

HORMIGON LIGERO ESTRUCTURAL

Por RAMON DEL CUVILLO JIMENEZ

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

El autor intenta en este artículo dar una visión general de las propiedades y empleo de los hormigones de árido ligero, de creciente uso en numerosos países del mundo, y que puede llegar a ser una solución enormemente interesante como material de construcción.

Antes de intentar dar una idea del denominado hormigón ligero estructural u hormigón de árido ligero, pasamos una breve revista a los hormigones ligeros. La dificultad de establecer un límite a lo que es estructural la obviamos limitándonos al tipo de áridos, sin entrar en otras clases de hormigones ligeros, tales como los celulares —armados o pretensados— que tienen hoy día enorme importancia como elementos resistentes.

Hormigones ligeros.

Bajo la denominación de "hormigones ligeros", se incluye una extensísima familia de productos cuya característica fundamental es la de poseer una densidad más baja —en porcentaje alto— que el hormigón de árido normal u hormigón ordinario (densidad aproximada 2.2).

La densidad de los hormigones ligeros puede oscilar de 0,3 a 2. El nombre se ha generalizado de forma tal, que se aplica, no sólo a simples morteros, sino incluso, a mezclas que no usan cemento.

La disminución de densidad se consigue, como es natural, sustituyendo material por aire, por lo que podemos clasificar los hormigones ligeros según el contenido y la forma en que dicho aire (o vacíos) se encuentre en el hormigón:

a) Hormigones fuertemente aireados.

Los vacíos se distribuyen uniformemente en toda la masa del "mortero", presentando una estructura homogénea. La densidad mínima es del orden de 0,3. Los procedimientos de fabricación —de tipo industrial— son muy variados,

reciben el nombre genérico de "hormigón celular" y se denominan, normalmente, por un nombre comercial, tales como Aerocrete, Durrox, Siporex, Ytong, etc.

b) Hormigones de aire externo.

Se le conoce con el nombre de "hormigón sin finos o cavernoso". Los áridos —árido grueso generalmente de 10 a 20 mm.— se tocan en puntos dejando grandes poros. Está formado por este árido grueso y mortero de cemento y agua. Con árido normal, la densidad oscila de 1,6 a 1,9. Si se utiliza árido ligero varía normalmente de 0,7 a 1,3.

c) Hormigones de áridos ligeros.

El aire se encuentra en gran proporción en el interior del árido. La mezcla puede ser abierta (con vacíos en la masa total) denominado hormigón ligero granular, o cerrada (de gran interés resistente) que denominamos hormigón ligero ordinario.

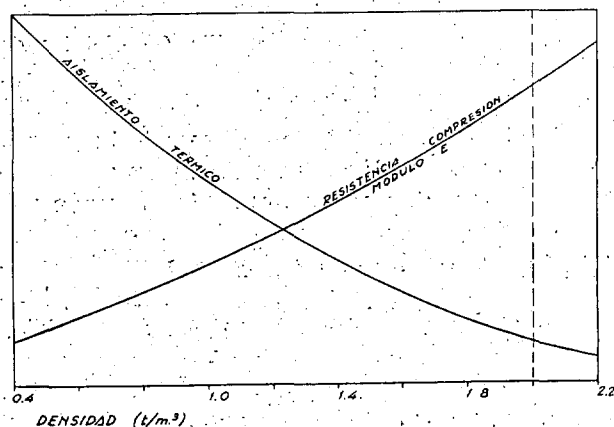


Figura 1.

Desde el punto de vista estructural tiene más interés una clasificación en cuanto a resistencias. Una idea de la relación densidad-resistencia-aislamiento térmico se indica en la figura 1.

En líneas generales, podemos decir que los hormigones menos densos presentan grandes propiedades aislantes y escasa resistencia.

El mayor interés desde el punto de vista resistente, lo presentan los hormigones de árido ligero —de mezcla cerrada y densidad que puede oscilar de 1,4 a 2— y en algunos aspectos también los celulares, que no nos vamos a ocupar aquí.

Aridos ligeros.

La preocupación de obtener áridos ligeros para hormigones resistentes es cosa antigua. En U. S. A. la producción comercial de escorias dilatadas comenzó en 1928 y, aun antes de 1917, Hayde puso a punto un proceso de fa-

trial comienza a partir del año 50 en U. S. A. y en la última década, en otros países como U. R. S. S., Reino Unido, Canadá, y otros, con menor intensidad.

Los áridos ligeros pueden clasificarse en:

- *Naturales*: Puzolana, de origen volcánico y pómez, lava volcánica muy celular y ligera a base de sílice.
- *Subproductos industriales*: Escoria de carbón y escoria granulada de alto horno.
- *Productos industriales obtenidos por tratamientos especiales*: Escorias dilatadas, preparadas a base de escorias de alto horno. Esquistos, arcillas o cenizas volantes, dilatadas por sinterización. Esquistos, arcillas y pizarras, dilatadas en horno rotativo. Vermiculita, roca natural tratada térmicamente. Perlita, roca natural de origen volcánico y que aumenta enormemente de volumen al calentarla.

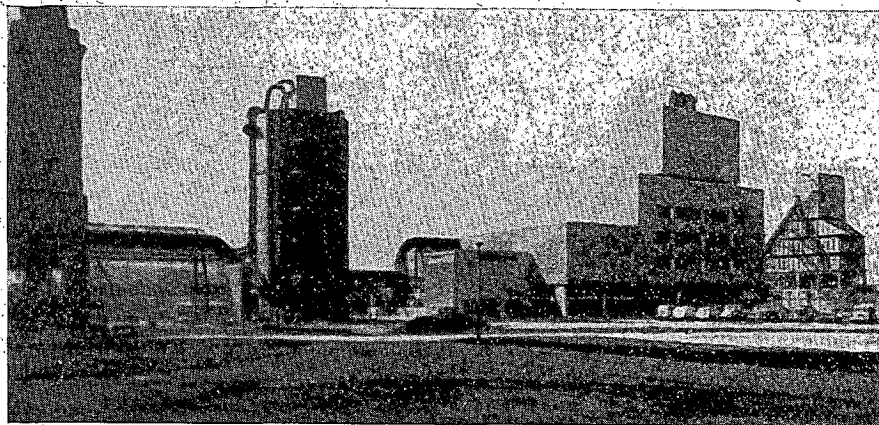


Fig. 2. — Fábrica de Lytag Ltd., en Inglaterra.

bricación de áridos ligeros a base de horno rotativo para dilatación de arcillas. Con estos áridos podía fabricarse un hormigón de poco peso y resistencia aceptable. Recordamos aquí los barcos de hormigón ligero armado construidos durante la primera guerra mundial, hormigón con resistencia del orden de 350 kilogramos/cm.² y densidad de 1,75. Sin embargo, hasta después de la Segunda Guerra Mundial, no se generaliza el empleo de áridos ligeros y podemos decir que la producción masiva indus-

— *Varios*: Cascote de ladrillo, de empleo en Alemania después de la guerra.

Materiales orgánicos, como el serrín y la viruta de madera, que han de someterse a tratamientos de mineralización.

El árido ligero de mayor interés en la fabricación de hormigón estructural es un producto industrial obtenido por muy diferentes métodos o combinación de ellos, algunos muy costosos, tales como los mencionados de horno ro-

tativo, sinterización y dilatación de escorias. La estructura celular de los áridos, se consigue a altas temperaturas del orden de los 1100° C.

En el empleo de hormigones, árido grueso y fino pueden ser ligeros o combinación de normales y ligeros. Ensayos recientes, sustituyendo parte o todo el árido fino ligero por arena normal, dan como resultado una notable mejoría de las características del hormigón a costa de un ligero aumento en el peso.

Los áridos varían mucho en aspecto y forma (redondeados, angulosos, irregulares) así como su peso específico. Consideraciones de tipo económico limitan este peso de 1/3 a 2/3 el de los áridos ordinarios.

Es de interés el llamado "techo de resistencia", que consiste en el valor máximo de resistencia que puede obtenerse con un árido, de forma que a incrementos de cantidad de cemento no aumenta sensiblemente la resistencia del hormigón. Parece que este "techo" depende, principalmente, del árido grueso.

Dado que la mayoría de los áridos ligeros usados para fabricación de hormigones resistentes son, como hemos visto, de producción industrial, reciben nombres propios. Así en Estados Unidos, con creciente expansión de esta industria reciben nombres tales como Haydite, Aglite, Rocklite, etc.

En Rusia y Checoslovaquia se fabrica el Kramsit. En Inglaterra con nombres como Leca, Lytag y Aglite.

Es de notar el desigual desarrollo y empleo de estos productos en el mundo. En Europa —excepto los países indicados— la fabricación es reducida, quizá porque su elevado costo reduce su uso y la escasa demanda impide una producción masiva interesante, económicamente. El problema de U. S. A. es diferente, pues a la capacidad y "afición" industrial del país, se une la dificultad de encontrar áridos ordinarios a bajo costo. Esta dificultad, las crecientes exigencias técnicas y la industrialización general de los países más avanzados, irá haciendo más fácil y asequible la producción de estos áridos y su empleo es posible se generalice de forma ostensible en los próximos años.

Hormigón ligero estructural.

El hormigón fabricado a base de árido ligero y de empleo en estructuras, ha sido definido

de diferentes formas según las Normas existentes.

El CEB al incorporar en 1966 a su "Recomendaciones prácticas" los hormigones de árido poroso, de origen natural o artificial, no impone límite ni a la densidad ni a la resistencia.

Aunque en las "Recomendaciones provisionales" de hormigón pretensado de FIP seguían excluidos los hormigones ligeros, la Comisión sobre "Hormigón ligero pretensado" del V Congreso Internacional en París, 1966, denomina al tipo de hormigón de árido ligero como "Hormigón pretensado de árido ligero" de densidad variable de 1,4 a 2 y resistencia a la compresión de 280 a 500 Kg./cm.².

En "Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete" del ACI se define el hormigón estructural de árido ligero como hormigón de resistencia a la compresión a los veinte días no menor de 175 Kg./cm.² y densidad no mayor de 1,85. Se añade, como comentario, que la mayoría de los hormigones ligeros estructurales, oscilan entre 1,6 y 1,8 de densidad.

No hay norma especial alemana al respecto, aunque expresamente se permite el uso de ladrillo machacado, escorias de alto horno, pómez, etc., pero en las Normas correspondientes al hormigón armado y al pretensado se hacen referencias a estos tipos de hormigones.

Conocidas son otras normas también a este respecto como la NyTU 123-55 rusa y los Códigos Ingleses y Checos.

En general, se acepta que el comportamiento de estos hormigones es comparable al de los hormigones ordinarios, si bien las particularidades propias del material han hecho ampliar las normas existentes o redactar unas nuevas, según las líneas generales que sigue cada país.

Una de las principales diferencias es el diferente valor del módulo de elasticidad. En general, las deformaciones son mayores en este tipo de hormigones, habiéndose generalizado la fórmula del módulo E en función del peso específico y de la resistencia a compresión afectados de exponentes diversos. Esta notable variación (1/2 a 3/4 inferior al del hormigón ordinario) influye notablemente en deformaciones — flechas y giros — fenómenos de pandeo, acortamiento elástico de piezas — tales como arcos — en piezas pretensadas, en la rigidez de los elementos, en absorción de energía, etc. En casos puede aprovecharse esta circunstancia favorablemente.

Las resistencias que pueden conseguirse son similares a las del hormigón ordinario, dependiendo fundamentalmente del tipo de árido ("techo de resistencia") con máximo aproximado de 500 Kg./cm.², siendo necesario casi siempre una dosificación de cemento más elevada. Existen fórmulas aproximadas que relacionan la resistencia a compresión con el peso específico, $R = C \cdot \gamma a$, donde C depende del tipo de hormigón y a del árido, pero, dadas las numerosas variables que determinan la resistencia final, no parece fácil que una fórmula

La resistencia última en cortante parece ser también inferior, habiendo prescindido algunas normas, en el cálculo a rotura, de la contribución de la zona comprimida y, en otras, reduciendo dicha contribución. En relación está también la adherencia menor de estos hormigones, sobre todo en barras hormigonadas horizontalmente. Si ha de temerse una fisuración inaceptable, convendría reducir las tensiones del acero en tracción. En algunos casos se ha recomendado recubrir las armaduras con pasta de cemento.

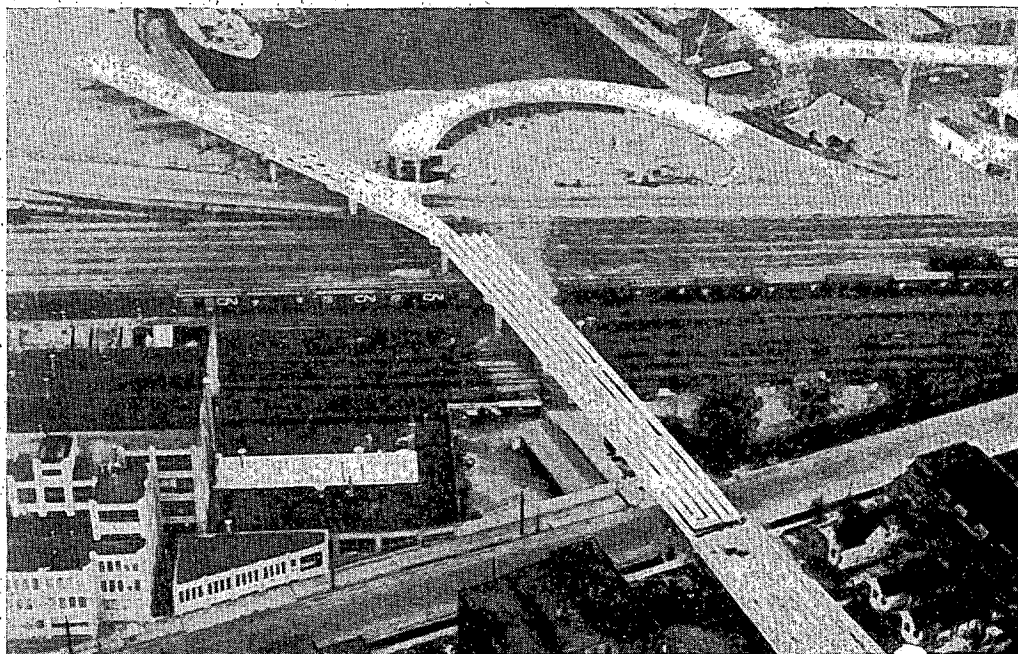


Fig. 3.— Paso superior en Vancouver (Canadá).

más o menos complicada dé valores satisfactorios para cualquier tipo de material.

Fluencia y retracción son fenómenos de por sí bastante complejos. En el caso de hormigones de áridos ligeros parece existir un aumento en el valor de ambos en relación con el hormigón normal, valor difícil de precisar, pero que puede llegar a ser 2, dependiendo de numerosos factores, tales como el contenido inicial de agua, el tipo de árido, proporciones y forma de mezcla, que vienen a añadirse de forma fundamental a los que intervienen en el hormigón ordinario. El subestimar el valor real puede ser origen de posibles trastornos estructurales, sobre todo en elementos pretensados.

También parece similar, o algo inferior, la protección contra la corrosión de armaduras, por lo que normalmente se aumentan ligeramente los recubrimientos.

Es también inferior el coeficiente de dilatación térmica, tomándose para hormigón ligero armado el de $0,8 \times 10^{-5}$ (aunque puede oscilar de $0,5$ a $1,1 \times 10^{-5}$), mientras la variación en hormigón armado ordinario es de $0,7$ a $1,3 \times 10^{-5}$ (valor de cálculo igual a 10^{-5}).

Estos y otros numerosos fenómenos, característicos del hormigón, han sido y siguen investigándose en numerosos países con vistas a su esclarecimiento y a poder facilitar normas que aseguren un comportamiento de las

estructuras de hormigón ligero análogo a las que se realizan en hormigón ordinario.

Como señalamos anteriormente, pueden mejorarse las características, sustituyendo todo o parte de los finos ligeros por arena normal. También se realizan investigaciones con cementos expansivos que disminuyen fluencia y retracción.

La fabricación y puesta en obra es similar a las del hormigón ordinario y, en general, los métodos que mejoran este último influyen también favorablemente en el de áridos ligeros.

Las especiales características de estos hormigones exigen una selección más rigurosa de los áridos y un cuidadoso estudio y control de la dosificación de hormigón.

La diferencia más notable entre el árido ligero y el normal es la capacidad de absorción de agua del árido poroso (5 al 20 por 100 en peso del árido seco, en veinticuatro horas, frente a un valor menor del 2 por 100 en árido ordinario). Si el árido no está suficientemente húmedo a la salida de la hormigonera, continuará absorbiendo agua y perderá su "trabajabilidad" entre hormigonera y lugar de colocación. No parece dar buenos resultados regar los acopios por la desigualdad de humedecimiento y es mejor práctica aumentar el tiempo de amasado. Con objeto de reducir este tiempo se estudian diferentes tipos de mezcladoras.

Es de gran importancia el control de calidad. Normalmente basta con cuatro ensayos fundamentales: *Slump test*, densidad hormigón fresco, aire incorporado y resistencia a la compresión.

El *Slump test* es el método más apropiado para determinar la trabajabilidad del hormigón. Hay que tener en cuenta que el hormigón ligero da menores valores de asentamiento que el ordinario para la misma trabajabilidad.

El empleo de aireantes aumenta la durabilidad del hormigón y mejora la trabajabilidad.

Los principios básicos para obtener buen hormigón son: mínima agua, equipo de manipulación y colocación de la masa rápido y apropiado, compactación correcta y mano de obra especializada.

Es importante evitar la segregación del hormigón, que puede aparecer, por ejemplo, al vibrar excesivamente la masa, ya que los ári-

dos flotan y tienden a subir a la superficie a diferencia de lo que ocurre con el hormigón ordinario. Algunos tratamientos finales mejoran las propiedades del hormigón, tales como el tratamiento a vapor a presión normal que reduce los fenómenos de fluencia y retracción, así como las pérdidas de pretensado (las pérdidas de pretensado son del orden de 110 a 115 por 100 superiores a las del hormigón ordinario).

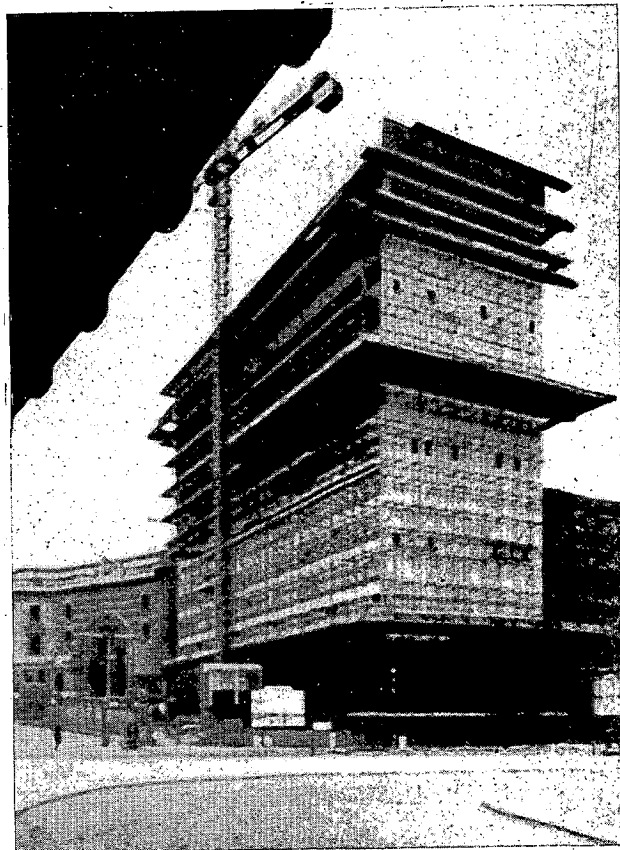


Fig. 4. — Edificio de oficinas junto a la estación de Waterloo.

Debe evitarse que las superficies de hormigón sean mojadas abundantemente y de forma irregular durante el almacenamiento y transporte de elementos prefabricados, pues pueden aparecer fenómenos desagradables de retracción una vez colocadas en su sitio. La manipulación de estas piezas debe ser cuidadosa, evitando choques en ángulos y esquinas, dada la resistencia local y las características mecánicas de los áridos.

Estas y otras consideraciones sobre las propiedades y fabricación del hormigón ligero estructural nos dan una idea de cómo es una técnica similar a la del hormigón ordinario, lo suficientemente estudiada y experimentada como para utilizarla con éxito. La investigación de sus particularidades ha servido y seguirá sirviendo para aclarar el comportamiento general del hormigón ordinario, armado y pretensado. Cuales sean sus ventajas y aplicaciones más importantes es tema que vamos a tratar también brevemente.

con vigas pretensadas de 15,5 metros de luz, etcétera.

La disminución de peso propio influye favorablemente en la cuantía de armaduras. Su repercusión depende, naturalmente, de la relación peso propio-carga total. En edificios de sobrecargas normales y gran altura repercute no sólo en las armaduras de los elementos, sino que esta disminución de peso influye muy favorablemente en las secciones de pilares y volumen de cimientos. En casos como el de un edificio de 16 plantas, en Inglaterra, el problema de ci-

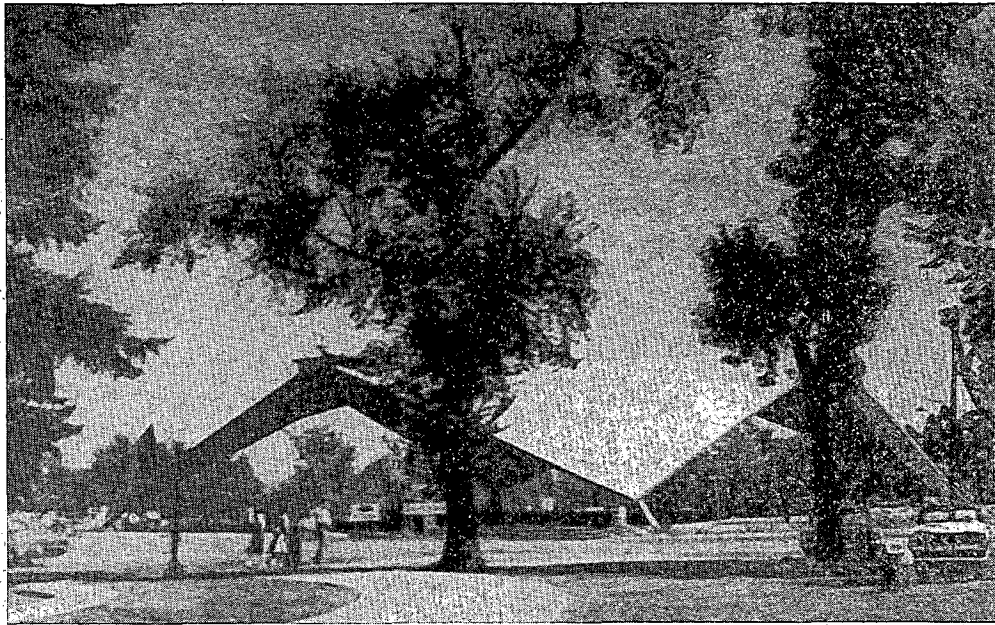


Fig. 5. — Parabolóide hiperbólico en Colorado, U.S.A.

Ventaja fundamental es la notable reducción de peso respecto al hormigón ordinario (60 a 80 por 100).

Su primera aplicación es la prefabricación, donde se reducen precios de transporte y colocación e incluso puede hacer posible el uso de elementos de mayor tamaño. En elementos pretensados su empleo es ya notable y ha de aumentar considerablemente en el futuro. Ejemplos típicos son el paso superior de Vancouver, en Canadá (fig. 3); el puente Achtuba, en Rusia, con vigas prefabricadas de 22 metros de luz; el puente de ferrocarril de Arakawa, en Japón, con vigas pretensadas de 16 metros; un reciente puente cerca de Haarlem, en Holanda,

mientos era agudo por la cercanía de diferentes túneles existentes, lo que hizo solución muy adecuada la construcción total en hormigón ligero, uniendo a la ventaja de cargas mínimas sobre el terreno una suficiente rigidez de los "cajones" de cimentación y una elasticidad adecuada de los mismos.

La disminución de peso específico permite una disminución de cantos o aumento de luces, presentando esto último una ventajosa posibilidad como en el caso típico de puentes.

El menor peso influye también, disminuyéndola, en la importancia de encofrados y cimbras.

Se ha utilizado también, con éxito, en la

reposición de tableros de puentes permitiendo, por su menor peso, una mayor capacidad de sobrecargas. Por la misma razón es indicado su empleo en la sobre elevación de todo tipo de estructuras.

A su poco peso se une un aislamiento térmico mayor que el del hormigón ordinario que le hace interesante para empleo en pisos y cubiertas. A ello se une una mayor resistencia al fuego (del 20 al 50 por 100), así como un mejor aislamiento acústico. Estas ventajas no son decisivas, pero en ocasiones deben ser

rril, etc. Algunos problemas que se presentan en vigas de puente grúa, barreras de seguridad y en gran número de las citadas construcciones especiales, están siendo investigados en varias partes del mundo confiando se llegue a resultados satisfactorios.

La permeabilidad es similar a la del hormigón ordinario, de ahí el buen resultado de los antiguos barcos construidos en U. S. A., Rusia y Noruega, en los que pudo apreciarse también el buen comportamiento a la fatiga de estas estructuras ligeras. Además, su peso su-

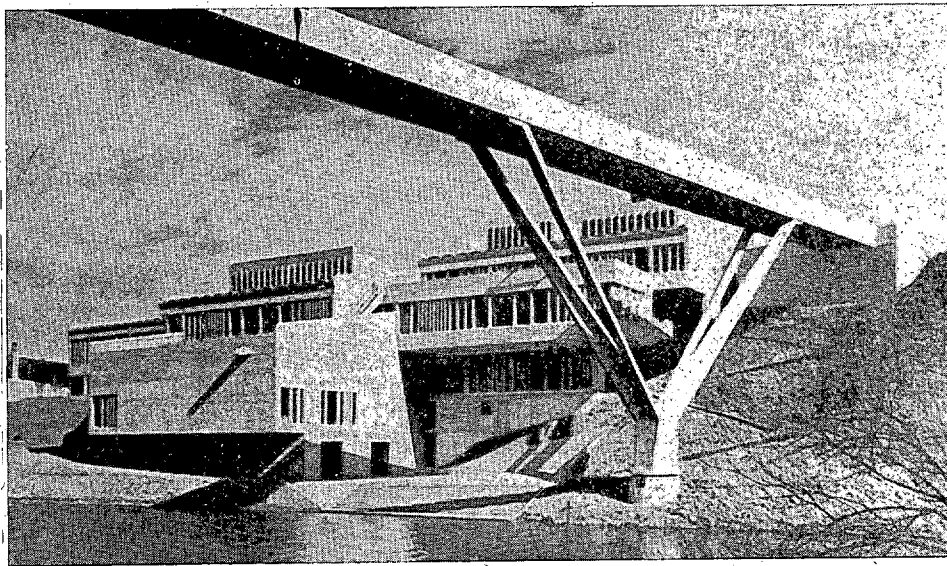


Fig. 6.— Universidad de Durham (Inglaterra).

tenidas en cuenta al comparar el valor real de una construcción. Se han realizado cubiertas de gran importancia, como el paraboloide hiperbólico de Colorado (U. S. A.), con espesor de lámina de 7,5 cm. y planta de 58 x 58 metros cuadrados, y el hangar de la National Airlines, en Miami, con voladizo de 35 metros.

Como estructura vista puede presentar un aspecto inmejorable, como el caso de la Universidad de Durham, en Inglaterra.

Debido a su bajo módulo de elasticidad, parece muy adecuado su empleo en todos aquellos casos de absorción de energía, como pueden ser los de estructuras antisísmicas, pavimentos de aeropuertos y carreteras, "duques de alba", cimentaciones de máquinas especiales, pilotes prefabricados, traviesas de ferroca-

mergido es muy inferior al del hormigón normal (del orden del 50 por 100), por lo que puede aprovecharse esta circunstancia no sólo en el caso de barcos, sino en todos aquellos en que se pida una mayor flotabilidad. Añadiremos que el hormigón ligero se adapta mejor al hormigonado en tiempos de heladas.

Es frecuente el uso de este material combinado con el hormigón ordinario, e incluso con el celular, en forma de estructuras mixtas.

Como resumen, podemos decir que el hormigón estructural ligero se utiliza en los mismos casos que el hormigón ordinario, en masa, armado o pretensado. Son factores determinantes su peso reducido, resistencia al fuego y aislamiento térmico. Parece que las característi-

cas sobre absorción de energía, reducido módulo de elasticidad, propiedades térmicas y peso reducido en inmersión, abren nuevas e ilimitadas posibilidades a este material.

Es cierto que en la mayoría de los casos el costo inicial del hormigón ligero es más elevado que el del ordinario, pero su costo final puede ser interesante en gran número de casos. Esta circunstancia depende mucho de la

propia "idiosincrasia constructiva" de cada país, de sus recursos en áridos normales y de su capacidad de industrialización.

No podemos predecir cuándo llegará a emplearse en nuestro país este tipo de hormigón estructural, pero lo que sí es cierto es que ello representará un avance considerable, capaz de resolver las crecientes exigencias técnicas y económicas de la construcción.