



supermercado en Varsovia

WACLAW ZALEWSKI, Dr. ingeniero

442-8

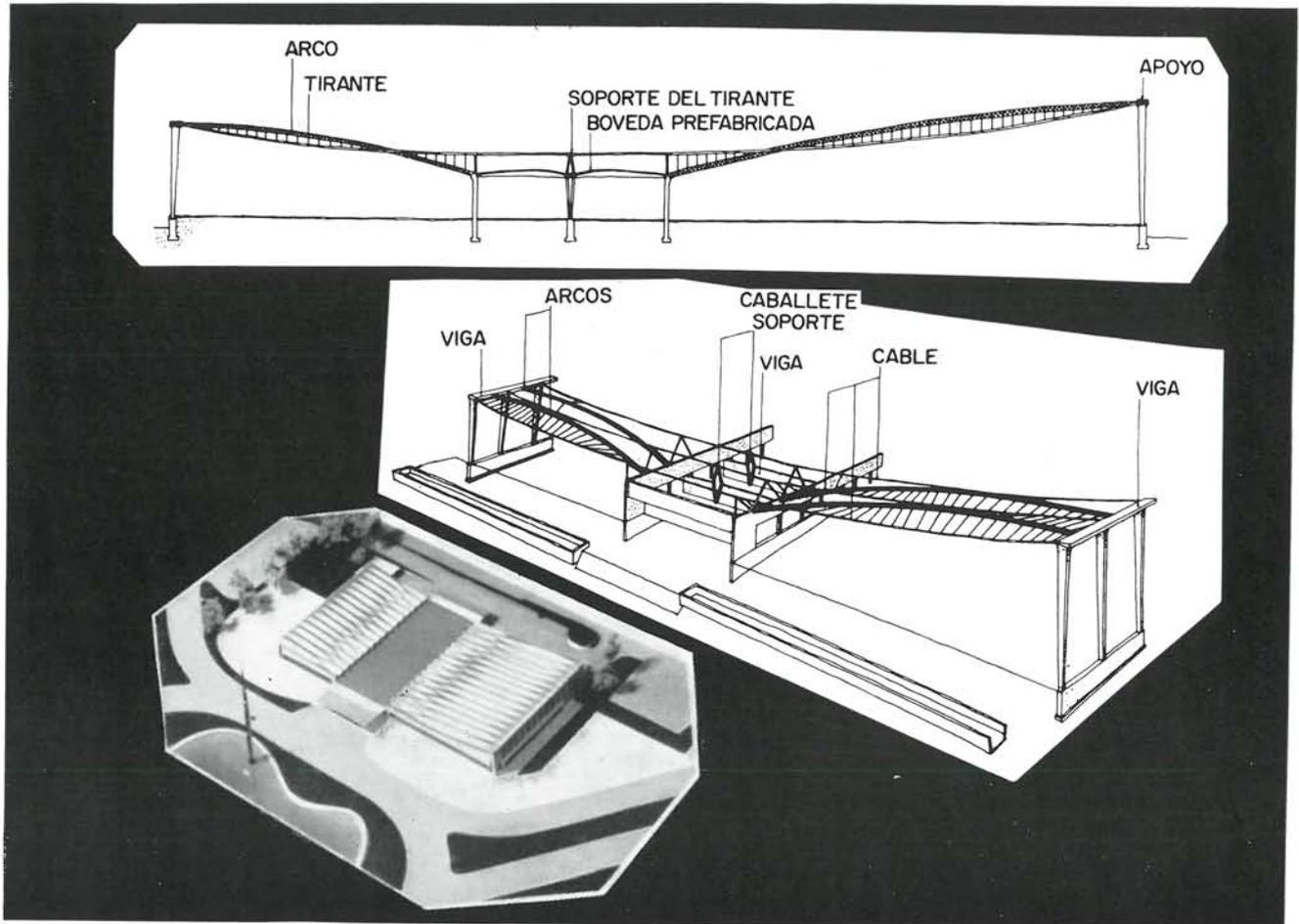
sinopsis

En la construcción de cubiertas, para grandes edificios, como el supermercado de Varsovia (Polonia), recientemente construido, se sigue el criterio de luces óptimas. El coste de la cubierta no está en razón directa con la luz, pero sí lo está con relación a su peso unitario.

La cubierta tiene 82×42 m en planta. En su concepción se ha seguido el principio racional de introducir elementos estructurales que se hallan sometidos a cargas lo más uniformes posibles.

Las soluciones estudiadas son cuatro: La primera consiste en una cubierta suspendida con cables anclados en la parte central y en las extremidades; la segunda, también suspendida, pero sin anclaje de cables en la parte central; en la tercera, se hace uso de ménsulas atirantadas; la cuarta es muy parecida a la tercera, pero con las ménsulas formando arco, de cuyo efecto se saca partido para disminuir la tensión de los tirantes, ya que dicho efecto se aprovecha para la transmisión parcial de la carga al cuerpo rígido central.

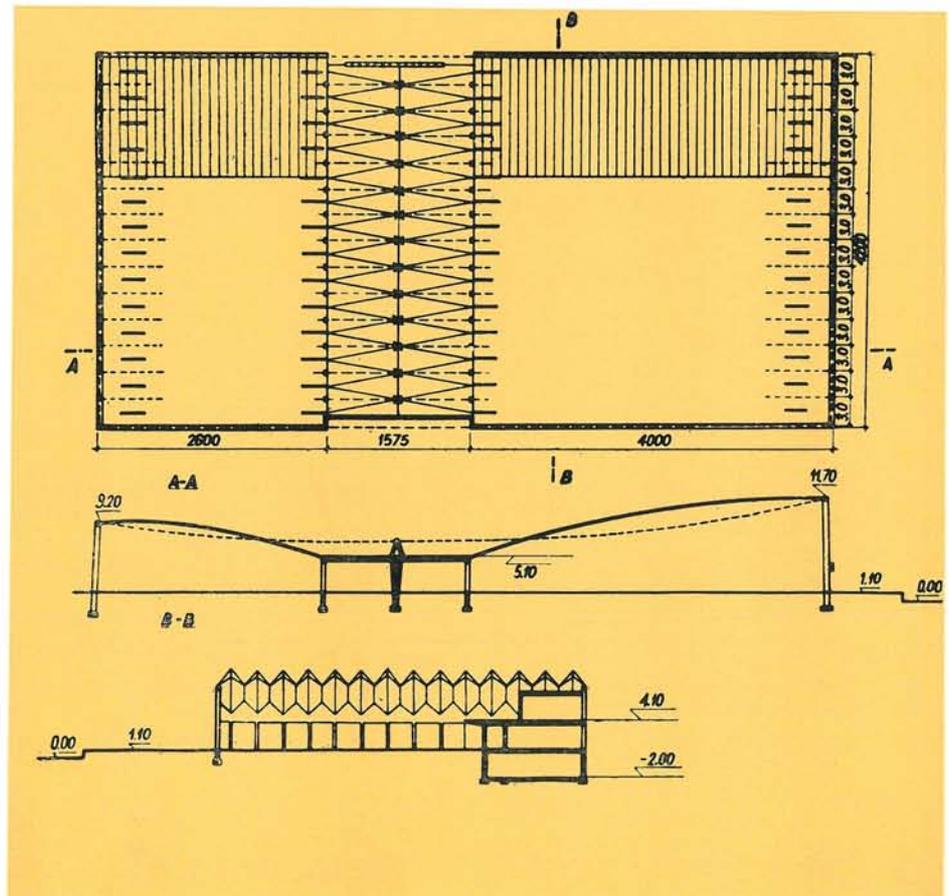
La última de estas soluciones—que es la que se eligió—asocia los tirantes con las ménsulas, que forman arco, y que se apoyan en el cuerpo central.



Sección, perspectiva y maqueta del supermercado.

Planta y secciones.

Este edificio, destinado a un supermercado en la ciudad de Varsovia (Polonia), ha sido proyectado por el profesor arquitecto Jerzy Hryniewiecki en colaboración con los arquitectos Ewa y Maciej Krasiecki, y construido por un grupo de constructores, entre los que se cuenta el autor de este trabajo.



generalidades

En la construcción de cubiertas de grandes luces se sigue el criterio económico de la luz óptima. El coste de una cubierta de este tipo no se halla en razón directa con la luz y, si se tienen en cuenta los materiales empleados, el coste resulta función del peso unitario, del radio de curvatura de los elementos resistentes o de las flechas de los elementos sometidos a flexión y, finalmente, del coste de los elementos auxiliares que no transmiten las fuerzas directamente a los apoyos.

hipótesis

Este supermercado se ha realizado siguiendo la vía de concurso. En su concepción, el edificio se compondría de tres subdivisiones: una para almacenamiento y servicios de bar, parte central de conservación y otra para servicios generales del supermercado.

La importancia de esta estructura se concentró en su cubierta. El edificio tiene, en planta, una superficie de 82×42 m. A pesar de la diversidad de funciones se ha procurado que los diversos elementos estructurales se hallen sometidos a cargas lo más iguales posibles, lo que constituye un principio en esta concepción.

solución

De acuerdo con los conceptos establecidos y el deseo de llegar a una construcción económica en general, se han admitido los siguientes supuestos:

1) Dada la anchura límite de 42 m, no parece aconsejable el empleo de láminas de hormigón armado construidas sobre encofrados móviles, habida cuenta de la insuficiente repetición de ciclos.

2) La prefabricación se descarta, pues las series de elementos diferentes resultan ser muy reducidas en número en cada una de ellas.

3) La solución metálica, de nudos sencillos, parece aportar mejores posibilidades económicas.

4) Una cubierta ligera, metálica, es cara.

5) Las posibilidades para una cubierta ligera, por ejemplo de chapa de acero, requiere pendientes superiores a las propias del perímetro de la obra.

Por todo esto, el estudio previo para llegar a la solución final se ha basado en los principios siguientes:

1) Obtener el máximo rendimiento de los materiales.

2) Transmisión directa de cargas sobre los apoyos.

3) Llegar, con la mayor aproximación posible, a una carga única de trabajo en los diferentes elementos estructurales.

En el sentido longitudinal, el edificio se subdivide en: 40 m para la parte de almacenamiento; 16 m, para el cuerpo central, y 26 m, para los servicios del supermercado y bar. La parte central constituye un cuerpo rígido y sólido como apoyo.

Las soluciones estudiadas son cuatro: La primera consiste en una cubierta suspendida, con cables anclados en la parte central y en las extremidades; la segunda, también suspendida, pero sin anclaje de cables en la parte central; la tercera, en el empleo de ménsulas atirantadas, y la cuarta, similar a la tercera, pero con la variante de tener las ménsulas forma de arco, de cuyo efecto se aprovecha para disminuir la tensión de los tirantes, ya que dicho efecto transmite parcialmente la carga al cuerpo rígido central.

Esta última solución asocia los tirantes con las ménsulas, en forma de arco, apoyadas en el cuerpo central. Los arcos o nervios de las ménsulas se hallan separados alternativamente de

los cables a la distancia de 1,50 m en planta. Los pilares de los muros exteriores se han espaciado a 3 m, y están contenidos en el plano de influencia de los tirantes. Las componentes verticales de los tirantes se absorben en los referidos pilares. Las componentes horizontales se hallan equilibradas por las vigas de cadena de la parte superior del edificio. El equilibrio entre estas fuerzas o componentes horizontales constituye un sistema de fuerzas definidas como interiores.

Admitiendo una repartición uniforme de carga por metro cuadrado en planta como base de partida para el cálculo, el arco de las ménsulas tiene por ecuación la parábola:

$$y = ax^2 + bx + c$$

con el eje OY en sentido vertical. Para el cálculo de las fuerzas interiores sólo es esencial el valor del coeficiente a . De la colinealidad del eje de los elementos y de la línea de influencia de las fuerzas interiores, la línea de presiones tiene por expresión:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{q}{H} = 2a \quad [1]$$

donde q es la carga permanente uniformemente repartida, y H , la componente horizontal o empuje de las fuerzas interiores. Como $2a$ es igual a la inversa del radio de curvatura en el vértice de la parábola, llamando a éste R_o tendremos:

$$2a = \frac{1}{R_o} = K_o \quad [2]$$

llamando a K_o la curvatura en el vértice. De donde se deduce:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = 2a = \frac{1}{R_o} = \frac{q}{H}$$

$$H = qR_o \quad \text{y, también,} \quad q = \frac{H}{R_o} \quad [3]$$

Si consideramos que el trabajo conjunto de cables y nervios (arcos) se verifica con los radios de curvatura R_o^c y R_o^a , respectivamente, la carga total q se verá repartida en dos:

$$q = q_a + q_c,$$

en cuyo caso, por aplicación de [3] tendremos, igualando las componentes horizontales o empuje:

$$H_a = q_a \cdot R_o^a = H_c = q_c R_o^c \quad \text{y puesto que } q_a + q_c = q,$$

$$q_a = q \cdot \frac{R_o^c}{R_o^a + R_o^c} \quad \text{y, además:} \quad q_c = q \cdot \frac{R_o^a}{R_o^a + R_o^c}$$

$$H_o = H_c = H = q \cdot \frac{R_o^a \cdot R_o^c}{R_o^a + R_o^c} = q \cdot \frac{1}{\frac{1}{R_o^a} + \frac{1}{R_o^c}} = q \cdot \frac{1}{K_o^a + K_o^c} \quad [4]$$

donde K_o^a y K_o^c es la curvatura en el vértice de la parábola.

Como puede apreciarse en [4] las curvaturas contribuyen a la reducción de esfuerzos al trabajar solidariamente cables y nervios (arcos).

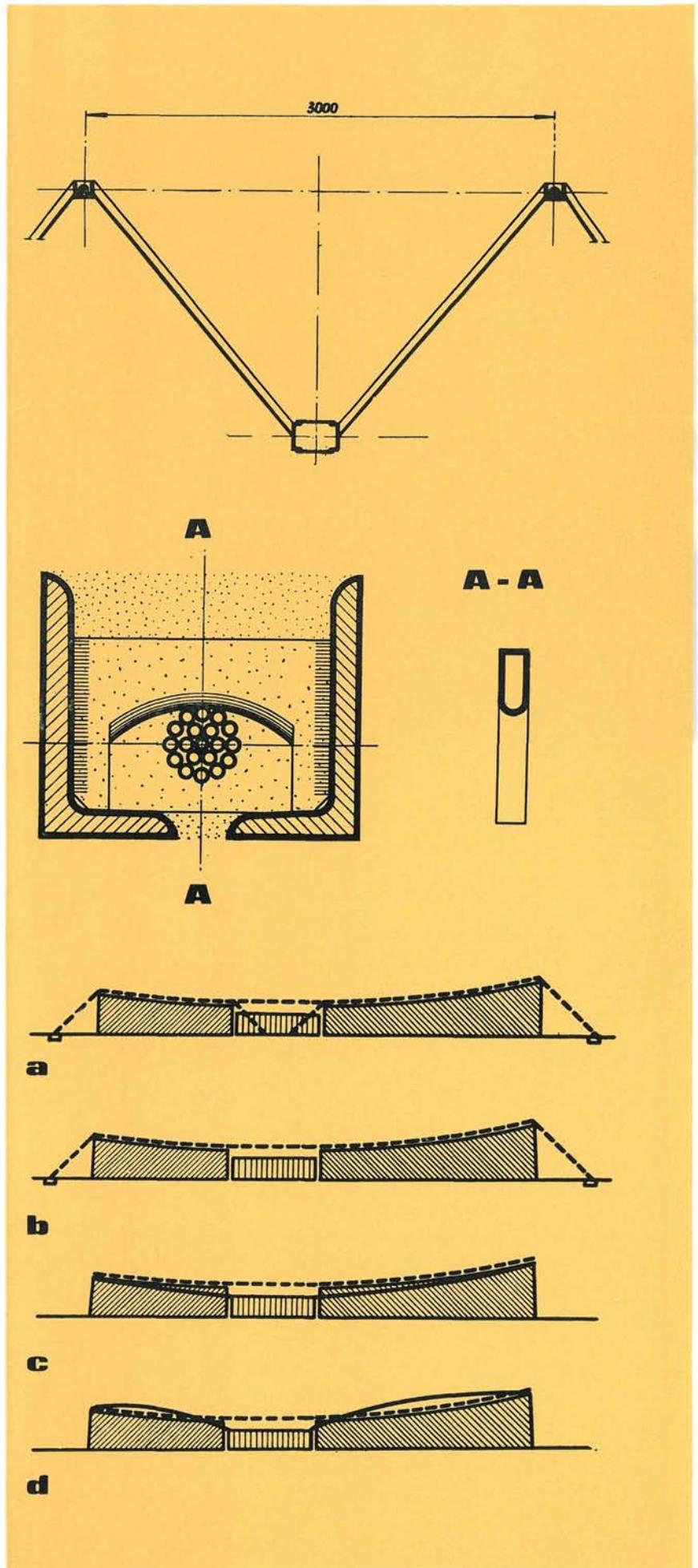
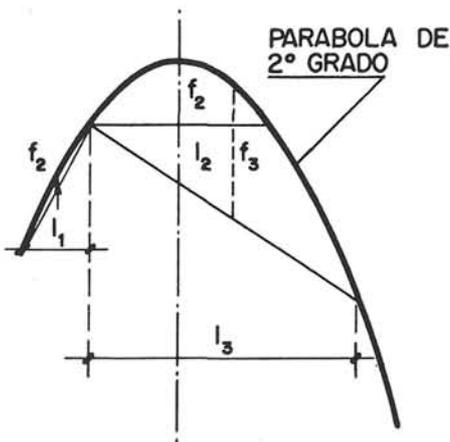
Pliegue de cubierta.
 Posición de un cable.
 Soluciones estudiadas.
 Propiedad de la parábola.

Para apreciar el grado de curvatura se puede operar directamente sobre el dibujo, obteniendo flechas y luces en los ejes de cada elemento finito considerado y, además, si recordamos la propiedad de la parábola de segundo grado en la que:

$$R_o = \frac{l_1^2}{8f_1} = \frac{l_2^2}{8f_2} = \frac{l_i^2}{8f_i}$$

En la que R_o es la curvatura en el vértice, l , la luz, y f , la flecha entre una cuerda y la parábola, según una línea paralela al eje OY, y si suponemos que l es constante, tendremos:

$$q_a = q \cdot \frac{R_o^c}{R_o^a + R_o^c} = q \cdot \frac{\frac{l^2}{8f_c}}{\frac{l^2}{8f_a} + \frac{l^2}{8f_c}} = q \cdot \frac{f_a}{f_c + f_a};$$





y otro tanto para q_c :

$$q_c = q \cdot \frac{f_c}{f_c + f_a}$$

$$\text{con } H = q \cdot \frac{l^2}{8(f_c + f_a)}$$

Siguiendo este método, las fuerzas internas, definidas anteriormente, se calculan directamente, ya que resultan ser el cociente de las cargas unitarias por la suma de las curvaturas, sin necesidad de pasar por las condiciones de equilibrio de los momentos de las fuerzas interiores y exteriores del sistema.

Colocación de un elemento de arco.

Arranque de elementos en el cuerpo central.



Los ejes de los elementos que trabajan axilmente constituyen la imagen de los momentos flectores. Según la acción de las cargas sobre las diferentes partes de la construcción, las curvas de los referidos ejes representan los diagramas de momentos que, en este caso, son arcos de parábolas de segundo grado o rectas. El cuerpo central, rígido, escapa a estas consideraciones.

Las naves laterales, cuyas cubiertas son del mismo género y peso, se caracterizan por la forma del trazado de cables y arcos, concebidos según arcos de parábola de parámetros distintos.

Las curvas que forman los ejes de los elementos de estas cubiertas parciales tienen el mismo radio de curvatura en el vértice de sus parábolas, lo que equivale a decir que todos los coeficientes de x^2 en las distintas parábolas son iguales. Todo esto se puede extender a los semiarcos o nervios de las dos naves laterales.

Esta dependencia no parece se halle ligada a las luces de los diferentes trozos de la construcción, y constituye la nota característica.

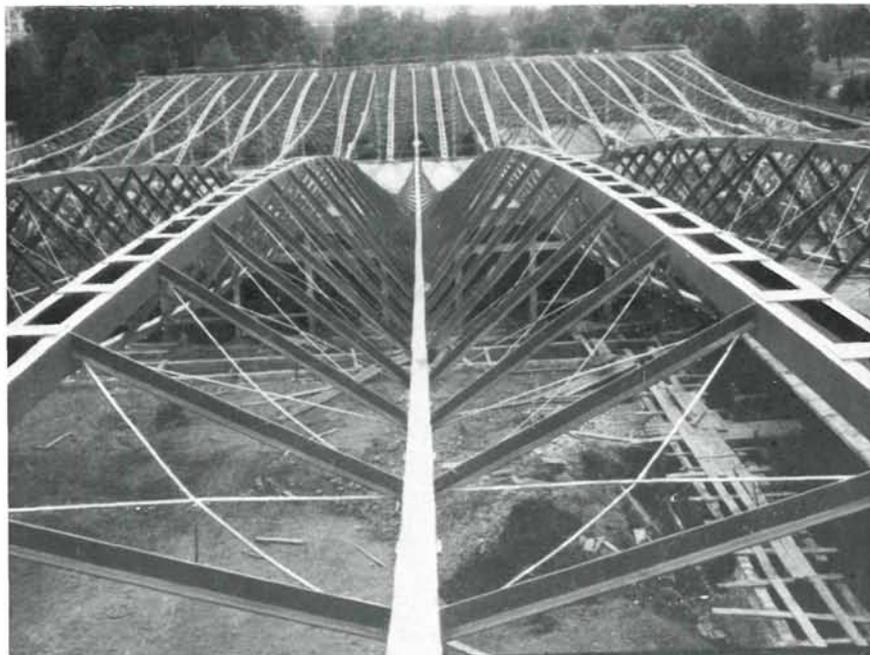
Si la carga se reparte uniformemente, el valor de los esfuerzos axiales es casi constante, pero si por cualquier causa—viento, nieve o lluvia—la sobrecarga no es uniforme, la absorción de los



Soportes de extremos.



Montaje terminado.



empujes distintos crea esfuerzos axiales, y éstos se absorben por medio de unos castilletes robustos, metálicos, que se anclan en la parte superior del cuerpo rígido central, del que sobresalen.

La falta de uniformidad de la repartición de cargas en las distintas partes de la construcción, así como la acción de un viento de dirección variable, pueden dar origen a momentos flectores en los arcos y tirantes y, por ello, es necesaria la presencia de elementos de interconexión sometidos a tracciones o compresiones.

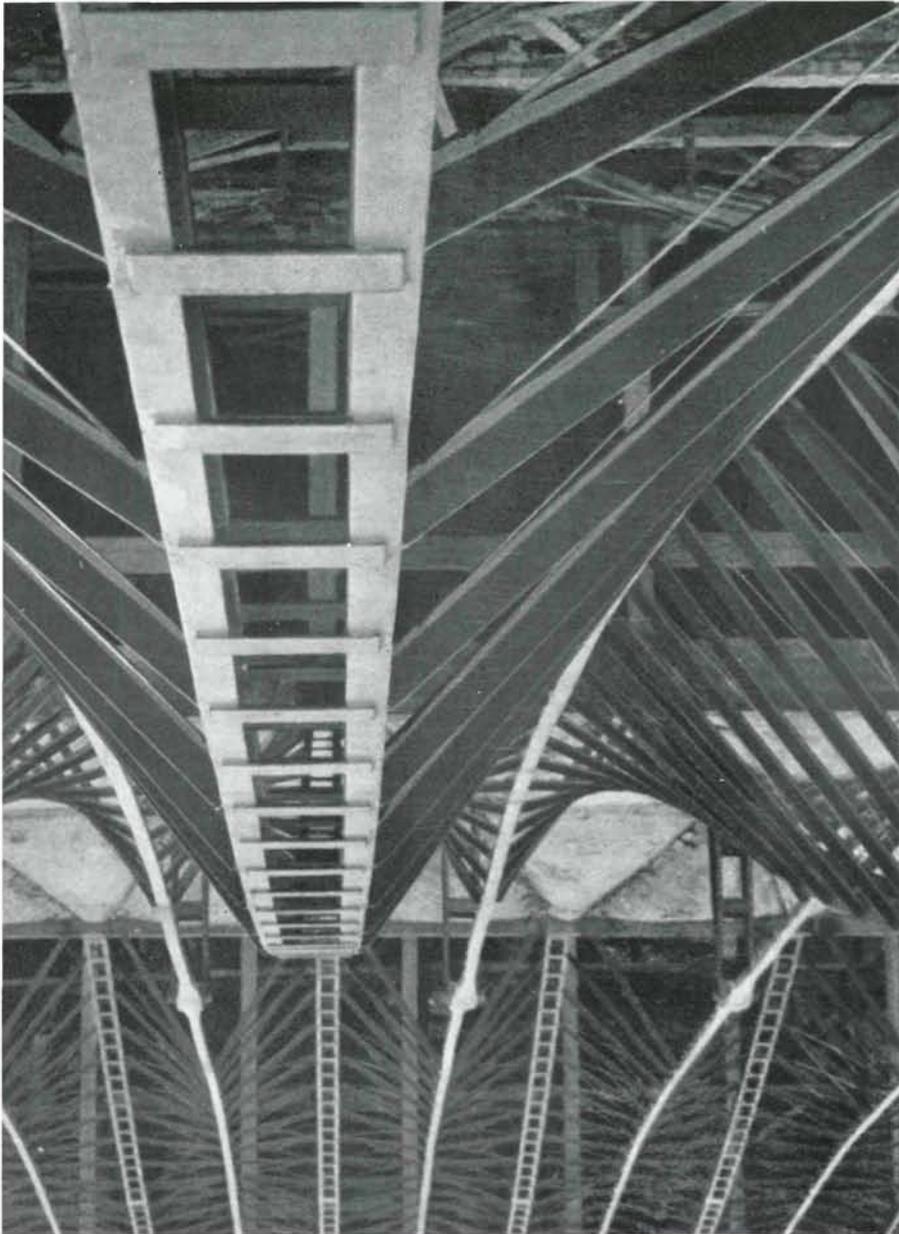
Estos elementos forman las superficies alabeadas de los pliegues de la cubierta, y sobre ellos descansan los materiales de cierre y cubrición.

ejecución

Se empezó la obra construyendo la parte rígida central con fábrica de ladrillo, que se cubrió con una bóveda de piezas prefabricadas, en forma de triángulo esférico, que permitió la transmisión directa de las fuerzas horizontales a las del castillete superior de anclaje de cables.

En la parte posterior del edificio, las naves cuentan con un forjado prefabricado apoyado sobre vigas pretensadas, creando una entreplanta, a lo largo del muro, de 82 m de longitud.

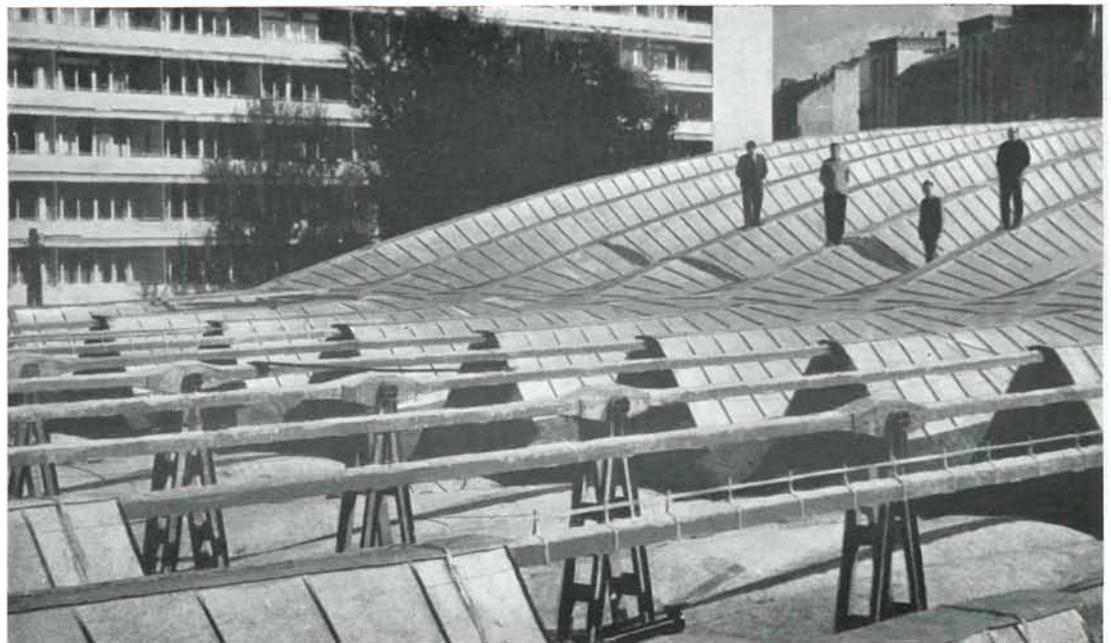
**Vista próxima del entramado de cubierta.
Tramo de un cable entre dos arcos rígidos.
Caballetes soporte de cables.**



Los montantes de los muros laterales se unen entre sí, en la parte superior, por medio de vigas constituyendo cadena.

Para el montaje del entramado metálico de la cubierta se prepararon, en taller, trozos de 14 m de longitud. Cada uno de estos segmentos, de 3 m de anchura, presenta una sección cuyos lados laterales componen las medias partes que corresponden a la sección por los tirantes.

La parte de cubierta que corresponde al almacén, de 40 m de longitud, se ha montado en tres partes, mientras que la correspondiente al bar, de 26 m de longitud, se compone de dos partes. Los entramados de andamios para estos montajes se iban corriendo lateralmente. Después del montaje de estos elementos se procedió a colocar los cables, compuestos de 18 alambres, de 5 mm de diámetro, por abajo de las placas de unión.

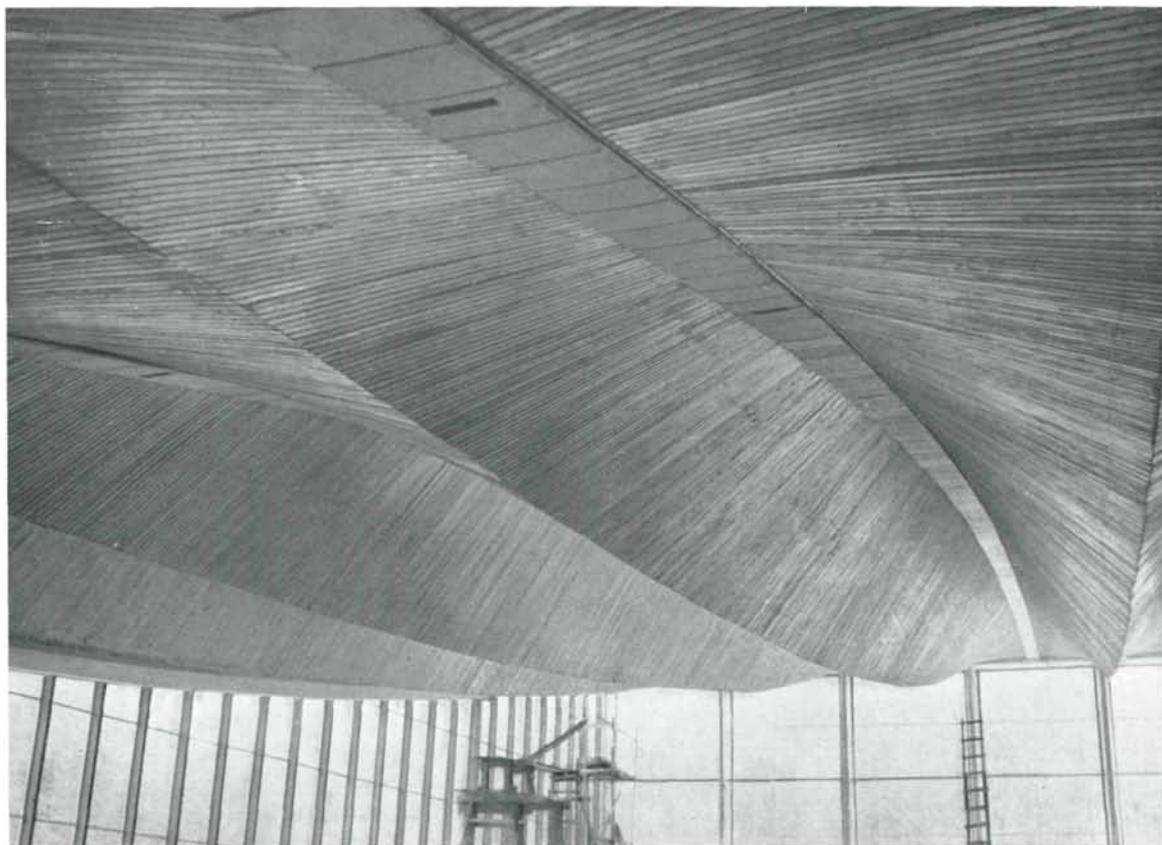


Cresta formada por un arco.
Cubrición de la cubierta.

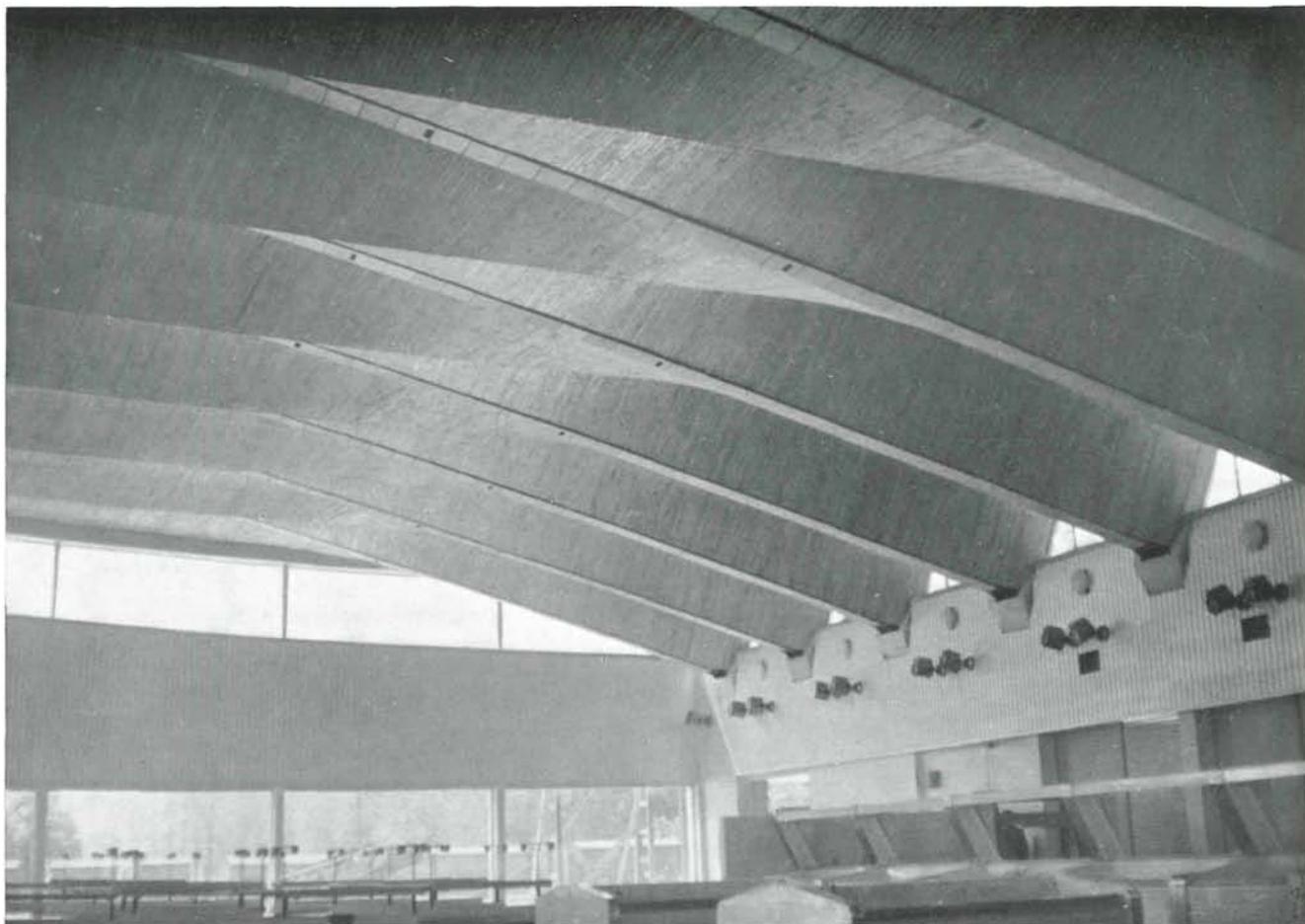
Al principio, el tirante, formado por angulares de 100×50 mm, absorbe todo el esfuerzo de tracción. Al tesar los cables aparece una compresión que se traduce en una reducción de la mitad en los perfiles de acero. Terminado el tesado, los cables se fijan a los castilletes. Las vainas de los cables se han inyectado a fin de evitar la corrosión.

Los nervios, en forma de arco, presentan un hueco interior, que se ha aprovechado para el paso de las canalizaciones de aire procedente del ventilador.

El aislamiento térmico está constituido por paneles flexibles de fieltro, y la protección contra la lluvia o cerramiento se ha logrado utilizando planchas galvanizadas apoyadas sobre madera. El techo está formado por listones de ma-



Fachada principal.
Techo de madera.



dera, que siguen, en su disposición, la forma de la superficie plegada de la parte exterior de la cubierta.

Estos listones se han pintado con un barniz incombustible. Las cristalerías laterales y los lucernarios de la parte central proporcionan una iluminación natural suficiente.

conclusión

El edificio del supermercado de Varsovia, el mayor de este tipo en Polonia, se puede incluir entre las construcciones llamadas económicas, debido, en su mayor parte, a los sistemas constructivos empleados. Pero, sin duda alguna, su mayor mérito lo merecen las personas encargadas de su dirección y ejecución, es decir, el arquitecto Maciej Krasicki, y el ingeniero constructor Andrzej Zórawski.

interiores

Supermarché de Varsovie

Waclaw Zalewski, Docteur ingénieur.

Prof. Jerzy Hryniewecki et Ewa et Maciej Krasicki, architectes.

Pour la construction de couvertures de grands édifices, comme le supermarché de Varsovie (Pologne), récemment construit, le critère de portées optima est suivi. Le coût de la couverture n'est pas en rapport direct avec la portée, mais si avec le poids unitaire.

La couverture a 82×42 m en plan. Pour sa conception a été suivi le principe rationnel d'introduire des éléments structuraux soumis à des charges les plus uniformes possibles.

Quatre solutions ont été étudiées. La première consiste en une couverture suspendue à l'aide de câbles ancrés à la partie centrale et aux extrémités; la seconde, également suspendue, mais sans ancrage de câbles à la partie centrale; la troisième est en encorbellement munie de câbles et la quatrième, presque pareille, mais avec l'unique variante des encorbellements en arc, dont l'effet est utilisé pour la transmission des charges directement au corps central de l'ouvrage.

L'ensemble des encorbellements et des tirants constitue un tout en forme d'arc convenablement rigide.

Warsaw supermarket

Waclaw Zalewski, Dr. eng.

Prof. Jerzy Hryniewecki y Ewa y Maciej Krasicki, architects.

When constructing roofs for large buildings, such as the Warsaw Supermarket, recently completed, it is often aimed to achieve the largest possible free spans. The cost of the roof is not proportional to the span, but it does depend on the weight per unit area.

In this case the roof has a plan area of 82×42 ms. In its design the principle of obtaining the most uniform distribution of loading has been followed.

Four alternative designs have been considered. The first one was a roof supported by cables attached to the central part of the roof and to the extremities. The second also consisted of a suspended roof, but the cables were not anchored at the central part. The third design involves cantilevers with tie members. The fourth design is very similar to the third, but the cantilevers form a continuous arch, whereby the load on the tie members is reduced, as the arch transmits the load partially to the rest of the rigid structure.

The last of these four designs was adopted. In this the tie members, and the cantilevers, work together and are continuous with the rest of the structure.

Super-Markt von Warschau

Waclaw Zalewski, Dr.-Ingenieur.

Prof. Jerzy Hryniewecki und Ewa und Maciej Krasicki, Architekten.

Bei dem Bau von Dächern für grosse Gebäude, wie der Super-Markt von Warschau, Polen, der neuerdings erbaut wurde, verfolgt man den Gesichtspunkt der grössten Spannweiten. Der Kostenaufwand des Daches steht nicht in direktem Verhältnis mit der Spannweite, und doch mit dem einheitlichen Gewicht. Das Dach hat 82×42 m im Grundriss. In ihrer Eingebung hat man den vernünftigen Grundsatz verfolgt, Strukturelemente einzuführen, die möglichst einheitlichen Belastungen unterworfen sind.

Die studierten Lösungen sind vier. Die erste besteht in einem Hängedach mit in dem Mittelteil und an den äusseren Enden verankerten Drähten. Die zweite, auch Hängedach, aber ohne Verankerung der Drähte im Mittelteil. In der dritten macht man Gebrauch von verankerten Ausladungen. Die vierte ist der dritten sehr ähnlich, aber mit Ausladungen, die einen Bogen bilden, aus deren Wirkung man Nutzen zieht, um die Spannung der Zugglieder zu vermindern, da man die genannte Wirkung ausnützt für die teilweise Uebertragung der Belastung auf den steifen Mittelkörper.

Es ist die letzte dieser Lösungen, die auserwählt wurde; sie verbindet die Zugglieder mit den Ausladungen, die einen Bogen bilden und sich auf den Mittelkörper stützen.