

## hormigón ligero de Styropor

**FRIEDER HOHWILLER y KLAUS KÖHLING, Ingenieros de Construcción**  
*Betonstein-Zeitung, nº 2, febrero 1968, págs. 81-87*

### sumario

- |                                   |                            |
|-----------------------------------|----------------------------|
| 1. GENERALIDADES.                 | 5. FABRICACIÓN.            |
| 2. CARACTERÍSTICAS.               | 6. PROPIEDADES.            |
| 3. STYROPOR COMO ÁRIDO.           | 7. ENSAYOS EN LA PRÁCTICA. |
| 4. ELECCIÓN DEL TIPO DE STYROPOR. | 8. PALABRAS FINALES.       |

### 1 GENERALIDADES

Conocemos multitud de materiales de construcción ligeros que en la práctica se denominan "hormigón ligero", a pesar de que su estructura y propiedades frecuentemente tienen poco de común con el hormigón corriente. Estos tipos de hormigón ligero, que se aplican en gran escala, de acuerdo con su sistema de fabricación, pueden clasificarse como sigue:

- Hormigón ligero fabricado incluyendo aire o añadiendo un agente activo en una mezcla base. Al esponjarse se forman espacios huecos en forma de células (porosidad propia), que después del fraguado les presta al material una estructura porosa.
- Hormigón ligero fabricado añadiendo áridos ligeros (porosidad del árido), tales como: arcilla expandida, escoria dilatada, piedra pómez, cascote de ladrillo, etc., en las correspondientes mezclas de hormigón o cemento.

Una característica diferencial de ambos grupos de hormigón ligero consiste en que solamente las mezclas comprendidas en el apartado b), pueden hacerse a pie de obra y verse para obtener elementos de construcción de cualquier forma. En cambio, los materiales de construcción ligeros del grupo a), que reciben su estructura mediante un proceso de expansión especial, han de ser moldeados en fábrica en forma de placas o de elementos de construcción y transportados posteriormente al lugar de la obra.

Además de la suficiente resistencia mecánica, un hormigón ligero ha de tener también un buen comportamiento frente al aislamiento térmico, el cual depende, a su vez, de la densidad del conjunto.

En todos los tipos de hormigón ligero que se aplican en la construcción a una escala de cierta importancia económica, el límite inferior de la densidad, por causas estáticas dependientes del material y otras técnicas, es de aproximadamente  $0,7 - 0,8 \text{ kg/dm}^3$ .

De un material de construcción que ha de ser utilizado como elemento constructivo y que se distingue por un buen comportamiento al aislamiento térmico, se espera el siguiente cuadro de propiedades:

- a) baja densidad aparente;
- b) suficiente resistencia mecánica;
- c) aislamiento térmico invariable;
- d) absorción de humedad reducida;
- e) buena moldeabilidad con las máquinas corrientes en la industria de la construcción.

Hace ya muchos años Stastny, Köhling, Petri y Bonitz realizaron ensayos para crear un hormigón ligero en el cual estuvieran reunidas todas estas propiedades, mezclando partículas de Styropor pre-espumadas con un conglomerante. De esto se ha informado ya en anteriores publicaciones (K. Köhling "Bentonstein-Zeitung" núm. 5, mayo 1960, páginas 208-212).

El motivo de que no se llegara a una mayor producción de estos materiales de construcción ligeros, estribaba en que en el pasado el Styropor era relativamente caro en comparación con otros áridos.

En el transcurso de los últimos años se rebajó el precio de tal manera que resulta rentable su empleo, y en el mercado de la construcción se observa un creciente interés por esta clase de materiales de construcción ligeros.

Por esta razón, hace algún tiempo se emprendieron otras series de ensayos concentrándose las investigaciones en el campo de la densidad aparente por debajo de  $0,8 \text{ kg/dm}^3$ , la cual resulta especialmente interesante en la práctica. En esta publicación se informa sobre los resultados de estos ensayos y de las interesantes posibilidades de aplicación que de los mismos se derivan.

## 2 CARACTERISTICAS

Este hormigón ligero se diferencia de otros hormigones ligeros moldeables por las especiales propiedades de los granos de Styropor pre-espumados (fig. 1). De acuerdo con la densidad aparente, la proporción volumétrica del Styropor en el hormigón se encuentra entre 60 y 80 por ciento.

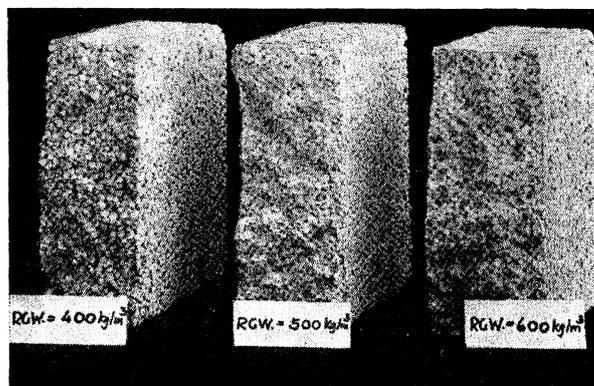


Fig. 1.—Muestras de diferentes masas volúmicas mostrando la cara de rotura.

Propiedades características del árido —del Styropor pre-espumado— son:

- densidad específica aparente de los gránulos espumados (12-15 kg/m<sup>3</sup>);
- magnífico aislamiento térmico de estos gránulos esponjosos;
- absorción nula de agua como consecuencia de la estructura de celdillas cerradas de los diferentes gránulos esponjosos;
- forma esférica favorable mecánicamente, que permite crear un hormigón relativamente resistente a la compresión.

De la figura 2 puede deducirse el espesor de pared mínimo con diferentes densidades aparentes, en función del peso por unidad de superficie y de la resistencia térmica exigidas (densidad aparente del ejemplo = 0,6 kg/dm<sup>3</sup>).

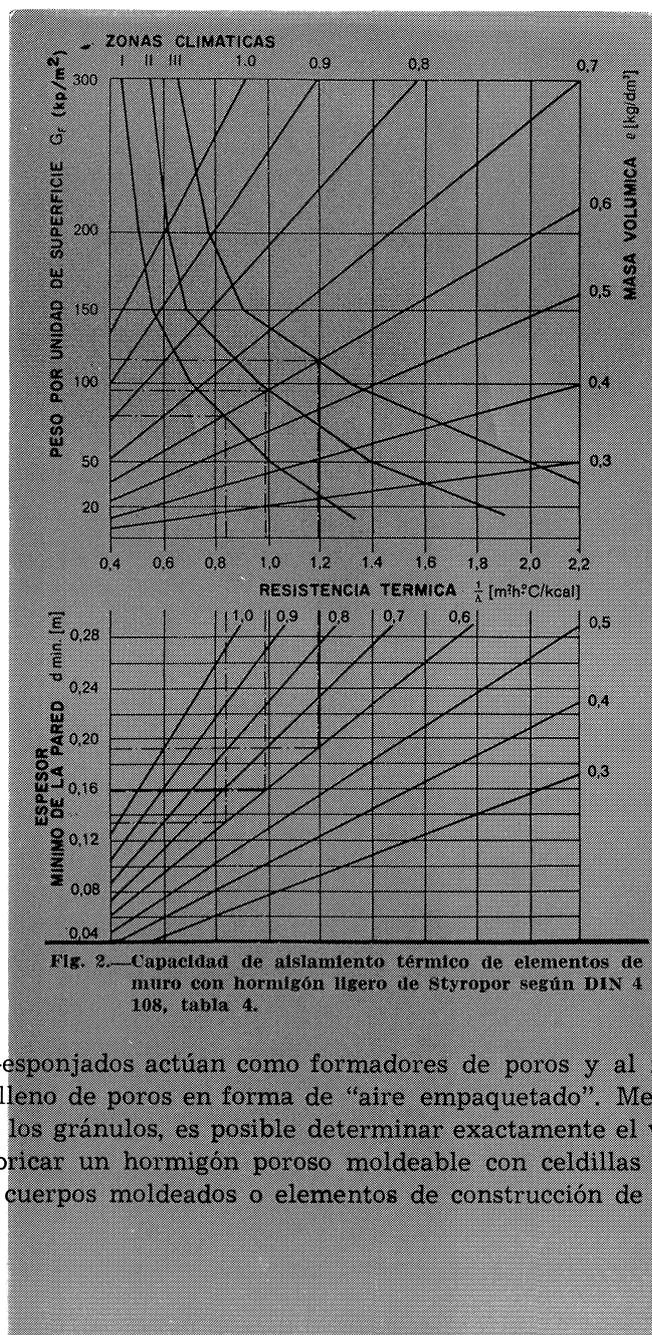


Fig. 2.—Capacidad de aislamiento térmico de elementos de muro con hormigón ligero de Styropor según DIN 4 108, tabla 4.

Los gránulos pre-esponjados actúan como formadores de poros y al mismo tiempo como ingrediente de relleno de poros en forma de “aire empaquetado”. Mediante una dosificación adecuada de los gránulos, es posible determinar exactamente el volumen de los espacios huecos y fabricar un hormigón poroso moldeable con celdillas uniformes y pre-determinables. Los cuerpos moldeados o elementos de construcción de hormigón ligero con

Styropor, pueden así fabricarse en un intervalo de peso determinado y de propiedades reproducibles.

### 3 STYROPOR COMO ARIDO

Para comprender mejor el tema se tratará brevemente de la fabricación de los gránulos de Styropor espumado.

Estos áridos se fabrican por un procedimiento especial a partir de un material base (Styropor), el cual lo suministra la Badischen Anilin - & Soda-Fabrik AG.

Placas de material esponjoso o elementos combinados de Styropor se emplean desde hace ya más de 16 años, como aislantes en las técnicas de la construcción y del frío. Por lo tanto, son ya conocidas las propiedades características de estos materiales esponjosos.

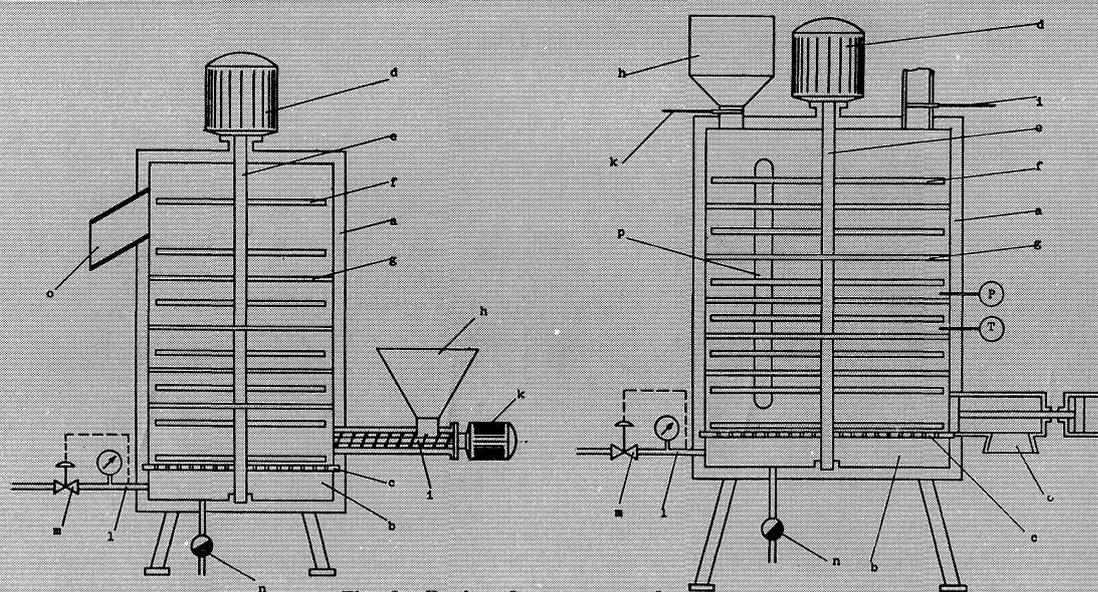


Fig. 3.—Equipo de pre-espumado.

#### FUNCIONAMIENTO CONTINUO

- a = Pared del depósito.
- b = Cámara de difusión del vapor.
- c = Fondo perforado.
- d = Accionamiento del agitador.
- e = Eje del agitador.
- f = Brazo del agitador.
- g = Barras fijas de choque.
- h = Tolva para material a granel.
- i = Rosca transportadora.
- k = Accionamiento de la rosca transportadora.
- l = Entrada del vapor.
- m = Regulación de la presión del vapor.
- n = Salida del agua condensada.
- o = Salida del material.

#### FUNCIONAMIENTO DISCONTINUO

- a = Pared del depósito.
- b = Cámara de difusión del vapor.
- c = Fondo perforado.
- d = Accionamiento del agitador.
- e = Eje del agitador.
- f = Brazo del agitador.
- g = Barras fijas de choque.
- h = Tolva para material a granel.
- i = Válvula reductora de presión.
- k = Compuerta para material a granel.
- l = Entrada del vapor.
- m = Regulación de la presión del vapor.
- n = Salida del agua condensada.
- o = Salida del material.
- p = Nivel.
- P = Indicador de presión.
- T = Indicador de temperatura.

La fabricación de dichos materiales esponjados se realiza en dos etapas:

- a) pre-espumar el material a granel hasta formar un conjunto de partículas sueltas;
- b) espumar las partículas pre-espumadas para formar bloques, placas u otros cuerpos moldeados.

Como pre-espumado se define el primer proceso de hinchamiento, cuando al material a granel se espuma antes de verterlo en el molde. Pero como para fabricar el hormigón ligero se trabaja con el material pre-espumado, aquí sólo es de interés la primera etapa de la fabricación. El Styropor, que consta de poliestireno que contiene un agente activo, se ablanda por la influencia del calor durante el pre-espumado; entonces, el agente activo pasa al estado gaseoso e hincha las perlas hasta 50 veces su volumen original. La figura 3 muestra el esquema de un aparato pre-esponjador de funcionamiento continuo y de otro de funcionamiento discontinuo. Durante una permanencia de aproximadamente 1 día en los silos se difunde aire en la estructura celular de las partículas, en tanto que el agente activo sobrante escapa en su mayor parte.

#### 4 ELECCION DEL TIPO DE STYROPOR

Por el tamaño de grano del material en bruto (que depende del tipo de Styropor) y la duración de la acción del vapor durante el pre-espumado, el diámetro de las partículas hay que ajustarlo en una determinada zona de tamaño de granulación.

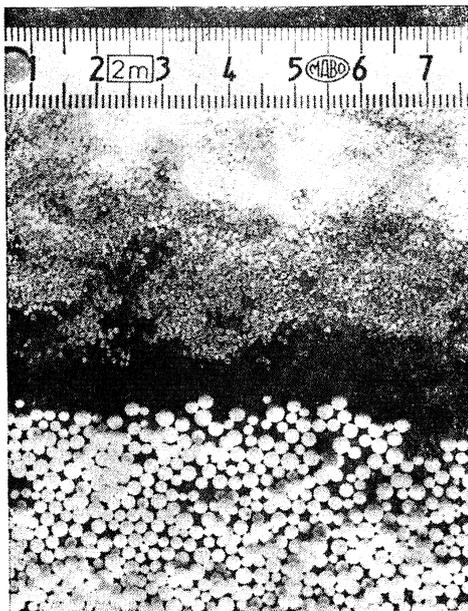


Fig. 4.—Arriba: Styropor P 120 a granel. Abajo: Styropor P 120, espumado a 12 kg/m<sup>3</sup>.

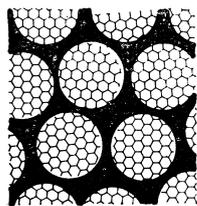
La elección del tipo de Styropor se realiza de acuerdo con el tamaño de las partículas en estado espumado que se desee (fig. 4). Generalmente es de un diámetro comprendido entre 1 y 6 mm. Empleando Styropor de un tamaño de granulación espumado de < 2,5 mm (por ejemplo Styropor P 120), se mantiene lo más reducida posible la longitud de pandeo libre de las paredes de las celdillas en los diversos hormigones. Por lo tanto, se considera como fundamental el que, con una densidad aparente dada del hormigón ligero, la resistencia sea tanto más elevada cuanto más finas sean las celdillas en su estructura.

A igualdad de diámetro de los gránulos, el peso específico aparente de los mismos pre-espumados no tiene ninguna influencia sobre la resistencia final; es decir, no tiene ninguna importancia el que el peso específico aparente sea de 12 kg/m<sup>3</sup>, 16 kg/m<sup>3</sup> o 25 kg/m<sup>3</sup>. Al establecer el coste, se le mantendrá, por lo tanto, lo más bajo posible (aproximadamente 12 - 15 kg/m<sup>3</sup>).

#### 5 FABRICACION (Derechos de protección nacionales y extranjeros y solicitudes de derecho de protección de la BASF).

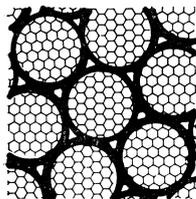
En la fabricación industrial de elementos de construcción es de gran importancia el que las recetas de mezcla den siempre valores reproducibles y propiedades constantes. Los resultados de los ensayos demuestran que esto es absolutamente posible con el hormigón ligero de Styropor, observando determinadas normas en su elaboración.

Ya se destacó anteriormente que en este trabajo se habla preferentemente de un hormigón ligero cuya densidad aparente se encuentra entre 0,3 - 0,8 kg/dm<sup>3</sup>. Una particularidad en la fabricación del hormigón ligero Styropor es el límite de la densidad aparente de 0,6 kg/dm<sup>3</sup> (fig. 5). En las mezclas con una densidad aparente superior, todos los espacios entre las partículas de Styropor están rellenos de la base de hormigón, mientras que por debajo de 0,6 kg/dm<sup>3</sup>, a consecuencia de la reducida cantidad de conglomerante y áridos, no puede alcanzarse el relleno del espacio sobrante. Es decir, que los espacios huecos (ca. 40 Vol.-%) que se han formado al verter una cantidad disgregada, ya no pueden ser rellenos. A fin de conseguir los valores de resistencia óptimos con mezclas por debajo de 0,6 kg/dm<sup>3</sup>, ha de tenerse en cuenta que los conglomerantes de que se dispone deben de aplicarse sobre las partículas de material esponjoso, es decir, han de envolverlas. De ningún modo, en esta zona de densidades, los conglomerantes deben de acumularse en los espacios huecos, ya que así no contribuyen nada a aumentar la resistencia. Si las bolitas de material esponjoso de Styropor se envuelven con una capa de conglomerante de espesor uniforme y en la misma fase de la fabricación se las aglomera con la proporción restante de cemento, arena fina y agua, se forma así una estructura con huecos esféricos en forma de burbujas coherentes que van de una a todas direcciones. Por el efecto de bóveda de las paredes de las celdillas que se apoyan mutuamente entre sí, se obtienen resistencias relativamente elevadas.



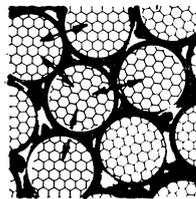
MASA VOLÚMICA  
 $\geq 0,6 \text{ kg/dm}^3$

0 1 2 mm



MASA VOLÚMICA  
 $\leq 0,6 \text{ kg/dm}^3$

0 1 2 mm



0 1 2 mm

Fig. 5.—Representación esquemática de la estructura de diferentes mezclas de hormigón ligero de Styropor.

1) RELLENO DE LOS ESPACIOS VACIOS

Entre los gránulos de Styropor.

Masa volúmica  $\geq 0,6 \text{ kg/dm}^3$ .

2) NINGUN RELLENO DE LOS ESPACIOS VACIOS

Masa volúmica  $\leq 0,6 \text{ kg/dm}^3$ .

Buenas resistencias por revestimiento.

Efecto de bóveda.

Los espacios vacíos quedan libres.

3) MALA ELABORACION

Las partículas no están revestidas más que parcialmente.

Ningún efecto bóveda.

Presencia parcial del conglomerante en los espacios vacios.

¡DISMINUCION DE LA RESISTENCIA!

A = Masa volúmica  $\geq 0,6 \text{ kg/dm}^3$ .

B = Masa volúmica  $\leq 0,6 \text{ kg/dm}^3$ .

### 5.1. Aditivos que proporcionan adherencia.

El mezclar los gránulos pre-espumados con cemento (aditivo fino) y agua, no es fácil debido al peso específico aparente de los diferentes materiales. Con el fin de obtener una

mezcla homogénea, es conveniente recubrir los gránulos de Styropor con una sustancia viscosa, la cual se define como intermediario en la retención (adherencia). De este modo, en el proceso de mezclado posterior se garantiza que el conglomerante hidráulico quede realmente adherido a la superficie de los gránulos y no se acumule en los espacios huecos que dejan los mismos.

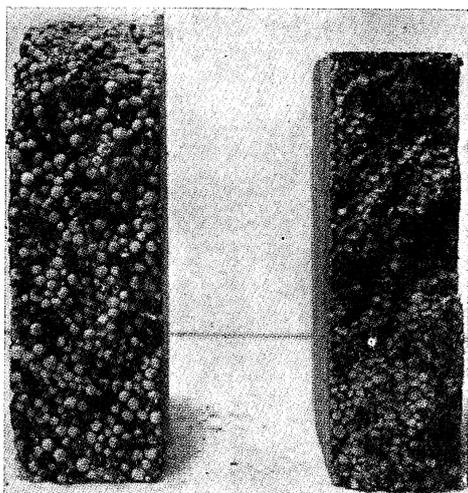


Fig. 6.—Ensayo de rotura: a la izquierda probeta sin sustancia adhesiva; a la derecha probeta con sustancia adhesiva (esta probeta tiene una mayor resistencia a la flexotracción).

Como favorecedores de esta adherencia han de considerarse únicamente las dispersiones de materias sintéticas y los adhesivos de resinas sintéticas, los cuales no influyen desfavorablemente en los conglomerantes hidráulicos, pero que tampoco dejan en libertad las partículas de Styropor. En la práctica ha alcanzado ya una cierta importancia el empleo de estos aditivos, sobre todo para mejorar la resistencia a la flexión y a la tracción y la adherencia de mezclas de hormigón o mortero. Entre otros, han demostrado ser buenos adhesivos los productos a base de resinas epoxi o derivados polivinílicos en forma de dispersiones al 50 %. En el hormigón de Styropor estos aditivos son especialmente importantes para la formación de estructuras de cemento resistentes a la compresión como promotores de la adherencia entre materiales orgánico e inorgánico. Su buena adherencia actúa ya favorablemente con cantidades reducidas. En las pruebas de flexión y de trac-

ción pudo comprobarse, al observar la rotura, que la adherencia entre los gránulos y la estructura del conglomerante es tan grande, que el desgarramiento surge a través de los gránulos de material esponjoso (fig. 6). Por lo tanto, la resistencia a flexión y de tracción es relativamente elevada en relación con la resistencia a la compresión. Si no se emplean materiales que faciliten la adherencia, en la rotura se arrancan los gránulos de material esponjoso del esqueleto de hormigón. Los valores de resistencia son más bajos.

La mezcla de resinas epoxi (por ejemplo Epikote 162 de la Deutschen Shell Chemie), juntamente con endurecedores apropiados (por ejemplo la Laromin C 260 de la BASF), dio los mejores resultados. Ya la adición de 1 kg de Epikote y Laromin (en la relación 73 : 27 en peso) a 1 m<sup>3</sup> de mezcla preparada produce una notoria mejoría en el comportamiento, tanto en la elaboración como en las resistencias mecánicas.

Comoquiera que 1 kg de resina epoxi no bastaría para rociar la superficie de 1 m<sup>3</sup> de gránulos de Styropor, se bate aquélla con parte del agua de amasado y después se aplica a la granalla de Styropor. La cantidad del agua de amasado en la cual se ha repartido bien la sustancia adhesiva, queda así dispuesta para su aplicación en la superficie del Styropor.

Si las resinas epoxi no se presentan en forma de dispersiones acuosas, con el fin de impedir la coagulación de la resina hay que proceder inmediatamente a la aplicación, lo cual no exige condiciones especiales en ciertas ramas industriales, tales como las referentes a la elaboración de piezas pre-fabricadas, donde las necesidades pueden limitarse, por ejemplo, a una instalación mezcladora estructurando adecuadamente el dispositivo dosificador.

En muchos casos se recomienda preparar en obra un granulado, que previamente ha sido envuelto en una película de cemento, como aditivo en la mezcla de hormigón (fig. 7). Estas bolitas de material esponjoso provistas de una película de conglomerante, producen una rápida trabazón con la lechada de cemento que les rodea e impiden así el que floten al compactarlas por sacudidas; por lo tanto, son apropiadas como árido del hormigón o como relleno antitérmico a granel en compartimientos, grietas, tuberías, etc. Añadiendo dispersiones de materias sintéticas, pueden emplearse como masa rociadora para la creación de una capa aislante con centrifugadoras corrientes, proyectores de enlucido o tubos pulverizadores. Según el tamaño de las partículas pre-espumadas, pueden producirse áridos recubiertos clasificados en su tamaño granulométrico de 2 a 7 mm. Así es posible una distribución de los granos de acuerdo con un determinado diagrama de cribado. Reforzando la película de conglomerante, es posible aumentar la resistencia a la compresión de los gránulos sueltos.

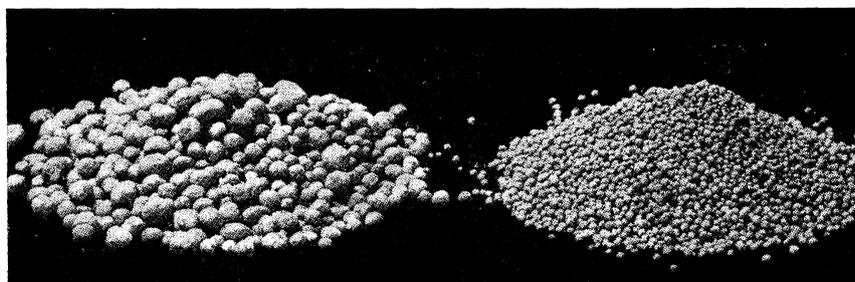


Fig. 7.—Partículas de material esponjoso de Styropor de diferente tamaño de granulación y recubiertas de una película de conglomerante.

## 5.2. Composición de la mezcla y elaboración.

Las propiedades de este hormigón ligero en cuanto a la resistencia a la compresión, y a la flexotracción, así como a la capacidad de aislamiento térmico, se rigen en gran parte por la forma de elaborarlo y dependen, entre otros, de la densidad a granel, del tamaño de los gránulos de Styropor y del tipo de conglomerante o, eventualmente, también de otros aditivos. Teniendo en cuenta estos conocimientos, la preparación de una mezcla fluida de hormigón ligero de Styropor se realiza del siguiente modo:

La granalla de material esponjoso de Styropor se introduce en una mezcladora rápida y se rocía con el adhesivo que ya fue mezclado a una parte del agua de amasado (fig. 8). La cantidad de esta mezcla que se adhiere a  $1 \text{ m}^3$  de Styropor es de aprox. 40 l y se compone, como ya se ha mencionado, de 1 kg de adhesivo y de aprox. 40 l de agua [fig. 8b]. Si después de un breve mezclado se ha hecho pegajosa la superficie de las partículas, se realiza la adición de un poco de cemento y se recubren las partículas de material esponjoso con una fina película de conglomerante. A continuación se añade la cantidad que resta de cemento, aditivos finos (por ejemplo harina de cuarzo) y agua, y se vierte la mezcla en moldes o bien se la prepara en obra [fig. 8c)].

El cemento ha de repartirse uniformemente al mezclarlo con los áridos, y alcanzar un elevado poder conglomerante de acuerdo con su proporción en peso. Los cementos más apropiados son, por lo tanto, las clases finamente molidas (Z 475 y Z 375).

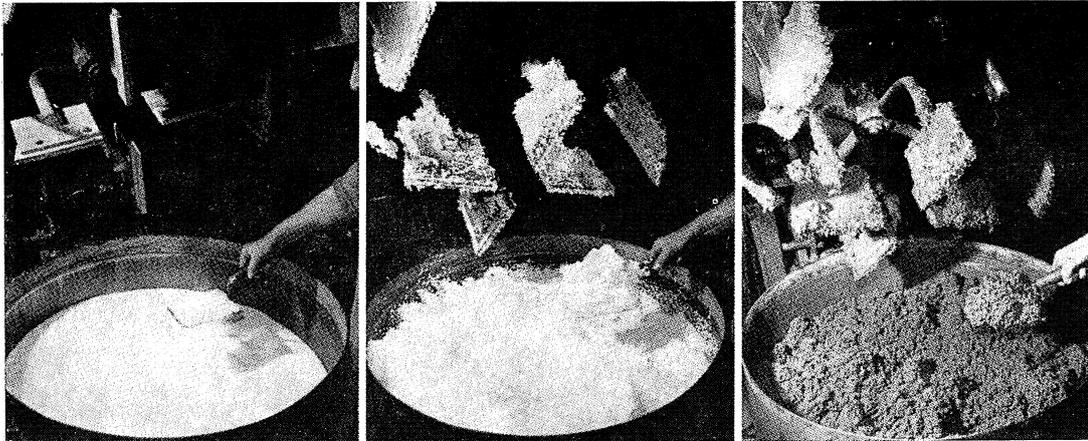


Fig. 8.—Preparación de la mezcla.

- a) Perlas de Styropor pre-espumadas en el tambor de mezcla.
- b) Mezclado de las sustancias adhesivas (la superficie de las partículas se hace pegajosa).
- c) Adición del conglomerante y los áridos. La mezcla está preparada.

En mezclas con una densidad por debajo de  $0,6 \text{ kg/dm}^3$  puede prescindirse de áridos tales como arena, gravilla, etc., pues éstos aumentan el peso específico pero no la resistencia. En esta zona baja del peso específico no es necesario diluir el conglomerante mediante aditivos, porque la pasta de cemento está tan finamente repartida, que con un correcto tratamiento posterior no se producen fisuraciones por retracción o causas similares. Los áridos de grano grueso (por ejemplo arena) crean una disminución de la resistencia, ya que durante el proceso de mezclado la película de conglomerante se desprende de la superficie de las partículas. Una dilución del conglomerante, únicamente puede realizarse, sin pérdida de resistencia, con aditivos finamente molidos, tales como harina fina, polvo de cuarzo, polvo de piedra, trass, etc. (tabla 1).

T A B L A 1  
*Cantidad de aditivos finos admisibles en función de la densidad.*

Densidad del hormigón ligero	( $\text{kg/dm}^3$ )	=	0,4	0,5	0,6	0,7
Cemento	Peso (%)		95	90	80	65
Aditivos	Peso (%)		5	10	20	35

Con mezclas de peso específico superior a  $0,8 \text{ kg/dm}^3$ , tanto la distribución granulométrica de los áridos como la cantidad de los conglomerantes necesarios pueden ajustarse paulatinamente a las normas generales de la fabricación del hormigón. La relación de agua/cemento tiene aquí también una importancia decisiva. En contraposición a los áridos empleados frecuentemente, las partículas de Styropor pre-espumadas no admiten ningún agua del amasado como consecuencia de su estructura de celdillas cerradas; por lo tanto, el agua de amasado no ha de cubrir más que las necesidades de agua precisas para el fra-

guado del cemento y para dar plasticidad a la mezcla. Con una relación agua/cemento de 0,3-0,4, en mezclas con peso específico de hasta  $0,8 \text{ kg/dm}^3$  ya se consiguen consistencias de tierra húmeda hasta plástica.

Han de hacerse algunas indicaciones para la compactación, pues las mezclas de hormigón ligero de Styropor se diferencian esencialmente en su moldeabilidad del hormigón original. Por los ensayos se vio que la compactación de mezclas del tipo, como es corriente en fábricas de hormigón, no aumenta la resistencia. Este comportamiento tiene también un aspecto económico.

Al compararlo con el hormigón ligero normal (el cual, por ejemplo, se compacta para conseguir una resistencia óptima mediante vibrado, apisonado, prensado, etc.), el volumen del hormigón fresco es, en este caso, igual al volumen de un relleno compacto, es decir, no hay que tener en cuenta ningún grado de compactación.

Hay otra propiedad del hormigón ligero de Styropor que repercute ventajosamente en la práctica: del calor que se produce en la hidratación del cemento, las partículas de Styropor admiten muy poco por su poca masa y el resto es mucho mayor que con otros áridos ligeros de mayor capacidad térmica (fig. 9). El calor contribuye, en su mayor parte, al fraguado del cemento. Además de esto, la reducida conductibilidad térmica de las partículas de material esponjoso obstaculiza el paso del calor hacia el exterior, o sea, que el calor de la hidratación se retiene mejor en el hormigón ligero de Styropor. Sobra, por consiguiente, el endurecimiento rápido por calor (endurecimiento por vapor) corriente o necesario en algunos métodos de fabricación.

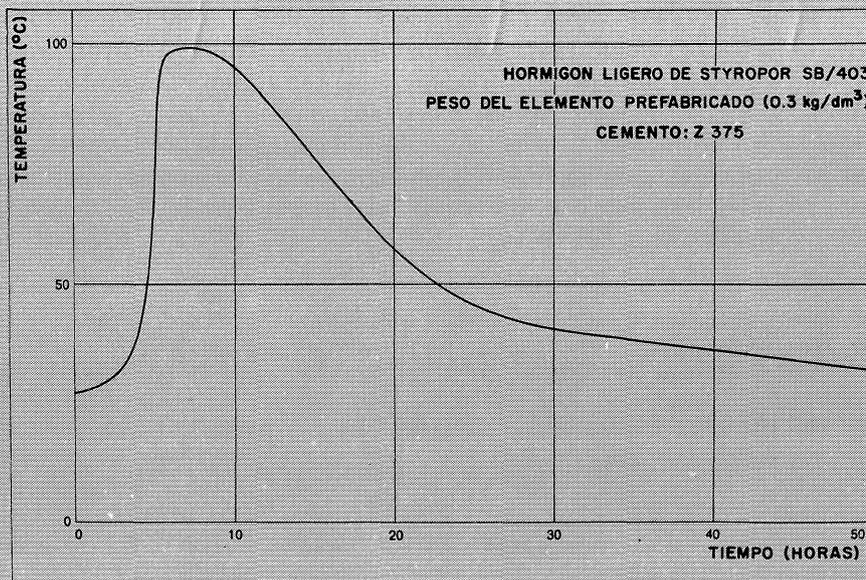


Fig. 9.—Curva de la temperatura durante el fraguado, medida en un bloque cilíndrico de 80 cm  $\varnothing$ .

### 5.3. Cálculo de la mezcla.

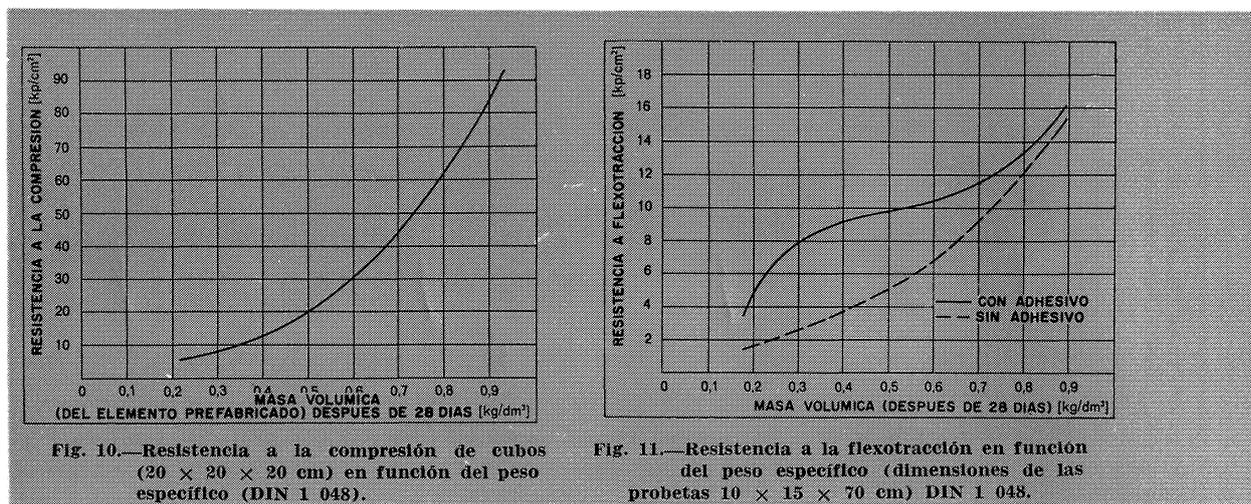
La densidad aparente final del hormigón ligero de Styropor viene determinada, esencialmente, por la cantidad de cemento, de aditivo y de agua. Para el cálculo de la densidad

no es solamente decisiva la cantidad de agua de hidratación, sino también el agua sobrante. La proporción de Styropor por  $m^3$ , en densidades por debajo de  $0,8 \text{ kg/dm}^3$ , es aproximadamente de 1-2 % en peso o 60-80 % en volumen; por lo tanto, es conveniente no indicar la proporción de material esponjoso en peso, sino de volumen.

Con un relleno como es el aire seco de  $1 \text{ m}^3$  de partículas de material esponjoso, de acuerdo con el peso específico que se busca, se indican como partes en peso las cantidades necesarias de cemento, arena fina y agua.

La experiencia ha demostrado que el volumen de un relleno suelto de partículas de material esponjoso, a consecuencia de su poco peso o de carga estática, es aprox. 5-10 % mayor que el de un relleno compacto. Este volumen aparente ha de ser tenido en cuenta al hacer el cálculo; o sea, un depósito compacto de  $1 \text{ m}^3$  necesita un volumen de relleno de  $1,05-1,10 \text{ m}^3$ .

Para calcular un preparado de  $1 \text{ m}^3$  de hormigón ligero de Styropor con una densidad final de  $0,5 \text{ kg/m}^3$ , por ejemplo, hay que tener en cuenta lo siguiente:



A  $1 \text{ m}^3$  de partículas de material esponjoso con la densidad de relleno de  $12 \text{ kg/m}^3$ , corresponden una cantidad total de 488 kg de cemento, árido de grano fino y agua de amasado con una densidad global de  $0,5 \text{ kg/dm}^3$ .

Con una composición del mortero (según tabla 1) de

90 partes en peso de cemento	= 66,2 % de peso,
10 partes en peso de árido de grano fino < 0,6 mm	= 7,4 % de peso,
36 partes en peso de agua de amasado	= 26,4 % de peso,
<hr/>	
= 122,5 partes en peso	= 100 % de peso,

se obtienen las cantidades necesarias de cada adición:

323 kg de cemento,
36 kg de grano fino,
129 kg de agua de amasado,
<hr/>
= 488 kg de peso total.

El volumen de relleno de la mezcla de hormigón ligero es entonces de aprox. 1,10 m<sup>3</sup>, lo que con un compactado mínimo admisible (por compresión) de aprox. 10 % produce un volumen final de la mezcla endurecida (explotación) de 1,0 m<sup>3</sup>.

Según el mismo procedimiento de cálculo, para una densidad final de 0,5 kg/dm<sup>3</sup> con relación agua/cemento = 0,5, con una proporción de mezcla de

80 partes en peso de cemento,  
20 partes en peso de arena,  
40 partes en peso de agua de amasado,

se obtienen las proporciones necesarias de:

366,0 kg de cemento,  
84,0 kg de arena,  
186,0 kg de agua de amasado.

El volumen de relleno es aquí de aprox. 1,1 m<sup>3</sup> y el volumen final óptimamente compactado (explotación de la mezcla) es 1 m<sup>3</sup>.

T A B L A 2  
*Composición de la mezcla de hormigón ligero de Styropor.*

Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Styropor (kg/m <sup>3</sup> aprox.)	Cemento (kg/m <sup>3</sup> )	Aditivo (kg/m <sup>3</sup> )	Agua (kg/m <sup>3</sup> )	Relación agua/ /cemento	Relación de mezcla cemento: aditivo	Tamaño de grano del aditivo
200	12	134	—	54	0,4	—	Sin
300		206	—	82		—	
400		267	14	107		95 : 5	Fino como polvo < 0,6 mm
500		323	36	129		90 : 10	
600		356	89	143	80 : 20		
700		338	181	169	0,5	65 : 35	De 0,6 hasta 3,0 mm
800	315	319	158	50 : 50			

(Continuará)