

# FORJADO PARA PISOS

Por JOSE LUIS MUZQUIZ DE MIGUEL, Ingeniero de Caminos.

*El título de este trabajo pone de manifiesto por sí solo el interés y la actualidad del tema, así como la necesidad de que se fijen un poco las ideas y normas para la elección entre la verdadera profusión de tipos de forjados que han surgido últimamente, lo cual ha de lograr el autor, dada la minuciosidad y clara exposición de los temas, a que nos tiene acostumbrados.*

## I

Dadas la escasez y dificultades de suministro de hierro, ha habido que efectuar una serie de restricciones en las construcciones metálicas y de hormigón armado. Uno de los puntos en que más se ha hecho sentir esta falta de materiales ha sido en los forjados para pisos (1). Primeramente se comenzó sustituyendo el sistema de viguetas metálicas por losas de hormigón armado, pero, al aumentar las restricciones, resultaron las pesadas losas macizas con demasiada cantidad de acero y se hizo preciso el empleo de soluciones cada vez más ligeras, algunas de las cuales, verdaderamente ingeniosas, constituyen un notable adelanto en la práctica de la construcción.

Sin embargo, no podemos negar que muchas veces se ha exagerado la nota en estos nuevos tipos de forjado y se ha dado excesiva importancia al ahorro de hierro con detrimento de otros factores, tales como la seguridad de la construcción, el enlace y trabazón de todo el edificio, etc., etc., que juzgamos no deben ser despreciados. Y si bien encontramos justificado que se hayan relegado a segundo término en algún período agudo de restricciones — ya que, de otro modo, muchas obras no hubieran podido salir adelante —, creemos que en época normal no debe ser el criterio económico-restrictivo el único que influya en la elección del tipo de forjado. Por eso, sin dejar de aprovecharnos de las enseñanzas del citado período, vamos a estudiar el problema en conjunto y examinar las ventajas e inconvenientes de los principales tipos.

Prescindiremos del forjado compuesto por viguetas metálicas, ya que se trata del estudio de pi-

sos con poco hierro, y, como puede apreciarse en la figura 1.<sup>a</sup>, requieren mucha más cantidad que las otras soluciones.

Habremos, por tanto, de estudiar los tipos de forjados de hormigón y cerámicos. En una primera mirada nos encontramos que todos ellos están comprendidos entre dos soluciones extremas: a), la losa maciza de hormigón armado, y b), los pisos con elementos cerámicos, en los que se encomienda a éstos la resistencia y el papel del hormigón — o, mejor dicho, del mortero —, queda reducido únicamente a lograr la trabazón del hierro con las partes cerámicas y la de éstas entre sí.

Entre estos dos extremos tenemos la serie casi infinita de soluciones a que ha llegado el ingenio y la competencia de los constructores y proyectistas. Con este problema ha ocurrido algo semejante a lo que sucede con el adelanto de las industrias en época de guerra: con la dificultad de materiales, se agudiza la imaginación y se llega a resultados que de otro modo no se lograrían o se obtendrían solamente al cabo de mucho más tiempo.

### 1. Losa maciza de hormigón armado.

La principal ventaja que presenta la losa maciza es la trabazón y enlace que se consigue establecer con el resto de la obra (vigas, forjados contiguos, etcétera), con lo que aumenta notablemente la seguridad de la construcción.

Pero además de esta ligazón, presenta otras ventajas indudables. En el caso de forjados de pequeñas luces, la altura de la losa maciza es mucho menor que la de los otros tipos de forjado, y esta disminución puede llegar a ser imprescindible cuando la altura de los pisos está muy apurada y muchas veces en escaleras, cubiertas, etc. En estos casos es difícil encontrar tipos de forjados aligerados en los que la altura sea inferior a 12 ó 15 cm. y, en cam-

(1) La cantidad de hierro empleada en los forjados de los pisos de un edificio de hormigón armado viene a representar del 60 al 80 por 100 del total de hierro de la estructura.

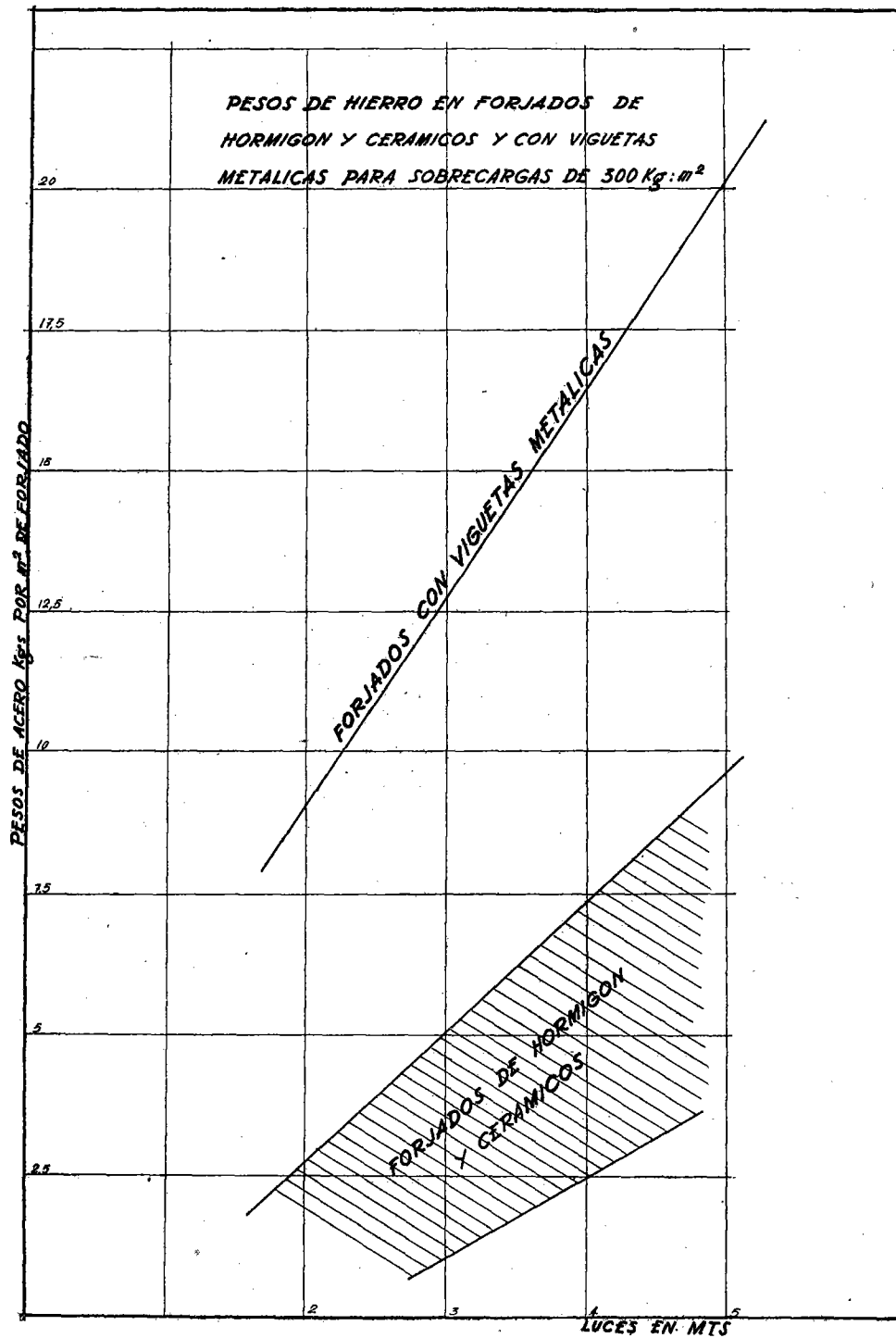


Figura 1.ª

bio, el espesor de la losa maciza, para luces pequeñas, no suele exceder de 6 a 7 cm.

En la figura 2.<sup>a</sup> hemos indicado los espesores de forjados sometidos a una sobrecarga de 300 kilogramos/m.<sup>2</sup> para losas macizas y en varios casos de forjados aligerados y, como puede apreciarse fácilmente, la losa maciza es ventajosa, sobre todo para luces pequeñas.

La diferencia entre unas y otras es mayor que en las figuras 3.<sup>a</sup> y 4.<sup>a</sup>, ya que para lograr una disminución en la cantidad de hierro, en los forjados aligerados se puede aumentar el espesor, sin que repercuta excesivamente en el peso propio, y, en cambio, en

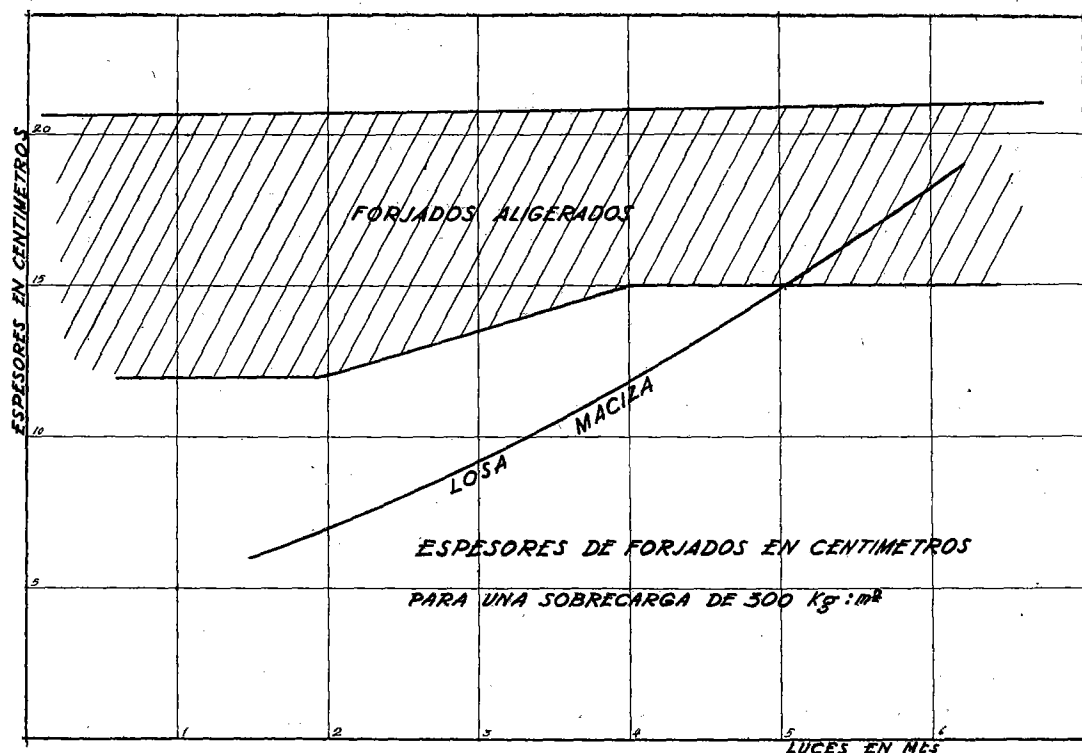


Figura 2.<sup>a</sup>

Pero al lado de estas ventajas las losas macizas presentan una serie de inconvenientes de gran importancia. El principal es, sin duda, el aumento de peso propio —especialmente para luces superiores a 3 ó 4 m.—, con el consiguiente mayor gasto de hormigón y de armaduras. (Ver los gráficos de las figuras 3.<sup>a</sup> y 4.<sup>a</sup>, en los que se indican los pesos propios de forjado y cantidades de hormigón para losas macizas y para forjados aligerados sometidos a una sobrecarga de 300 Kg./m.<sup>2</sup>.)

A este aumento de peso propio corresponde un aumento en la cantidad de hierro necesaria; y esto es especialmente digno de tenerse en cuenta en el caso de sobrecargas pequeñas, en las que la influen-

las losas se llegaría a pesos propios muy elevados e inaceptables si se aumentase mucho la altura.

Otro inconveniente que presenta la losa maciza es su mayor sonoridad, lo que merece ser tomado en consideración en el caso de naves dedicadas a talleres de maquinarias. En ellas convendrá buscar una solución intermedia que, por una parte, tenga rigidez suficiente para asegurar la trabazón del edificio, no obstante las vibraciones de las máquinas, y, por otra, sea de menor sonoridad que la losa maciza. Más adelante estudiaremos este caso con mayor detalle al hablar de los forjados sometidos a grandes sobrecargas. Finalmente, otro inconveniente es el mayor encofrado que requieren las losas macizas, com-

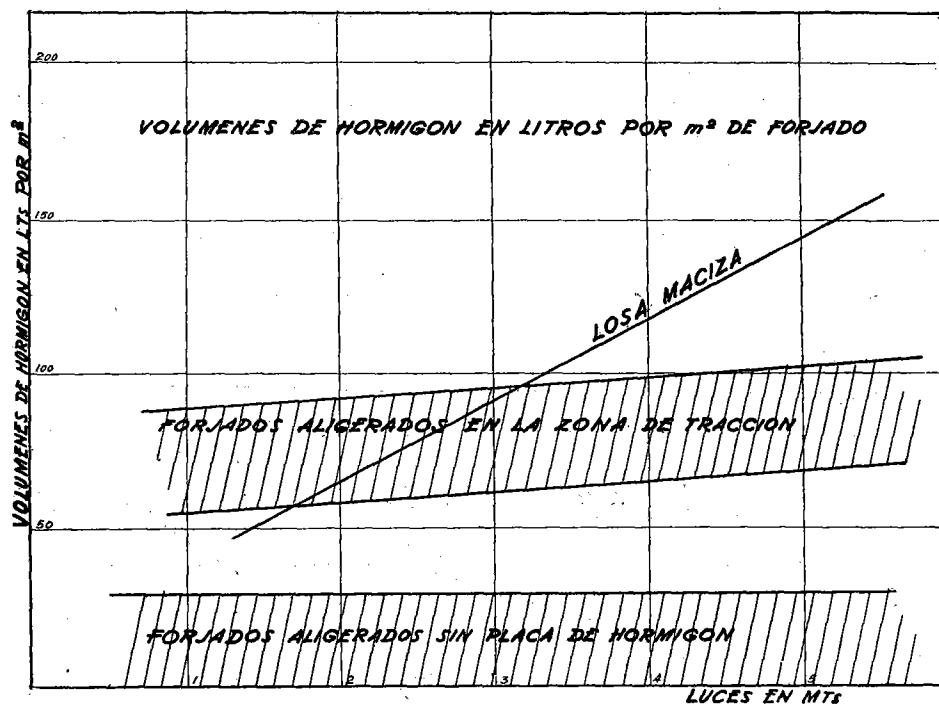


Figura 3.a

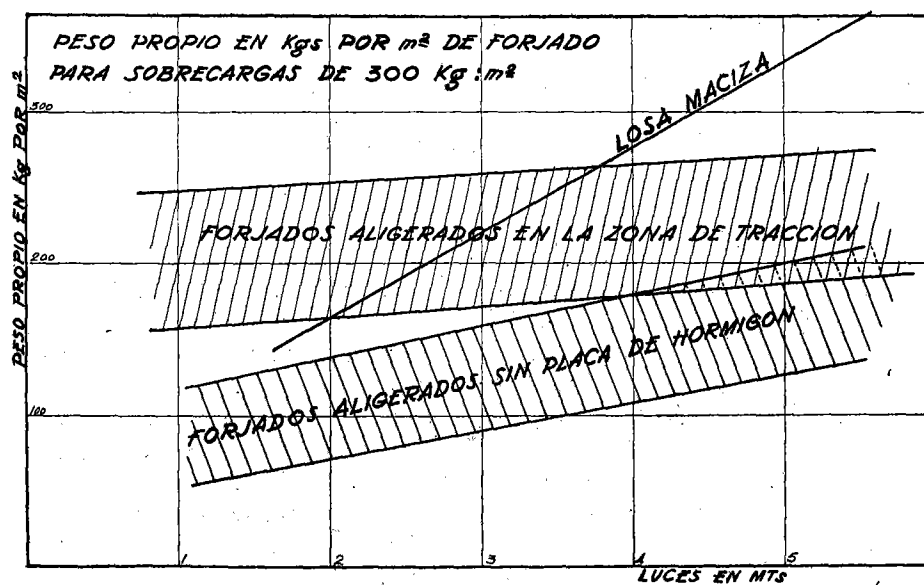


Figura 4.a

paradas con los otros tipos de forjados. Como se indica en la figura 6.<sup>a</sup>, mientras que en la losa maciza se hace preciso colocar encofrado en toda la superficie inferior, en la mayoría de los otros tipos de forjados se puede reducir el encofrado al 25-40 por 100 y aun suprimirse en algunos de los casos.

Generalmente estos elementos son cerámicos y se pueden montar en obra de dos modos totalmente diferentes:

a) Colocándolos sobre el encofrado, constituido por una serie de tablas cuya separación es la que existe entre los ejes de los redondos (fig. 7.<sup>a</sup>).

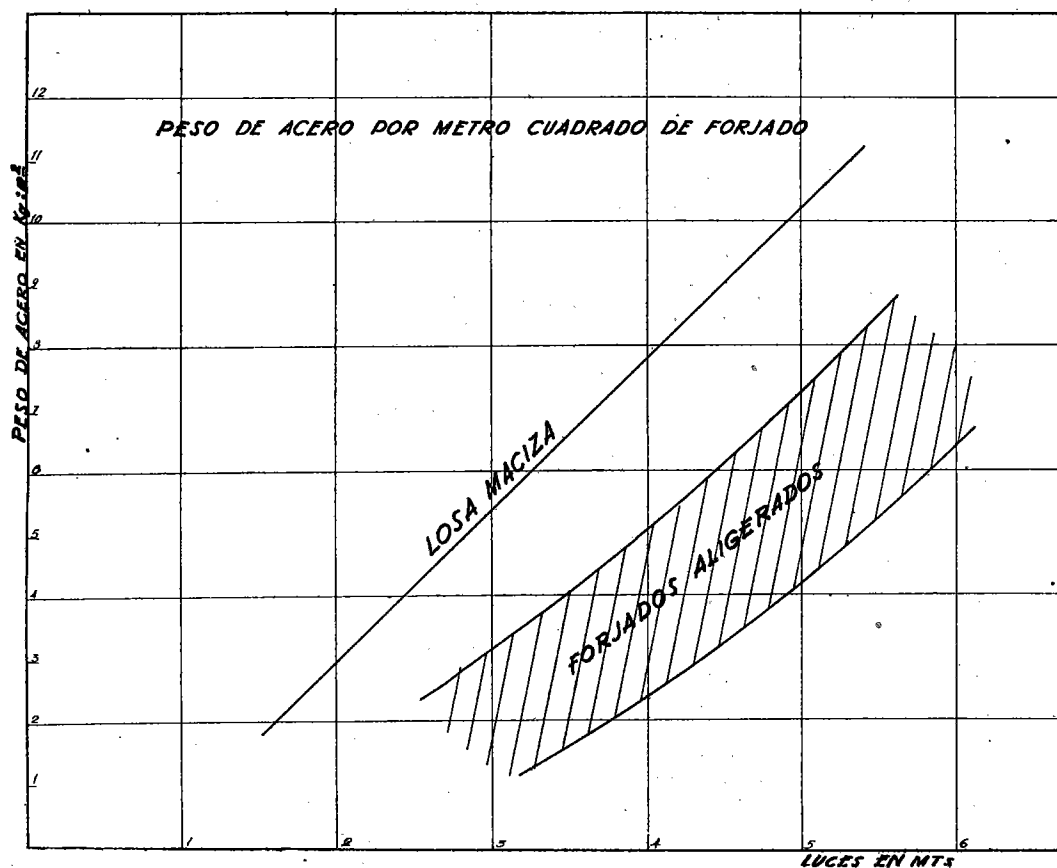


Figura 5.<sup>a</sup>

## 2. Forjados aligerados, sin placa de hormigón.

Es el otro extremo de la serie de forjados: en la losa maciza toda la resistencia se encomendaba al hormigón; en este caso se prescinde totalmente de ella.

Al desaparecer la capa de hormigón, los elementos resistentes son únicamente una serie de piezas entre las que se colocan los redondos de la armadura de tracción.

b) Uniendo con mortero varios de estos elementos en el sentido longitudinal y armándolos con redondos, se constituyen verdaderas vigas elementales. Éstas pueden construirse aparte en el piso inferior de la obra y elevarse hasta el sitio en que han de ser colocadas, con lo que se suprime el encofrado del piso (fig. 8.<sup>a</sup>) (1).

(1) En las figuras 7.<sup>a</sup> y 8.<sup>a</sup> hemos indicado el sistema de piezas cerámicas lo más esquemáticamente posible, para evitar cualquier semejanza con los tipos comerciales.

Ventajas e inconvenientes de este sistema:

Desde luego, el peso propio de forjado por metro cuadrado de piso es menor que si se coloca placa de hormigón, como puede fácilmente apreciarse en la figura 4.<sup>a</sup>, citada, en la que se indican los pesos

la disminución del peso propio hace bajar la cantidad de hierro necesario para el armado. Sin embargo, esta diferencia no es tan apreciable como las anteriores (peso propio y volumen de hormigón), ya que, al suprimir la capa de compresión, el grado de

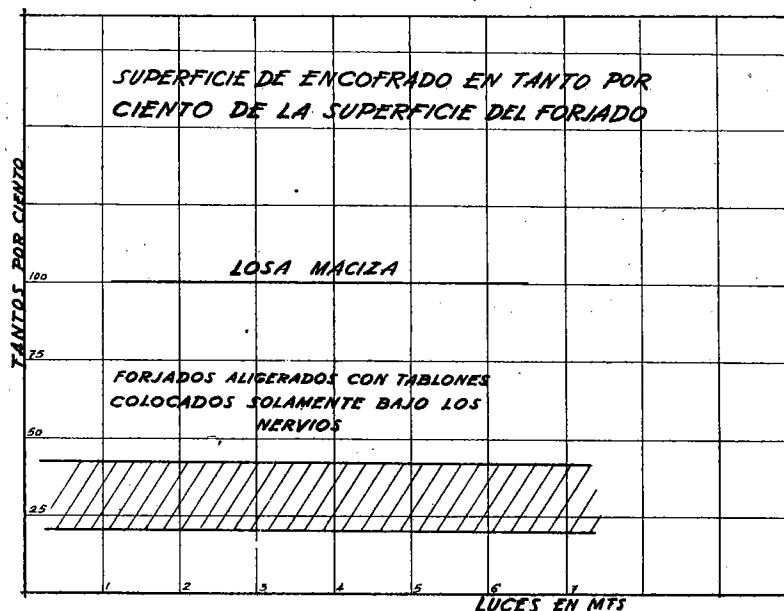


Figura 6.<sup>a</sup>

correspondientes a varios tipos de forjados aligerados con placa y sin ella; con mayor razón su peso será mucho menor que el de la losa maciza, como queda igualmente indicado en la figura 4.<sup>a</sup>.

Debido a la supresión de la capa de compresión, la cantidad de hormigón empleado es muy inferior al de todos los demás tipos (ver fig. 3.<sup>a</sup>), y, asimismo,

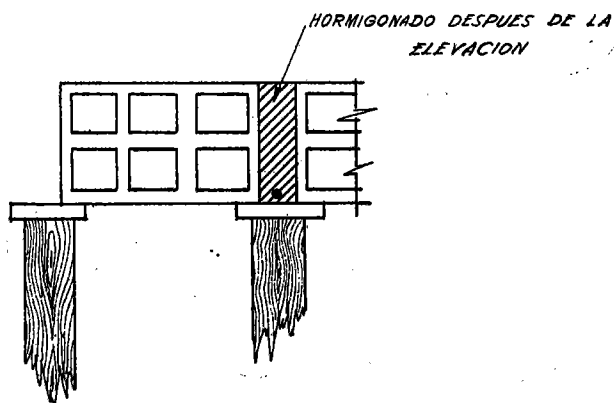


Fig. 7.<sup>a</sup> — Forjados aligerados constituidos por elementos cerámicos. Solución con encofrado.

empotramiento del forjado en las vigas extremas es menor que en los demás tipos y se hace preciso operar con momentos flectores algo mayores.

Las condiciones térmicas y acústicas de estos tipos de forjados son excelentes y pueden, en general, instalarse con facilidad dentro de ellos las conducciones de gas, luz, agua, etc.

Y, finalmente, otra ventaja no despreciable, especialmente en estos últimos años en que se ha encarecido la madera, la constituye el ahorro que puede conseguirse en su empleo.

Ya hemos visto que en la solución b) (fig. 8.<sup>a</sup>)

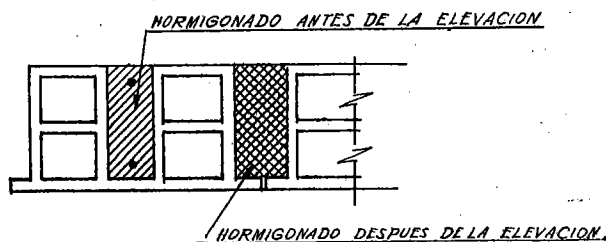


Fig. 8.<sup>a</sup> — Forjados aligerados cerámicos sin encofrado.

las vigas se arman en taller fuera del piso y se colocan luego en obra, sin necesidad de encofrado. Pero aunque se haga preciso colocar un tablón debajo de cada redondo — como en el caso de la figura 7.<sup>a</sup> —, siempre se disminuye notablemente la superficie que hay que encofrar. (Ver en la figura 6.<sup>a</sup> el tanto por ciento de superficie de encofrado correspondiente al total del espacio a cubrir en el caso de losa maciza y de forjados aligerados con tabloncillos colocados solamente bajo los nervios.)

son suficientes para dar la debida rigidez al conjunto. Este inconveniente aumenta en el caso de que las piezas se construyan fuera del piso y se coloquen después sin encofrado.

Y, finalmente, otra desventaja de este sistema es que los espesores de forjado que se obtienen son mayores que en el caso de losa maciza, como puede fácilmente verse en la figura 2.<sup>a</sup>.

Conviene, además, tener en cuenta que en algunos de estos forjados, en los que se suprime casi en

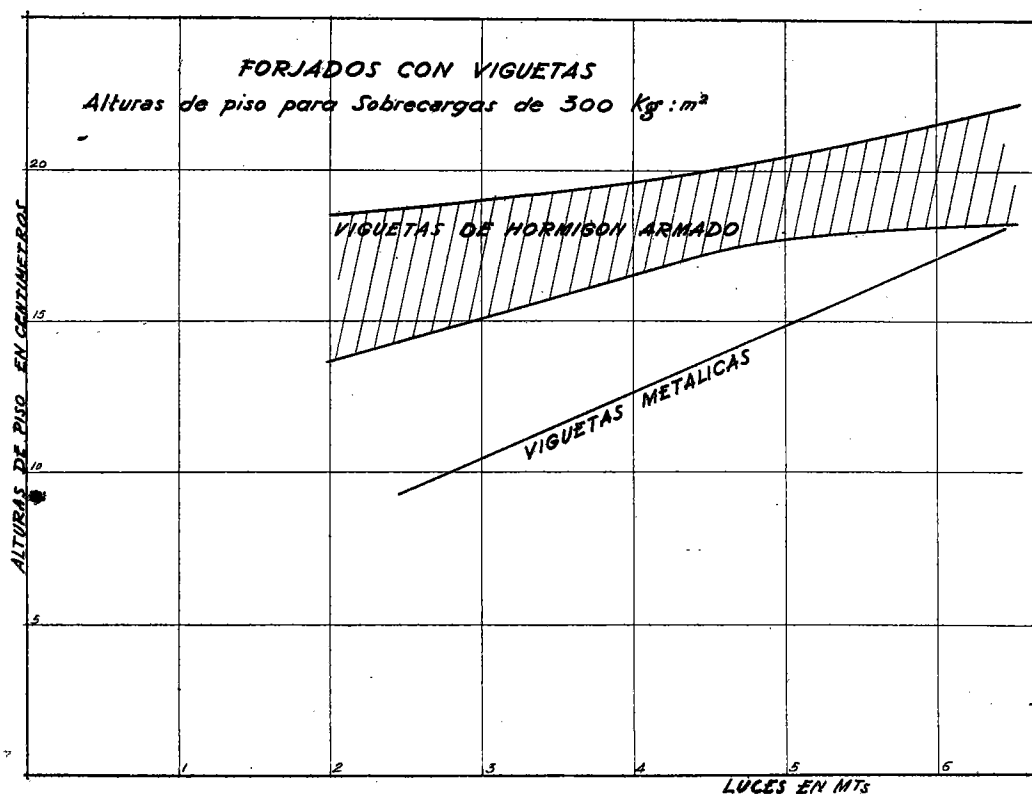


Figura 9.<sup>a</sup>

Al lado de estas ventajas presenta este sistema indudables inconvenientes. En primer lugar, no puede olvidarse que, si bien el volumen de hormigón es muy inferior al de otros pisos, en cambio se requiere el empleo de piezas especiales, siempre caras, y que el ahorro que se obtiene con la disminución de hormigón queda neutralizado, en parte, con el aumento de precio de los elementos cerámicos. Pero el inconveniente más grave que presenta es la falta de ligazón de los elementos cerámicos entre sí y con las vigas extremas y forjados adyacentes, ya que, al suprimirse la placa de hormigón de compresión, las capas de hormigón situadas entre elemento y elemento no

absoluto el hormigón y el hierro, se hace trabajar excesivamente a compresión — e incluso a tracción — al elemento cerámico, del que, en general, no conviene considerar más que su resistencia a esfuerzo cortante. Estos sistemas, realmente arriesgados, trabajan como verdaderas bóvedas planas, en las que la flecha se reduce al espesor del forjado, es decir, a 1/15 ó 1/20 de la luz en el caso más favorable.

Generalmente, no puede conocerse ni exacta ni aproximadamente el modo ni las tensiones de trabajo de los elementos cerámicos, y las pruebas que a veces se hacen no nos pueden dar una seguridad suficiente. La forma de colocación de las piezas, el

mayor o menor esmero en la ejecución y en la dosificación, y otra serie de circunstancias (heladas, defectos de atado, etc.), influyen de modo notable, y si a esto se añade que durante la construcción pueden surgir sobrecargas imprevistas, distribuidas irregularmente en el piso, resulta que no podemos confiar únicamente en estos experimentos y pruebas hechas en *condiciones normales*. Además, para hacer frente a las circunstancias imprevistas conviene contar siem-

### 3. Forjados con viguetas de hormigón armado.

Antes de entrar en el estudio de los forjados aligerados con placa de compresión, vamos a referir brevemente un tipo de piso que ha tenido bastante aceptación en los últimos años. Al encarecerse y escasear los materiales metálicos, pensaron muchos constructores sustituir las viguetas de hierro por otras

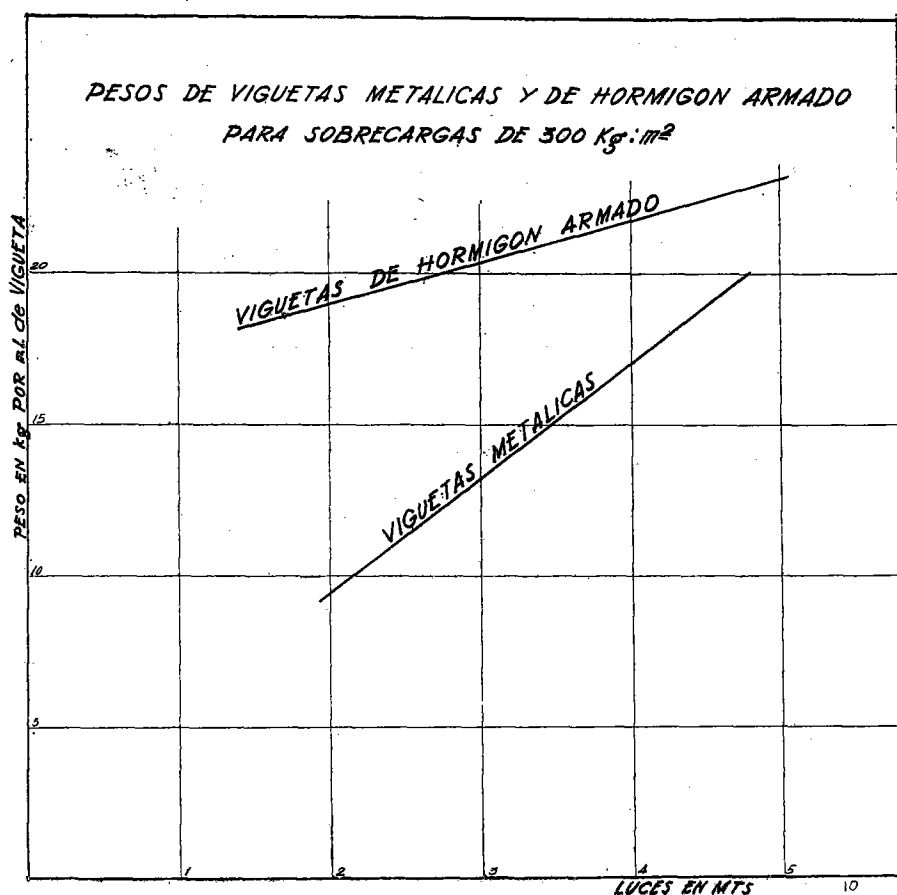


Figura 10.

pre con un cierto margen de seguridad, que es el que proporcionan en los otros sistemas las piezas de aligeramiento y la resistencia transversal de la placa de hormigón, de la que aquí se prescinde. Por eso creemos que estos y otros factores (como el efecto bóveda en los forjados planos), que son muy difíciles de hacerlos intervenir en los cálculos, deben quedar como elemento de seguridad y no como elementos propiamente resistentes a los que se fíe exclusivamente la seguridad de la obra.

de hormigón armado que cumpliesen el mismo papel que éstas en la estructura. La disposición del forjado es completamente similar a la de los pisos metálicos: se establecen una serie de viguetas con la separación conveniente según las sobrecargas, luces, etcétera, y se termina el forjado colocando entre ellas dos o tres capas de rasilla o piezas especiales cerámicas o de otro material.

Este sistema presenta la ventaja indudable de la rapidez de construcción y un ahorro de hierro con-

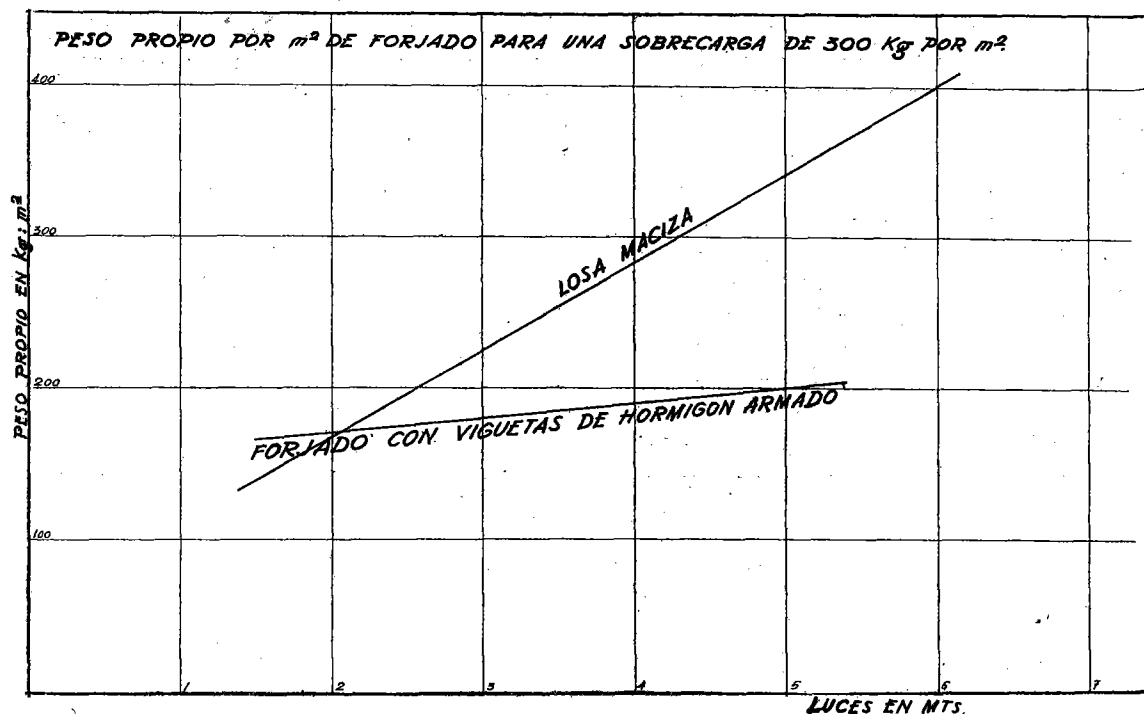


Fig. 11.

siderable. El peso de acero por metro cuadrado de forjado varía mucho de unos tipos de viguetas a otros, pero se encuentra dentro de los límites indicados en la figura 1.<sup>a</sup> para forjados de hormigón y cerámicos, y es, por tanto, mucho menor que en los forjados con viguetas metálicas. En cambio, al disminuir la sección de acero, se ha hecho preciso aumentar la altura de las viguetas, y los espesores de piso resultan bastante mayores que en el caso de viguetas metálicas (fig. 9.<sup>a</sup>).

El aumento de peso de estas viguetas respecto a las metálicas puede ser hasta del 100 por 100 (figura 10); pero teniendo en cuenta todos los demás elementos del forjado, queda reducido al 15 por 100 como máximo, y el peso total resulta menor que el de la losa maciza de hormigón, como vemos en la figura 11.

Sin embargo, aunque el aumento de peso del forjado no es importante, en cambio el mayor peso de las viguetas constituye un obstáculo serio, ya que han de ser elevadas hasta la altura del piso, con la posibilidad de grietas, roturas, etc. En cambio, este sistema presenta la ventaja, respecto a otros tipos de forjados aligerados, de su gran rapidez de construcción y de la supresión absoluta de encofrado.

La forma de las viguetas es muy variable. En

unos casos conservan la misma de las viguetas metálicas, a fin de aumentar el momento resistente con los ensanchamientos en las cabezas de tracción y compresión. Pero, en otros, prefieren los constructores guiarse por motivos diferentes, y llegan a formas rectangulares (con el fin de evitar encofrados difíciles en las viguetas) o trapeziales (para facilitar el apoyo de las piezas especiales que colocan entre las viguetas), etc., etc.

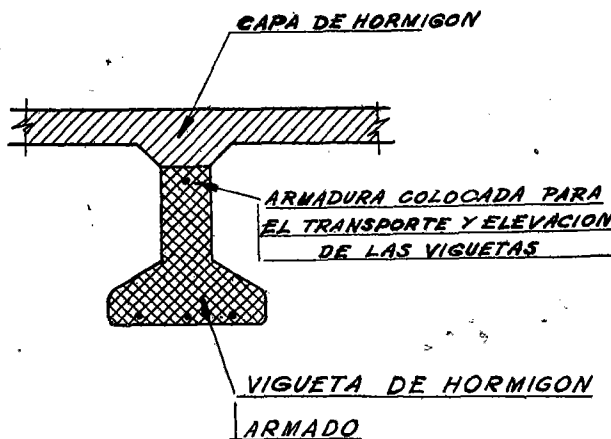


Fig. 12. — Sistema de forjado con viguetas de hormigón armado de altura menor que el espesor del piso.

Otras veces, en cambio, dan a la vigueta una forma circular, exagonal o triangular, especialmente si se trata de viguetas fabricadas con hormigón centrífugo.

Finalmente, hemos de hablar de algunos tipos de forjados en los que, para lograr una mayor rigidez y unión de las viguetas con el resto del piso, no se construyen éstas en el taller en toda su altura (figura 12), sino que se deja la parte superior sin construir para completarla al hormigonar la placa de compresión del forjado, dejando unos estribos fuera de la vigueta para conseguir aún más la trabazón. Creemos, sin embargo, que este sistema presenta un inconveniente fundamental: al colocar las viguetas en obra hay que transportarlas y elevarlas,

y para que no se rompan o produzcan grietas se hace preciso colocar armaduras en la zona superior. Como luego se hormigona encima al construir la placa, resulta que la citada armadura queda completamente perdida.

\* \* \*

Dada la extensión que hemos de dedicar a los tipos de forjados aligerados en la zona de tracción, los estudiaremos en el artículo siguiente. En él también trataremos de la influencia de la sobrecarga en los espesores, peso propio, volúmenes de hormigón y peso de acero para los distintos tipos de forjado.

(Continuará.)