

hormigón ligero de Styropor

(continuación)

FRIEDER HOHWILLER y KLAUS KÖHLING

Ingenieros de Construcción

Betonstein-Zeitung, nº 3, marzo 1968, págs. 132-137

6 PROPIEDADES

Resistencia a compresión y a flexotracción

La resistencia mecánica, depende, en primer lugar, de la densidad global y, por consiguiente, de la cantidad y la relación de los áridos pesados y del conglomerante. La resistencia a compresión en función del espesor en crudo se determinó según DIN 1 048 en cubos de 20 cm de lado. La resistencia a flexotracción se midió, siguiendo la misma norma, en prismas de 70 × 15 × 10 cm. La figura 11 demuestra que la influencia del activador es especialmente positiva, sobre todo en la resistencia a flexotracción.

Módulo de elasticidad

El módulo E caracteriza la relación tensión-deformación de un material. Con una densidad global de 0,75 kg/dm³ se midió un módulo estático con $E = 20.000$ kp/cm². El módulo dinámico (importante en la construcción de carreteras y ferrocarriles) es:

- para densidad de 0,45 kg/dm³ 7.700 kp/cm²;
- para densidad de 0,60 kg/dm³ 11.000 kp/cm²;
- para densidad de 0,80 kg/dm³ 29.000 kp/cm².

Retracción

Un material de construcción con poros —un hormigón ligero— tiene naturalmente una retracción mayor que el hormigón pesado. Las determinaciones disponibles hasta ahora para el hormigón ligero de Styropor (según DIN 1 164) señalan que los valores son del mismo orden que los que se miden en hormigones de gas o de espuma muy ligeros. Las determinaciones demuestran que en un material con una densidad global comprendida entre 0,3 y 0,7 kg/dm³ se produce una retracción de 1,0-2,0 mm/m. Hasta ahora, en la práctica, no se notaron efectos desfavorables en elementos de gran superficie, y en una capa de hormigón ligero de Styropor, con un espesor de 10 cm introducida en la construcción de carreteras como capa protectora contra heladas, no pudieron observarse grietas. Sin embargo, hay que esperar a los resultados de las series de ensayos ya iniciadas para poder establecer principios para la construcción.

Dilatación térmica

Las mediciones del coeficiente de dilatación lineal en muestras con un peso específico aparente de 0,5 hasta 0,6 kg/dm³ se efectuaron en un margen de temperaturas comprendido entre 0° y 80°C, por medio de un dilatómetro Leitz, en probetas de 50 × 10 × 10 mm. En temperaturas comprendidas entre 0° y 20°C, el desarrollo lineal de la dilatación corresponde aproximadamente al vapor de dilatación térmica de hormigón pesado (10 × 10⁻⁶). Entre 20° y 40°C, la dilatación térmica disminuye y sigue reduciéndose en el margen de 40°-80°C ($\beta = 6 \times 10^{-6}$ a $1,3 \times 10^{-6}$). El cambio del volumen total debido a la dilatación térmica es menor que el del hormigón pesado.

Coefficiente de conductibilidad calorífica

La reducida conductibilidad calorífica del hormigón ligero de Styropor se debe principalmente a las partículas de células cerradas (el volumen de estas partículas es aproximadamente un 60 % de la masa endurecida). En la figura 12 se muestra el coeficiente de conductibilidad calorífica en función del peso específico. El coeficiente de conductibilidad calorífica, depende, además del peso específico, del contenido de humedad del material de construcción o, mejor dicho, del elemento constructivo. Como en DIN 4 108 (protección calorífica en la edificación) no hay indicaciones para el hormigón ligero de Styropor en cuanto al cálculo del coeficiente de conductibilidad calorífica; el valor práctico se averigua por el valor de la medición (DIN 52 612, hoja 1) y el del árido (DIN 52 612, hoja 2). Una vez determinado el coeficiente de conductibilidad calorífica por los institutos encargados de realizar el ensayo, se determina el árido correspondiente a fracción volumétrica de las partículas de Styropor en relación a la masa de hormigón (DIN 52 612, hoja 2, línea 3, o sea, 11). Según el peso específico (0,3-0,8 kg/dm³), el árido en el hormigón de Styropor es un 16,0-26,0 % del valor medido.

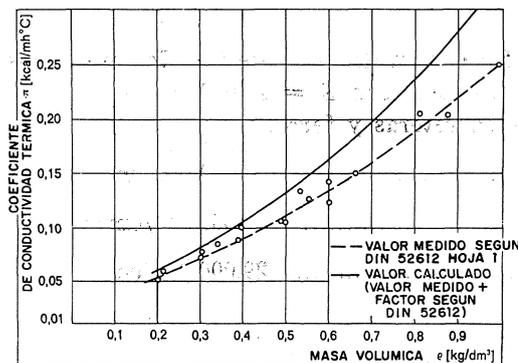


Fig. 12.—Coeficiente de conductibilidad térmica en función de la masa volumétrica.



Fig. 13.—Construcción de elementos prefabricados: Construcción de un elemento de muro exterior.

Espesor de difusión

El valor de la permeabilidad al vapor de agua puede indicar el comportamiento de un material de construcción frente a estados de temperatura y humedad definidos, resultando necesario para el cálculo de la condensación en una determinada sección de mu-

ro. El ensayo del espesor de difusión de muestras de 19 cm \varnothing y un espesor de 5 cm realizado en el Institut für Technische Physik, Stuttgart, dio los siguientes valores medios:

a) *peso específico* 0,630 kg/dm³

- resistencia de penetración al vapor de agua $1/\Lambda_D = 95 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Torr/g}$
- valor de permeabilidad al vapor de agua $\Lambda_D = 0,01 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Torr}$
- factor de resistencia de difusión $\mu = 190$

b) *peso específico* 0,475 kg/dm³

- resistencia de permeabilidad al vapor de agua $1/\Lambda_D = 41 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Torr/g}$
- valor de permeabilidad al vapor de agua $\Lambda_D = 0,025 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Torr}$
- factor de resistencia de difusión $\mu = 82.$

Influencia de humedad

En el hormigón ligero resulta interesante la influencia de la absorción de humedad con respecto al empeoramiento de sus propiedades de retención del calor. Son decisivos para la absorción de agua en el hormigón ligero de Styropor:

- 1) la estructura del esqueleto de hormigón, lo que depende del peso específico (con un peso específico $< 0,6 \text{ kg/m}^3 =$ poros entre los granos del árido);
- 2) la porosidad del propio grano del árido de Styropor (células cerradas = prácticamente ninguna recepción de agua).

Como se desprende de los valores medios que figuran a continuación, la absorción de humedad aumenta con pesos específicos menores, lo que se debe a la porosidad entre los granos del árido del material con pesos específicos inferiores a 0,6 kg/dm³.

Peso específico (kg/dm ³)	Absorción de agua a los 28 días	
	(peso %)	(volumen %)
0,36	49,8	17,8
0,55	26,4	14,1
0,65	21,3	14,2

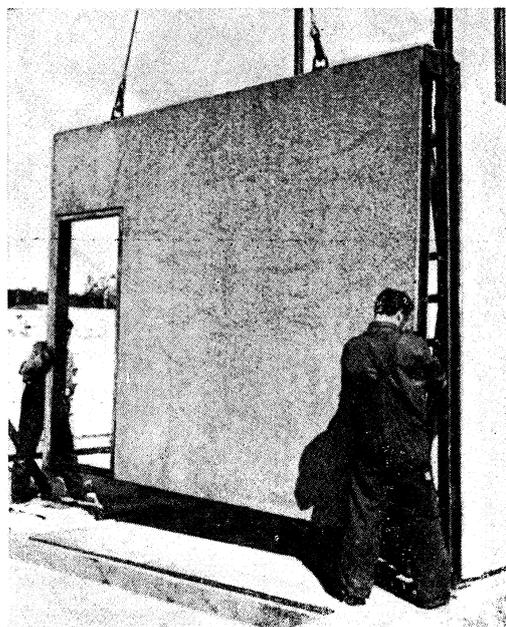


Fig. 14.—Montaje de los elementos de muro en obra.

Como los elementos de construcción en la práctica están expuestos a la humedad del aire con mucha frecuencia se midió la absorción de humedad en muestras con diferente peso específico por conservación en un ambiente con humedad relativa de un 65 % y 20°C.

A las 7 semanas, en general, concluye la absorción de humedad. Los valores eran:

- peso específico 0,30 kg/dm³ 7,3 peso % ;
- peso específico 0,55 kg/dm³ 2,1 peso % ;
- peso específico 0,65 kg/dm³ 3,5 peso % .

No se han concluido todavía los ensayos que den información sobre la influencia de la humedad en el valor del coeficiente de conductibilidad calorífica.

Resistencia a la helada

Los ensayos realizados en la Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) en Berlín dieron como resultado que después de 25 cambios de temperatura entre -15° y $+15^{\circ}$ C (descongelación en agua) las muestras tienen la misma resistencia a flexotracción que las probetas almacenadas en agua.

Comportamiento frente al fuego

En cuanto a la valoración técnica de protección contra incendios de estos elementos de hormigón ligero de Styropor hay que tener en cuenta en relación con este material:

- 1) que como material de construcción es preciso dosificarlo según las normas adicionales a la DIN 4102 "Comportamiento en caso de incendio de materiales y elementos de construcción";
- 2) que hay que dar indicaciones sobre la resistencia al fuego de los elementos de construcción fabricados con este material;
- 3) hay que tener en cuenta además, que el hormigón ligero de Styropor puede emplearse como revestimiento protector contra incendios de elementos de construcción insuficientemente resistentes y como recubrimiento de paredes y techos.

El ensayo de difícil inflamabilidad según las "normas adicionales" a DIN 4 102 se realizó en placas de hormigón ligero de Styropor con un peso específico de 0,5-0,6 kg/dm³. De los ensayos llevados a cabo en la Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) Berlín, resultó que este material de construcción cumple las condiciones de materiales de construcción difícilmente inflamables (clase B 1 de materiales de construcción).

Para el reconocimiento legal sobre aplicación de elementos constructivos de hormigón ligero de Styropor como material difícilmente inflamable es necesario que el fabricante obtenga como marca de calidad del PA III (Prüfausschuss für schwerentflammbare Stoffe im Bauwesen beim Länder-Sachverständigenausschuss für neue Baustoffe und Bauarten).

Con el fin de averiguar el peso específico de revestimientos de tubos de acero o de soportes de acero pertenecientes a diferentes clases de resistencia al fuego se hicieron los correspondientes ensayos en la BAM, Berlín. Como material de ensayo se utilizaron 3 muestras compuestas de placas de acero de 500 × 500 × 5 mm y un revestimiento de hormigón ligero de Styropor (peso específico, 0,5/0,6 kg/dm³) con diferente espesor.

De los resultados de estos ensayos es de esperar que los soportes de acero revestidos con hormigón ligero de Styropor en un espesor del material de revestimiento que oscile de 20 a 30 mm y ensayados según la norma DIN 4 102, hoja 2, cumplan las exigencias necesarias para elementos constructivos en la clase de resistencia al fuego F 30 o F 60.

7 ENSAYOS EN LA PRACTICA

En los pasados años el hormigón ligero de Styropor se empleó experimentalmente y, por tanto, de una forma limitada. Solamente desde hace relativamente poco tiempo resulta económico su empleo en la práctica.

Como complemento de los ensayos y medidas realizados en el laboratorio se llevaron a cabo, en colaboración con diferentes empresas e institutos, ensayos experimentales en la práctica para buscar información sobre las posibilidades de elaboración y el buen resultado de estos materiales.

Todavía no se han terminado estos ensayos. Sólo se dará un informe sobre los ensayos que se están realizando actualmente.

Los ensayos que se llevan a cabo en los diferentes sectores de la construcción comprenden las edificaciones y las obras en general.

La construcción de elementos prefabricados

Con hormigón ligero de Styropor (peso específico, 0,5-0,6 kg/dm³) se fabricaron elementos de pared que pueden emplearse como muros exteriores o como tabiques de separación en la construcción de casas prefabricadas (fig. 15). Los elementos, en este caso, se colocan como elementos constructivos de pared en compartimientos y resistentes al calor según un sistema de retícula con soportes de acero. Por solape de las juntas de separación se establecen puentes de frío. Las ventanas y los marcos de puerta metálicos pueden hormigonarse simultáneamente. Como enlucido exterior resulta aconsejable un enlucido de dispersión (a base de propionato de polivinilo). Pero la fachada también puede hacerse, según las necesidades, de hormigón lavable, clínker, etc. Con una capa exterior relativamente resistente a la evaporación hay que tener en cuenta la condensación de vapor de agua en la sección transversal de la pared. Gracias al peso relativamente bajo puede transportarse gran número de elementos al lugar de obra.

Para el empleo como elementos constructivos resistentes hay que solicitar permiso de la policía de seguridad de la construcción, presentando los correspondientes certificados de ensayo.

Cuerpos laminares para techos

En cuerpos laminares de techo de diferente forma se efectuaron tanto mediciones de la capacidad de carga como ensayos de la trabajabilidad práctica respecto a economía de costo de materiales y de mano de obra.

A continuación se describen como ejemplos dos interesantes sistemas (figs. 17 y 20).

Techo mixto de hormigón ligero de Styropor

Es característico de esta construcción una placa de hormigón situada encima del eje cero de la sección de mezcla. La placa recibe las tensiones de compresión y el acero de la armadura recibe las tensiones de tracción (fig 17). Como el eje cero se encuentra dentro

de la placa de compresión de hormigón la sección transversal total puede considerarse como una sección de hormigón armado normal, teniendo en cuenta que hay que comprobar la unión resistente al esfuerzo cortante entre la placa de compresión, el cuerpo de techo y el anclaje de la armadura de tracción. Al aumentar el peso específico en los alrededores de la armadura de tracción (aprox. $0,8 \text{ kg/dm}^3$) se garantiza una protección suficiente contra la corrosión.

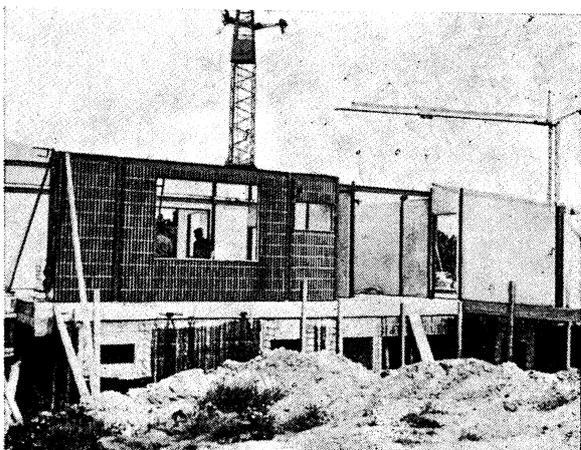


Fig. 15.—Construcción de una casa con elementos nulares prefabricados con hormigón ligero de Styropor: Los ladrillos se han situado en los moldes, en el momento de fabricar los elementos.

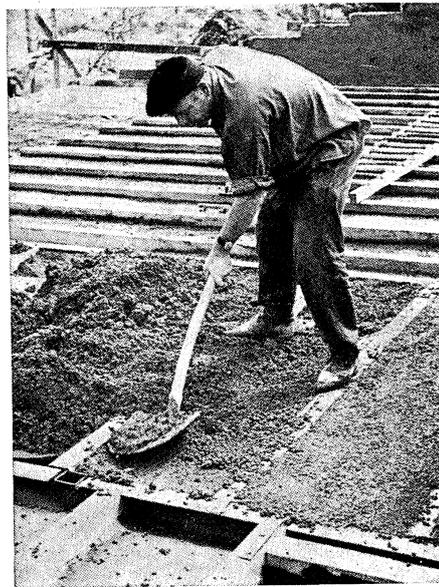


Fig. 16.—Relleno de los huecos entre las viguetas del techo.

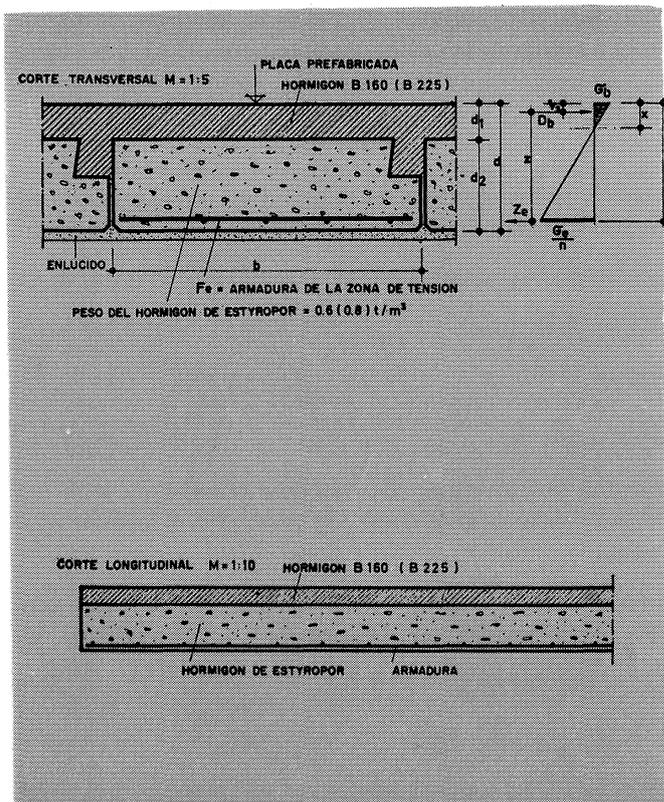


Fig. 17.—Techo de elementos prefabricados con hormigón de Styropor:

E_b = Módulo de elasticidad del hormigón.

E_e = Módulo de elasticidad de la armadura de acero.

$n = E_c / E_b$.

b = Longitud de las placas.

d = Espesor de las placas.

d_1 = Espesor de las placas de compresión.

d_2 = Espesor del hormigón de Styropor.

h_2 = Altura estática útil de la placa.

x = Desviación de la fibra neutra con relación al borde de compresión $< d_1$.

z = Brazo de nivel de las fuerzas internas.

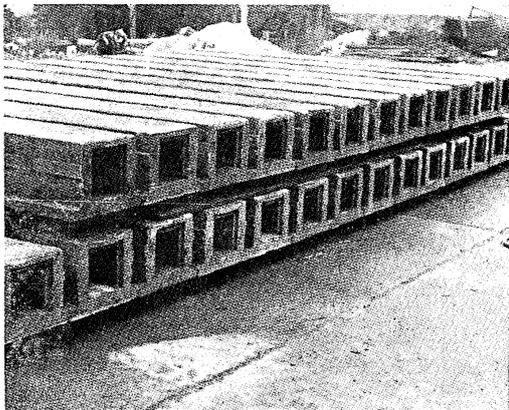


Fig. 18.—Elementos de aislamiento acústico de techo en hormigón ligero de Styropor (densidad aparente, 0,6 kg/m³).



Fig. 19.—Transporte de elementos de aislamiento acústico de techos.

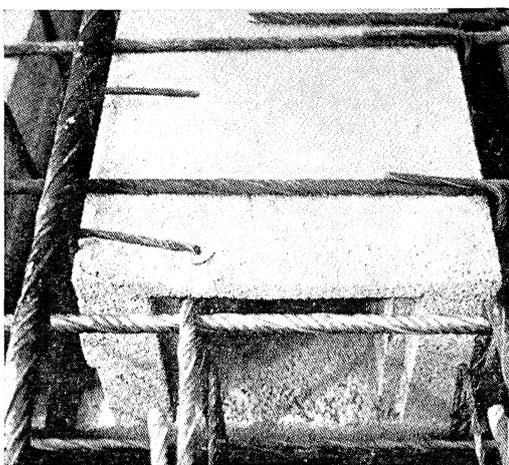


Fig. 20.—Colocación de elementos de aislamiento acústico para techos en hormigón ligero de Styropor.

Elementos de encofrado como encofrado perdido

La construcción de techos se caracteriza por el hecho de que los elementos de encofrado montados en voladizo pueden recibir la carga al hormigonar el techo (figs. 18 y 20). El sistema tiene las siguientes ventajas:

Para el encofrado de un techo nervado solamente hacen falta apoyos en los nervios transversales. Se suprime el desencofrado. La carga adicional es reducida por el pequeño peso de los elementos de encofrado. Los elementos de encofrado pueden colocarse por simple elevación (fig. 19). La parte inferior puede enlucirse directamente. Se reduce el tiempo de construcción, ya que los elementos de encofrado se prefabrican en la fábrica de hormigón. Además tienen la ventaja de un aislamiento del calor favorable (fig. 18). Puede hormigonarse también con tiempo frío, porque el hormigón, dado el aislamiento del calor del hormigón ligero de Styropor, emite poco calor propio.

Construcción de establos

En la construcción de establos es importante la suficiente protección del calor. Por eso parecía indicado ensayar la aplicación del hormigón ligero como suelo aislante de calor en cuadras.

Con el fin de lograr los valores de resistencia necesarios, el material (peso específico aproximado 0,65 kg/dm³) se colocó en establos para vacas y cochiqueras para cerdos; en parte, como hormigón in situ y, en parte, como placas prefabricadas. Como capa de superficie se emplearon capas sintéticas especiales o las capas tradicionales para los suelos de estos establecimientos.

Protección contra heladas y capa portante en la construcción de carreteras y de vías ferroviarias

En colaboración con el Instituto para la Construcción de Carreteras y Ferrocarriles de la Escuela Técnica Superior de Múnich, con el Bundesbahnzentralamt de Minden (Wesfalia)

y con diversos Institutos de obras viales y empresas constructoras de carreteras, se construyeron una serie de carreteras y ferrocarriles experimentales con hormigón ligero de Styropor como protección contra la helada y como capa portante. La finalidad de estos ensayos es completar las investigaciones realizadas hasta ahora sobre el empleo de materiales aislantes (sobre todo materiales sintéticos de espuma) como capa protectora contra la helada en la capa portante de carreteras y ferrocarriles (fig. 21). Interesaba estudiar, sobre todo, los métodos de colocación y adquirir experiencias en cuanto al comportamiento a largo plazo de estas nuevas construcciones. Como estos tramos experimentales se construyeron en 1967, aparte de algunas medidas de orientación, todavía no se disponen de resultados en cuanto al comportamiento durante el período invernal.

Además se examina el comportamiento con heladas (formación de escarcha o aguanieve, transición de temperatura, etc.) y el comportamiento de las capas de cobertura con temperaturas estivales (carga, hundimiento, etc.). Con arreglo a las experiencias hechas hasta ahora, con pesos específicos de 0,4 a 0,55 kg/dm³ se consiguen valores de resistencias que indican que aprox. 1 cm de la capa de sustentación corriente puede sustituirse por 2 cm de hormigón ligero de Styropor. Según esto, empleando este material en un espesor de 10-20 cm, no sólo se puede prescindir de toda la infraestructura para las heladas corrientes, sino que también puede reducirse notablemente el espesor de la capa de sustentación (por ejemplo, la capa de grava bituminosa).

Las ventajas de una ejecución semejante consisten, por lo tanto, en el ahorro de una gran parte del lecho de grava en las carreteras, en la eliminación de la protección normal contra heladas (por ejemplo, la grava gruesa), en la forma racional de elaborar la capa ligera de Styropor (con las máquinas existentes para la construcción de carreteras), en la disminución del espesor necesario de la capa de sustentación y en la adaptación de la capa antihielo a las irregularidades del terreno.

En contraposición al hormigón pesado, para el transporte al lugar de la obra no se necesitan vehículos especiales (fig. 22). Hasta el comienzo del proceso de fraguado (aprox. 1-2 horas) puede llevarse la mezcla sobre la superficie de carga de un camión, sin que se produzca una disgregación o una pérdida de conglomerante.

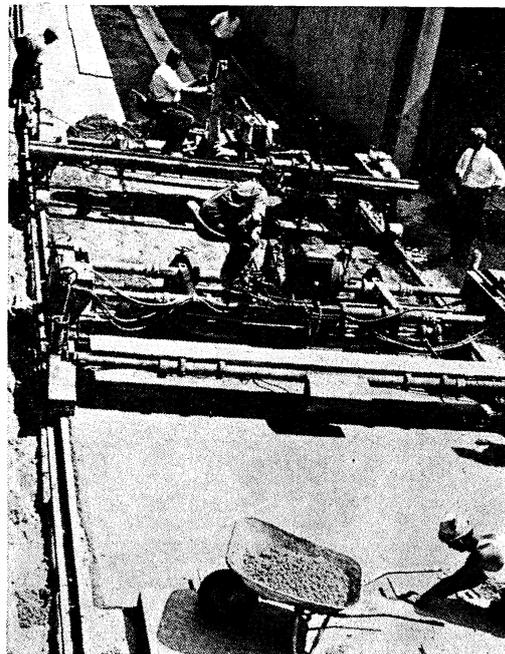


Fig. 21.—Construcción de carreteras. Colocación del hormigón ligero de Styropor.



Fig. 22.—Construcción de carreteras: Hormigón ligero de Styropor transportado por camión desde el lugar de mezclas situado a unos 15 km aproximadamente.

El ensayo se efectuó en tramos con capa de rodadura bituminosa, pero también puede hacerse con placas de hormigón pretensado prefabricadas. Pudo comprobarse que es suficiente la resistencia de la capa de hormigón ligero de Styropor para permitir, después de 1 día, la circulación con camiones y, después de 5 a 6 días, la circulación con todos los vehículos de la obra, de manera que la colocación de las capas siguientes puede efectuarse con arreglo a los métodos normales sin tener que proceder a ningún cambio. Ingredientes bituminosos calientes (por ejemplo, grava bituminosa) puede aplicarse directamente sobre el hormigón ligero de Styropor sin ninguna capa intermedia; las bolitas de Styropor se funden hasta una profundidad de 3 a 5 mm; como consecuencia se produce una combinación mecánica (fig. 23).

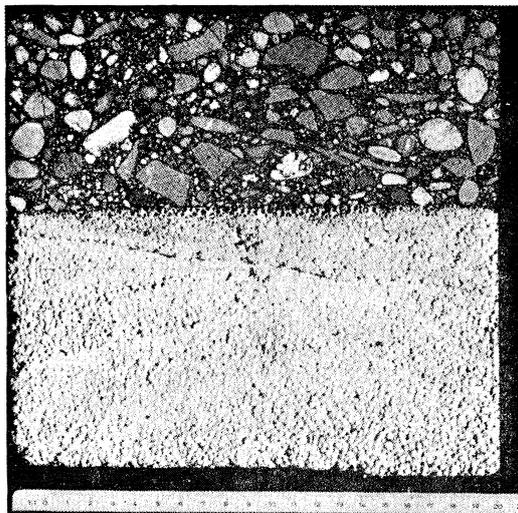


Fig. 23.—Construcción de carreteras: Corte de la capa de hormigón bituminoso y de la capa de hormigón ligero de Styropor.

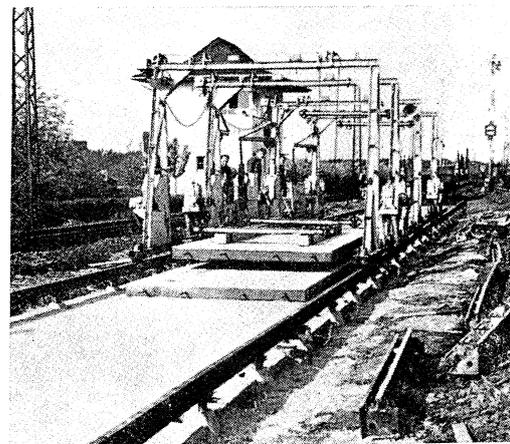


Fig. 25.—Colocación de las placas de hormigón pretensado para la consolidación de la vía sobre el hormigón ligero de Styropor. (fig. 24).

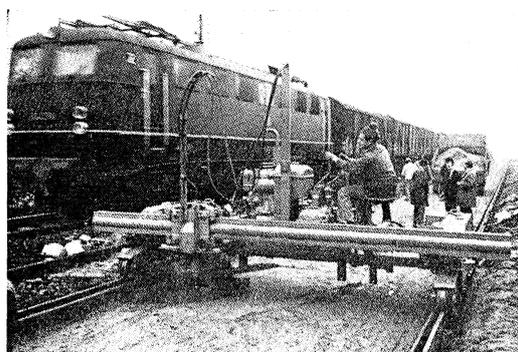


Fig. 24.—Construcción de una vía de ensayo rápida de los Ferrocarriles Federales Alemanes en hormigón ligero de Styropor, empleado como capa portante y antihielo.



Fig. 26.—Elementos de antepecho de ventanas.

De forma parecida a la de la construcción de carreteras se trabajó también en la construcción de un tramo ferroviario de ensayo. Como quiera que este tramo de ensayo es recorrido por trenes con una velocidad de hasta 300 km/h, la estructura es totalmente distinta a la superestructura normal de las líneas (fig. 24). Las placas prefabricadas de hormigón pretensado destinadas al apoyo y fijación de los carriles (una construcción exenta de traviesas y balasto) se colocaron sobre una capa de hormigón ligero de Styropor de 15 cm de espesor (peso específico 0,45 kg/dm³) y, a continuación, se las inyecta mortero de cemento (fig. 25).

Las posibilidades de aplicación descritas de un hormigón ligero semejante se hallan en estado de ensayo práctico. Las actuales observaciones permiten un dictamen absolutamente favorable. Se han iniciado otros ensayos prácticos. Para algunos campos de aplicación, por ejemplo, construcción de carreteras y de ferrocarriles, es indudable que haya que proceder a análisis amplios antes de que pueda recomendarse una aplicación general.

FE DE ERRATAS

En la primera parte de este artículo, publicada en el n.º 136 de esta Revista, aparecen dos erratas surgidas en el texto original:

<u>Pág.</u>	<u>Línea</u>	<u>Dice</u>	<u>Debe decir</u>
69	— 6	= 122,5 partes en peso	= 136 partes en peso
70	+ 12	186,0 kg de agua de amasado	168,0 kg de agua de amasado