

LAMINAS DELGADAS EN "LADRILLO ARMADO"

G. MUTTONI

Soc. Fornaci Valdadige, Verona — Italia

La arcilla cocida ha adquirido un importante papel en las construcciones flec-tadas y flexo-comprimidas. Losas de 15 metros y bóvedas cilíndricas de 45 metros demuestran los resultados que se pueden obtener. Actualmente este material está en vías de expresarse en las estructuras auto-soportantes, llamadas también "cáscaras", en las que el régimen principal de las solicitaciones está constituido por esfuerzos simples de compresión, de tracción y cizalle, mientras que los momentos flectores, en general, juegan un papel secundario.

En el informe se han ilustrado dos sistemas diversos empleados en Italia.

Es sabido que el ladrillo, viejo material de construcción, se fue convirtiendo poco a poco en un magnífico aliado del concreto armado, integrándose a la formación de estructuras para las que no parecía apropiado.

El ladrillo plano, la forma más modesta, donde la tierra cocida participaba en las construcciones de muros, empleándose sobre todo por sus cualidades de resistencia a la compresión. Mientras el hormigón armado trata de eliminarlo con material soportante, entra en la construcción de los materiales de hierro luego de transformaciones. En las estructuras horizontales donde los conglomerados de cemento ha desplazado prácticamente a la madera y al hierro; al ladrillo hueco de tierra cocida fue empleado al comienzo con el hormigón como el material de aligeramiento, es decir, como simple encofrado perdido después del colado.

Es bastante evidente que en tales condiciones la importancia de la arcilla cocida aparentemente disminuiría, mientras que en la práctica, dado que las características de resistencia se habían aumentado inevitablemente, como consecuencia de las exigencias de un material más ligero, más delgado y por lo tanto mejor, crean así las bases para alcanzar el prestigio actual. La resistencia hasta el punto de ruptura por compresión llega en los hechos a alcanzar 1.200 - 1.400 kg/cm². teniendo como consecuencia natural que la explotación del material no se detiene solamente en la aplicación de la masa inerte. El ladrillo fue en el hecho empleado como material activo que podía trabajar en compresión

y constituir eficazmente un brazo de palanca para una armadura de tracción, con un peso verdaderamente muy reducido.

Losas de 15 m. y bóvedas cilíndricas hasta de 45 m de luz en cerámica armada son las pruebas evidentes de lo que se puede alcanzar con tal material.

No nos detendremos a citar los ejemplos de estructuras normales y precomprimidas, planas o en bóveda que nos maravillan con su osadía de concepción y de realización. Se puede afirmar por otro lado que el ladrillo, pleno de éxitos obtenidos ha buscado afirmarse a continuación en otro terreno que parecía prohibido, tal es el de las estructuras auto-soportantes, hasta entonces campo prestigiado e indiscutido del hormigón armado.

Las estructuras autoportantes, llamadas además delgadas o "cáscaras", son estructuras especiales empleadas más a menudo para cubiertas de grandes luces en las que el régimen principal de solicitaciones está constituido por esfuerzos simples de compresión, tracción, cortantes, mientras que los momentos de flexión, en general, representan solicitaciones de carácter secundario.

Inicialmente numerosas dudas mantenían el prejuicio del empleo del ladrillo en estructuras delgadas, particularmente tomando en consideración la posibilidad, al menos todavía, para cooperar con el hormigón, para absorber los esfuerzos cortantes, para resistir los esfuerzos secundarios de flexión.

Fig. 1

La experiencia práctica y las realizaciones no solamente han ahuyentado tales dudas, sino también han demostrado que con este material estas estructuras son tan posibles y válidas tanto desde el punto de vista estético como desde el técnico y económico.

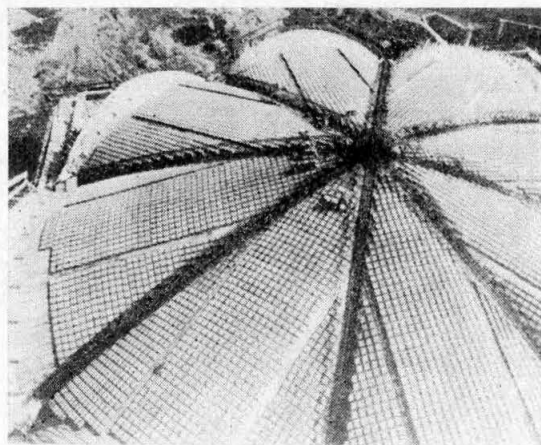
Se puede para simplificar, reducir a dos los sistemas hasta hoy aprobados por la experiencia.

Con el primer sistema se ejecuta la estructura disponiendo los ladrillos especiales sobre un encofrado creado en el lugar y que generalmente sigue una línea determinada. Las formas que se obtienen en la práctica son innumerables: láminas de revolución, de translación, conoidales, esféricas, hiperbólicas, etc.

Con el segundo sistema la estructura es prefabricada con vigas confeccionadas con los ladrillos especiales, éstas colocadas en el lugar una al lado de la otra sobre un moldaje muy reducido, permiten insertar una armadura metálica cruzada, se pueden obtener así láminas delgadas de translación, económicamente muy ventajosas, dado la simplicidad del armado y la rapidez de colocación y de hormigonado, además de una serie de formas especiales (encontramos un ejemplo en la figura 1).

El primer sistema presenta la ventaja de adaptarse a formas más variadas, teniendo la desventaja de no poder insertar racionalmente la armadura cruzada.

El segundo tiene la ventaja de permitir una armadura cruzada pero la prefabricación de vigas está limitada a determinadas formas particulares.



Hace tiempo ya, la prefabricación que tiende siempre más a una concepción moderna y productiva de la industria de la edificación ha planteado construir antes, fuera del lugar de trabajo no solamente las vigas sino también los paneles para las estructuras planas y curvas de piso y cubierta.

Aun para las estructuras delgadas se ha recurrido últimamente a la prefabricación más avanzada que consiste en producir paneles de simple o doble curvatura en "ladrillo-cemento" armado.

Mostramos aquí justamente una estructura de un interés particular desde el punto de vista técnico y económico, realizado con paneles prefabricados, que están basados en las cubiertas de doble curvatura realizadas en España y Rusia, aunque las concepciones de proyecto y de ejecución fueron desde un principio, particularmente diversas.

Hace algunos años en Rusia, se realizan estructuras de cúpulas formadas de arcos unidos, secciones con sector de corona circular. Se trata de cúpulas de rotación obtenidas haciendo deslizarse una generatriz curvilínea (Fig. 2-b), sobre una directriz generalmente en forma de arco de círculo (Fig. 2-a) ambas con la concavidad vuelta hacia abajo.

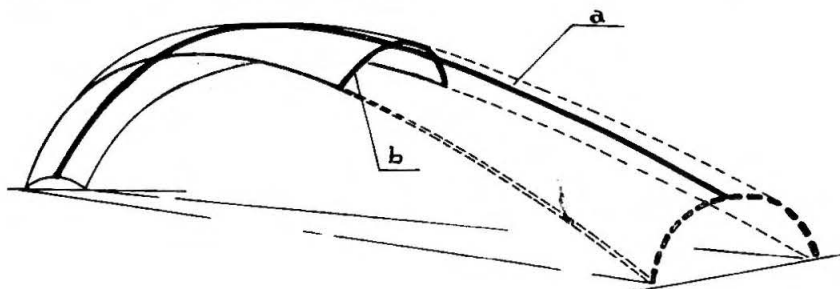


Fig. 2

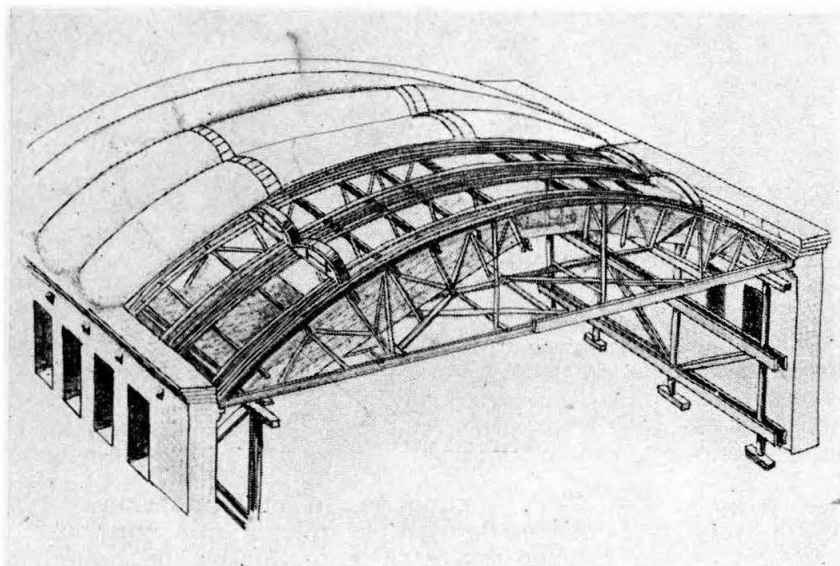


Fig. 3

Las estructuras rusas estaban prefabricadas con ladrillos planos de forma corriente de 6,5 x 12 x 25 cm. dispuestos sobre encofrados de madera: se obtenían de esta manera grandes elementos prefabricados que eran colocados en el lugar con moldajes bastante económicos, de todas maneras de una cierta complejidad estática (Fig. 3), por el peso que debían soportar.

Otras estructuras fueron realizadas con ladrillos de dimensiones mayores (39 x 19 x 9) alcanzando sin embargo a luces no mayores de 19 metros.

El cálculo de estas estructuras fue ejecutado determinando los esfuerzos principales y los esfuerzos secundarios transversales como si se tratara de cúpulas comunes en piedra, donde como se sabe, se plantea la tesis que la resultante de las cargas caiga siempre sobre el núcleo de inercia de la sección genérica considerada de tal manera, de no obtener esfuerzos de tracción: las cúpulas eran en consecuencia construídas sin estructura metálica (si se excluye naturalmente la cadena necesaria para eliminar los empujes horizontales y el acero para el izado).

En España, al contrario, se realizan cúpulas de doble curvatura en ladrillamento de más de 30 metros de luz con un espesor de 10 cm.; en esos casos los arcos estaban formados de ladrillos huecos a los que se les habían colocado una armadura al largo del arco principal para los momentos positivos y negativos concernientes a las estructuras de arco y una armadura

transversal para los esfuerzos secundarios.

La cúpula realizada en Italia es de 30 m de luz y con un espesor de 7 cm.

Fue construída de numerosos arcos contiguos, obtenidos por la unión en el lugar de paneles ejecutados previamente en tierra. (Fig. 4).

Los paneles fueron realiados, aproximando los bloques huecos especiales en ladrillo de 7 cm de espesor, dispuestos convenientemente sobre un encofrado de madera. (Fig. 5).

La superposición de los aceros necesarios para la unión de los paneles se realiza interrumpiendo el hormigonado a 25 cm de los extremos y dejando sobresalir los fierros 30 cm.

De esta manera se ha obtenido la superposición de alrededor de 50 cm obteniendo un anclaje realizado convenientemente dado la forma especial

Fig. 4



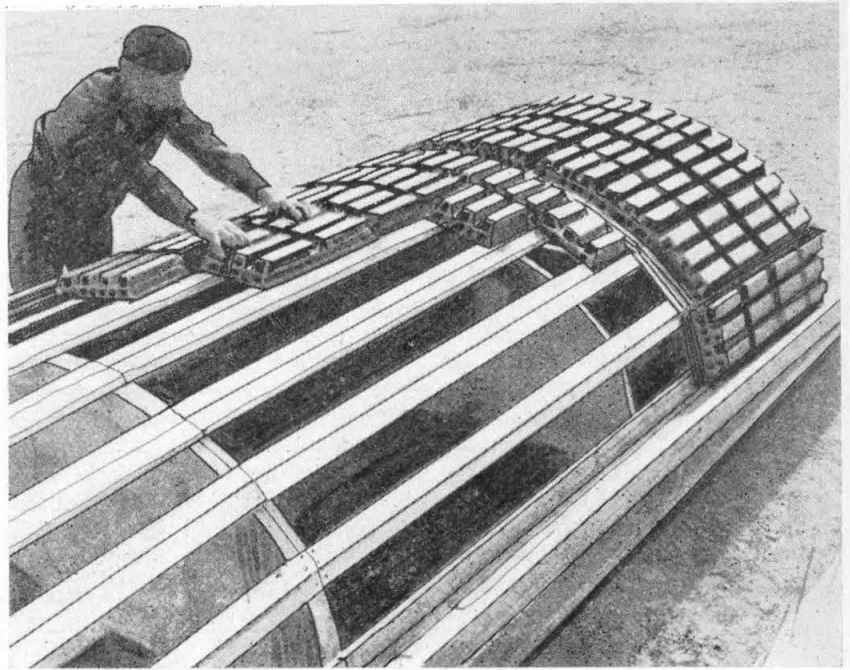


Fig. 5

del bloque. La unión lateral fue más simplemente realizada dejando sobrepasar en el lado del panel los fierros de la armadura transversal.

La estructura tiene las características siguientes:

—luz de la cúpula ...	ml	30,00
—flecha 1/9	ml	3,30
—peso de la estructura	kg/m ²	125,00
—acero de la estructura	"	4,00
—acero de la cadena	"	6,00
—acero total	"	10,00
—peso de ladrillo	"	41,00
—cemento en la pre-		
fabricación	kg/m ²	25,00
—cemento en la obra	"	10,00
—ancho del panel ...	ml	2,00
—largo del panel ...	"	6,10
—peso del panel por		
m ²	kg	100,00
—peso del panel total	"	1.200,00

El cálculo fue ejecutado evaluando los esfuerzos principales como para las bóvedas comunes en hormigón armado y los esfuerzos secundarios y el régimen de tensión determinado por los componentes radiales de los esfuerzos principales generados a lo largo del arco en las condiciones de variación de la carga simétrica y asimétrica. (Fig. 6).

Esta simplificación del cálculo se ha revelado verdaderamente excelente en la práctica. Se han hecho ensayos de carga en un arco previamente construido con objeto de experimentación.

Las solicitaciones y los desplazamientos teóricamente establecidos corresponden a una manera satisfactoria a los que se producen prácticamente durante los ensayos.

A título indicativo informamos en la tabla 1 y 2 las flechas obtenidas durante la fase de experimentación.

Fig. 6

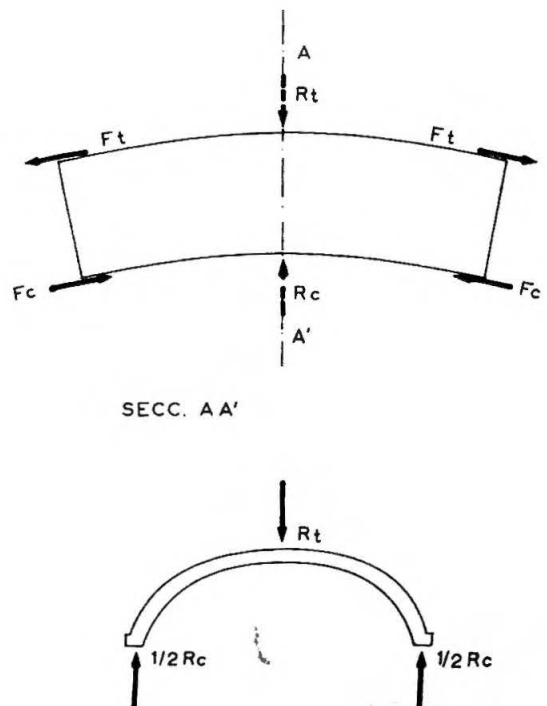


TABLA N° 1 CARGA SIMETRICA

Sobrecarga Kg/m ² .	Descenso a 1/4 y 3/4 de la luz mm		Descenso en la clave de la bóveda a 1/2 de la luz mm	
	Teórico	práctico	Teórico	práctico
100	7	7	13	13
150	10	11	20	19
200	13	13	28	27

TABLA N° 2 CARGA ASIMETRICA

Sobrecarga kg/m ²	Descenso a 1/4 de la luz no cargada mm		Descenso en la clave mm		Descenso en 3/4 de la luz mm	
	teórico	práctico	teórico	práctico	teórico	práctico
50	— 3	— 3	+ 2.5	+ 2.3	+ 5	+ 6
100	— 4	— 7	+ 7.0	+ 6.5	+ 11	+ 13
150	— 8	— 13	+ 12.3	+ 12.5	+ 18	+ 20
200	— 15	— 20	+ 19.0	+ 17.0	+ 24	+ 28

Se sabe que el lado descargado, a causa de las componentes radiales de los esfuerzos principales (Fig. 6), que tienden a "romper" la forma, producen durante la colocación, un continuo cambio de sección (difícil de determinar teóricamente) produciendo una acción autoexaltante de los esfuerzos secundarios que determinan finalmente la "rotura" de la estructura.

Por otra parte es necesario considerar que el efecto de los esfuerzos secundarios es casi nulo cuando se tienen los arcos unidos de manera que dos arcos bastan para reducir sensiblemente la posibilidad de ruptura a causa de la "pérdida de forma".

Con este género de estructura es posible obtener cubiertas de grandes luces: en efecto con un ladrillo hueco de 10 cm de espesor se puede alcanzar hasta 60 m de luz con una solicitud normal al material, con un peso total de la estructura de 150 kg/m².

La iluminación puede obtenerse lateralmente o por una imposición a diferente altura o por una variante de curvatura como en las bóvedas normales. Aquí nos podemos preguntar hasta qué punto es conveniente servirse de bóveda delgadas de ladrillo-cemento o estructuras en hormigón armado.

A nuestro juicio, la estructura delgada de ladrillo-cemento es preferible por toda una serie de causas que consideramos en el breve análisis que sigue:

Análisis económico.

Una de las primeras causas que hace preferible la prefabricación en ladrillo-cemento es el moldaje: en efecto el carácter esencial de esta construcción es ser construída sin encofrado porque este último está formado por los ladrillos mismos. Basta preparar en la práctica una superficie de

apoyo sobre la cual se disponen los bloques que contengan la colada, tratándose aquí de una superficie generalmente hecha en arena o con encofrado de madera para los tipos especiales que son, como hemos visto, la forma más económica.

Para establecer hasta qué punto esta utilidad se verificará es necesario considerar cómo está formada una pieza prefabricada, y cuáles elementos pueden intervenir en el precio final habrá elementos diferentes, que son del producto: en cada caso particular los materiales componentes, la mano de obra necesaria para trabajarlos que varían según la repetición y la complejidad de las formas bases, etc.

Para hacer una evaluación comparativa se han tomado como base dos estructuras de idénticas luces, construidas de la misma manera, una de hormigón armado, la otra de ladrillo-cemento. La bóveda es la que hemos descrito anteriormente: los datos efectivos considerando 100 el precio de venta de 1m² de panel de ladrillo-cemento puesto en la obra, se obtienen los siguientes resultados:

Espesor de la estructura	Ladrillo Cemento Hormigón		
	cm	7.8	4.5
Ladrillos	18.5	—	
Hormigón	10.0	18.0	
Armadura metálica	47.5	65.0	
Amortización del encofrado	7.5	22.5	
Mano de obra	16.5	6.5	
	100.0	112.0	

Se puede considerar que el material constituyente disminuye de 28,5 a 18,0 de un panel de ladrillo a uno de cemento y la mano de obra disminuye de 15,5 a 5,6 porque las operaciones de colocación de la armadura y colado del hormigón son mucho más rápidas.

Al contrario, si consideramos el aumento en la armadura metálica debido al aumento del peso de la estructura de (125 + 250 a 150 + 250) y a la mayor cantidad de fierros necesaria para los momentos secundarios, a causa de la disminución del espesor de 7 a 4,5 cm. Se produce un aumento también por la "amortización del en-

cofrado" por las razones anteriormente indicadas.

Podemos concluir diciendo que la prefabricación en ladrillo-cemento podrá mantener sus ventajas sobre la prefabricación en hormigón armado, mientras el precio de la mano de obra por colocación de los ladrillos no aumente al grado de eliminarlas. (Si aceptamos que aproximadamente el 40% del costo de la partida "ladrillos" en el sistema descrito corresponde a la mano de obra, un alza del 50% en la remuneración del albañil tornaría nulas las ventajas de la primera solución sobre la segunda).

Es lógico que estos resultados son válidos para la estructura que se ha examinado: en otros casos los valores pueden tener variaciones según los detalles técnicos-productivos de la estructura misma. Otro punto que es necesario examinar para la evaluación objetiva indispensable para la forma particular adoptada es la relativa del coeficiente térmico. Los hangares industriales durante todo el año y sobre todo en invierno y verano necesitan de un cierto grado de confort debido sobretudo a la aislación térmica de la cubierta.

El valor K en los dos casos, excluido el revestimiento de la cubierta, resulta de alrededor de 1,9 Cal/m²/h°C para la estructura de ladrillo y de 3,6 Cal/m²/h°C para la estructura de hormigón. (*).

Esto nos dice que salvo que se quiera servir de un sistema de aislación térmica naturalmente costoso, que aumentan todavía más las ventajas económicas de las bóvedas de ladrillo. El factor "molestias térmicas" debidas a la estructura del hormigón sólo, no deben ser ignoradas.

Además, con el objeto de una clara evaluación, es necesario considerar también los motivos que pueden sugerir la preferencia de una estructura de hormigón respecto de otra de ladrillo: en primer lugar, la adaptabilidad del hormigón a todas las formas debido a su maleabilidad.

La posibilidad de colocar la arma-

dura metálica en todos los sentidos, de manera que el acero pueda ser colocado racionalmente ahí donde es necesario y en la manera más reducida.

Luego la constatación que un prefabricado de hormigón se transporta más fácilmente porque es menos fácil que se rompa sobretodo para los prefabricados de una cierta magnitud.

Finalmente, podemos opinar que el ladrillo-cemento-armado es favorable para resolver los casos más variados de estructura de construcción no solamente de losas, entramados, bóvedas, sino también estructuras delgadas de diferentes formas, que al principio

se creía que no se podría hacer mas que en hormigón armado.

Estas estructuras pueden ser hechas en el lugar o prefabricadas en viguetas o paneles.

Las principales ventajas que aconsejan la adopción de bóvedas delgadas en ladrillo-cemento con relación a las de hormigón son la ligereza y por lo tanto la economía de todas las estructuras soportantes y soportadas y las buenas características de aislamiento térmico: dato este esencial desde el punto de vista del confort del lugar del trabajo, objetivo último, si se quiere, para el cual se construye.

$$(*) \quad \frac{1}{K} \quad \frac{1}{\alpha_1} \quad \frac{\text{si}}{\lambda_1} \quad \frac{1}{\alpha_2}$$

En el primer caso:

$$\frac{1}{K} = \frac{0.007}{0.25} + \frac{0.001}{1.2} + \frac{1}{10} = \frac{1}{1.9} \quad \text{m}^2/\text{h}^\circ\text{C}/\text{Cal}$$

En el segundo caso:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{7} + \frac{0.045}{1.2} + \frac{1}{10} = \frac{1}{3.6} \quad \text{m}^2/\text{h}^\circ\text{C}/\text{Cal}$$

en donde:

$\alpha_1 = 7$ Cal/m² h^oC coeficiente de conductibilidad externa.

$\alpha_2 = 10$ Cal/m² h^oC coeficiente de conductibilidad interna.

$\lambda_1 = 1,2$ Cal/m² h^oC para el hormigón.

$\lambda_2 = 0,25$ Cal/m² h^oC para el ladrillo hueco