuvo entre 21 y 26 % por debajo del de los hormigones normales.
- c) Las mezclas preparadas en esas condiciones con los distintos áridos, pétreos y arcillas expandidas, arrojaron similares resistencias a compresión y flexión.
- d) Las resistencias de los hormigones livianos medidas a tracción por compresión diametral y las de adherencia al acero fueron algo menores, y estas últimas con mayor dispersión de resultados que las correspondientes a los hormigones con áridos pétreos.
- e) Los módulos de elasticidad de los hormigones con arcillas expandidas son sensiblemente inferiores a los de los hormigones normales, entre el 52 y el 67 % de ellos.
- f) Las contracciones por secado están entre 53 y 75 % encima de la de los hormigones de peso normal.

---

#### CONCLUSIONES

---

Desde el punto de vista de sus propiedades físi-

cas y mecánicas el empleo de hormigones livianos con arcillas expandidas por cocción, en reemplazo de hormigones con áridos pétreos, en estructuras corrientes, protegidas de las acciones del medio ambiente, no parece presentar otras limitaciones que las derivadas de la mayor porosidad, mayor deformabilidad y mayores contracciones por secado.

Teniendo en cuenta en el proyecto estos factores, tal como lo recomiendan algunas recientes normas para el cálculo, mediante el aumento de los recubrimientos de las armaduras metálicas, el uso de adecuados coeficientes de pandeo y la verificación de deformaciones con los módulos de elasticidad correspondientes, los hormigones livianos podrán utilizarse sin inconvenientes previsibles en la construcción de estructuras resistentes que no estén expuestas a condiciones severas o frecuentes variaciones en el contenido de humedad.

---

#### CONSIDERACIONES FINALES

---

Las experiencias cuyos resultados hemos expuesto forman parte de un estudio mucho mas amplio que se está realizando en el LEMIT. Ese estudio incluye la preparación de hormigones con otros áridos tales como escorias siderúrgicas y piedras partidas cuarcíticas, la preparación de mezclas ajustadas para obtener diversas resistencias a compresión, la medición de fluencia bajo carga (creep) y sobre todo ensayos y observaciones para valorar la durabilidad y establecer las posibles causas que la influyen. Estas experiencias se están realizando en colaboración con el Departamento de Construcciones de la Facultad de Ciencias Físico-matemáticas de la Universidad Nacional de La Plata.

Finalmente no queremos terminar este trabajo sin hacer resaltar la colaboración recibida por parte del personal de las Secciones Hormigones y Ensayos Mecánicos del LEMIT y en particular del Ing. Carlos L. G. Gonzalez Lima y los señores José J. Marmonti y Raúl S. Arce en la realización de las experiencias y preparación y presentación de sus resultados.



**TABLA I**

**Materiales utilizados**

1. **Cemento portland.**  
Superficie específica: 3165 cm<sup>2</sup>/g.  
Expansión en autoclave: 0,06 %.  
Resistencia a compresión a la edad de 28 días (Pliego M.O.P. de la Nación): 660 Kg/cm<sup>2</sup>.
2. **Arido fino (arena silfcea).**  
Peso específico en estado saturado y con la superficie seca: 2,62.  
Absorción de agua, 24 horas, en peso: 0,2 %.

Tamiz ASTM	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 30	N° 50	N° 100
% que pasan	100	99	98	88	43	23	2

Módulo de finura: 2,46

Granulometría:

3. **Aridos gruesos.**

Material	Identificación	Granulometría (% que pasan)								Módulo de finura	Peso específico s.s.s.	Peso específico s.p.c.	Absorción 24 horas % en peso	Peso unidad volumen Kg/m <sup>3</sup>
		1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8						
Mezcla	Mezcla	100	99	65	32	18	2	--	7,07	2,66	2,65	0,3	1,41	
Piedra graní- ca	PG-200	100	93	77	45	28	6	--	7,49	2,58	2,54	1,2	1,55	
Canto rodado	CR-200	100	100	100	92	66	6	1	6,37	--	--	--	0,61	
Arcilla expan- dida	AE-200 a	100	100	100	89	62	14	1	6,19	--	--	--	0,59	
Arcilla expan- dida	AE-200 b	100	100	100	89	62	14	1	6,19	--	--	--	0,59	

**TABLA II**

Proporciones y características de las mezclas utilizadas

Mezcla	Cantidades de materiales por m <sup>3</sup>				Asentamiento medido cm	Contenido de aire %	Peso de la unidad de volumen Kg/dm <sup>3</sup>
	Agua dm <sup>3</sup>	Cemento Kg.	Arido fino, Kg.	Arido grueso, Kg.			
AE-200 a	202	300	870	490	6,0	3,5	1,84
AE-200 b	204	300	830	470	7,5	4,0	1,79
CR-200	166	270	835	1070	6,0	2,0	2,34
PG-200	174	270	835	1083	6,0	1,8	2,38

**NOTAS:**

- 1.- Las cantidades de áridos pétreos están dadas para la condición de saturados y con la superficie seca.
- 2.- Las cantidades de arcillas expandidas se refieren a material húmedo, con los siguientes contenidos de humedad calculados con respecto al material seco a peso constante:

Arcilla expandida "a" = 17,0 %  
 Arcilla expandida "b" = 9,7 %

TABLA III

Resistencias a compresión, tracción, flexión y de adherencia al acero a la edad de 28 días

Mezcla	Curado % HR	Compresión Kg/cm <sup>2</sup>	Tracción Kg/cm <sup>2</sup>	Flexión Kg/cm <sup>2</sup>	Adherencia Kg/cm <sup>2</sup>	Peso de la unidad de volumen Kg/dm <sup>3</sup>
AE-200 a	50	N = 8 Δ = 9 224	N = 8 Δ = 1,9 19,0	-----	-----	1,79
	95	N = 8 Δ = 17 230	N = 8 Δ = 3,4 18,5	N = 6 Δ = 1,5 29,8	N = 5 Δ = 13 60	1,83
AE-200 b	50	N = 8 Δ = 22 206	N = 8 Δ = 2,6 16,6	-----	-----	1,72
	95	N = 8 Δ = 17 215	N = 8 Δ = 3,3 19,1	N = 6 Δ = 2,0 29,5	N = 5 Δ = 15 59	1,77
CR-200	50	N = 8 Δ = 11 209	N = 8 Δ = 4,0 22,5	-----	-----	2,31
	95	N = 6 Δ = 19 220	N = 8 Δ = 3,2 21,8	N = 9 Δ = 3,3 29,0	N = 6 Δ = 10 70	2,31
PG-200	50	N = 7 Δ = 10 210	N = 7 Δ = 1,7 25,8	-----	-----	2,33
	95	N = 7 Δ = 10 217	N = 7 Δ = 2,4 24,8	N = 8 Δ = 2,4 32,6	N = 4 Δ = 9 66	2,34

**TABLA IV**  
**Módulos de elasticidad y contracción por secado**

Mezcla	Módulo de elasticidad a la edad de 28 días - Kg/cm <sup>2</sup>		Contracción por secado, micrones/metro (1)
	Curado : 95 % HR	Curado : 50 % HR	
AE-200 a	185.000	188.000	460
AE-200 b	167.000	166.000	525
CR-200	357.000	318.000	300
PG-200	310.000	282.000	330

(1) Las probetas fueron sumergidas en agua a 23°C hasta la edad de 7 días y luego mantenidas en aire a 23°C y 50 % HR hasta la edad de 84 días.-

## B I B L I O G R A F I A

- 1.- Colina J. F. y Giovambattista A. - Algunas experiencias realizadas en el LEMIT con áridos livianos producidos en el país.  
LEMIT, Serie II n° 105, La Plata, 1966.
- 2.- Fava A. S. C. - Some facts related to the durability of lightweight concrete structures. Proceedings of the RILEM; International Symposium on Lightweight Aggregates Concrete; Tomo II, Budapest, 1967.