Informes de la Construcción Vol. 18, nº 175
Noviembre de 1965

cubierta metálica espacial, en Madrid

RAFAEL BUZON de OTEP, S. L.
PABLO BUENO y JOSE CALAVERA, ingenieros consultores

886 - 11

sinopsis Este artículo describe una cubierta de estructura metálica espacial en la Fábrica de Cervezas MAHOU, en Madrid. El proyecto de la fábrica es de los arquitectos Antonio Perpiñá, José Luis Sanz Magallón y Luis Iglesias, en colaboración con los cuales se ha desarrollado el presente trabajo.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

Generalidades

A la Sociedad de Cervezas MAHOU, dentro del programa de construcción de nuevas instalaciones en su fábrica de Madrid, se le presentó el problema de cubrir una nave rectangular de 57 × 46 m en planta. El estilo arquitectónico de todo el conjunto de la fábrica exigía una solución de cubierta casi horizontal. Por otra parte, el cliente deseaba prescindir de soportes intermedios, ya que la nave está destinada al almacenamiento de cajas de cerveza y la experiencia había demostrado que la existencia de soportes intermedios conducía a una rigidez perjudicial en la ordenación de las cajas y en la circulación interior de vehículos.

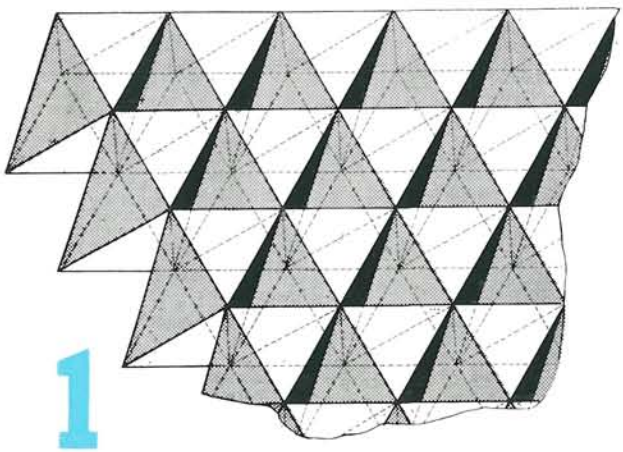
Todo ello reducía el número de soluciones de cubierta convenientes a dos tipos generales: El primero de ellos agrupaba las soluciones de sistemas de vigas paralelas, de 46 m de luz, sobre las que se apoyaba otro sistema de vigas secundarias que, a su vez, soportarían las correas. El segundo tipo englobaba las soluciones de estructura triangulada espacial.

Realizado un tanteo de costes, resultó económicamente ventajosa en un 20 por 100 la solución de estructura triangulada espacial, cuyo aspecto estético y carácter espectacular fueron también tenidos en cuenta por el propietario (1).

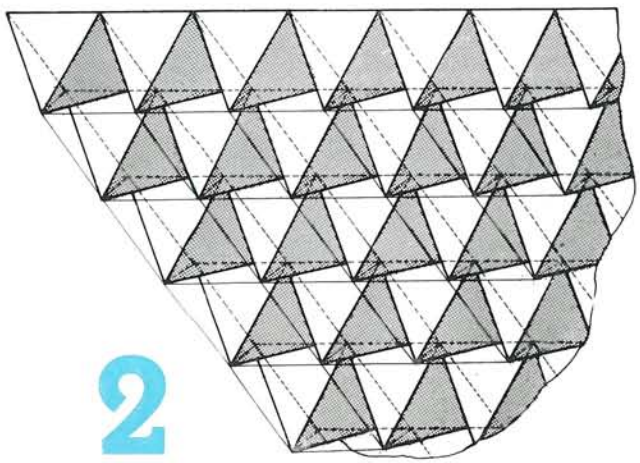
Consideraciones previas

Las estructuras espaciales de perfiles metálicos han experimentado en los últimos años un considerable desarrollo; pero si bien este desarrollo ha estado en parte frenado por la ausencia de métodos adecuados de cálculo, o debido a la complejidad de los existentes, se ha visto también en parte favorecido por la economía de sus soluciones y las grandes posibilidades estéticas de este tipo de estructuras, e incluso como consecuencia de la aptitud que ofrece para cubrir grandes espacios sin soportes intermedios, problema que cada día se presenta con más frecuencia.

(1) En noviembre de 1963 se cubrieron dos naves gemelas de 27 × 25 m en la misma factoría utilizando la misma solución.



1



2

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

Debe considerarse que, en principio, la estructura espacial es la solución natural al problema de cobertura de un recinto, y que el sistema tradicional de organizar la estructura de cubierta en dos sistemas de piezas planas (cerchas o vigas y correas), no es más que el resultado de operar por abstracción sobre el problema planteado para reducirlo a casos resueltos dentro de la teoría de la resistencia de materiales.

Por supuesto, esto ha ocurrido en todas las etapas del desarrollo de la Ciencia de la construcción, ya que en definitiva es la necesidad de solución de nuevos problemas la que obliga al desarrollo de nuevas teorías de cálculo. Sirva como ejemplo la presión que el desarrollo industrial del siglo XIX ejerció, a través de la necesidad de naves de gran luz, sobre el establecimiento de los sistemas de cálculo de las estructuras planas trianguladas.

El paso de estructura de piezas planas a estructura espacial no es exclusivo de la estructura metálica, pues ya desde hace muchos años se ha presentado en el campo del hormigón armado con la aparición de las estructuras laminares, e incluso dentro del propio campo de las soluciones metálicas con las cubiertas de cables.

Entre todas las soluciones de estructura metálica espacial triangulada de superficie plana, las dos que parecen ofrecer más posibilidades son las formadas por octaedros y por pirámides cuadrangulares. Ambas pueden considerarse como extensiones de los sistemas de emparrillados de vigas y presentan grandes analogías con las placas de material homogéneo y anisótropo (1 y 2).

Solución adoptada

En el caso presente hemos adoptado una estructura espacial formada por octaedros, lo cual, en definitiva, constituye una solución triangulada espacial que presenta una extraordinaria rigidez y una gran sencillez de construcción. El lado de los triángulos horizontales es de 1,87 m; el canto, de 2,20 m, y la longitud de diagonales, de 2,45 metros.

La estructura ha sido enteramente construida en tubo, puesto que este perfil presenta para este tipo de soluciones dos ventajas fundamentales.

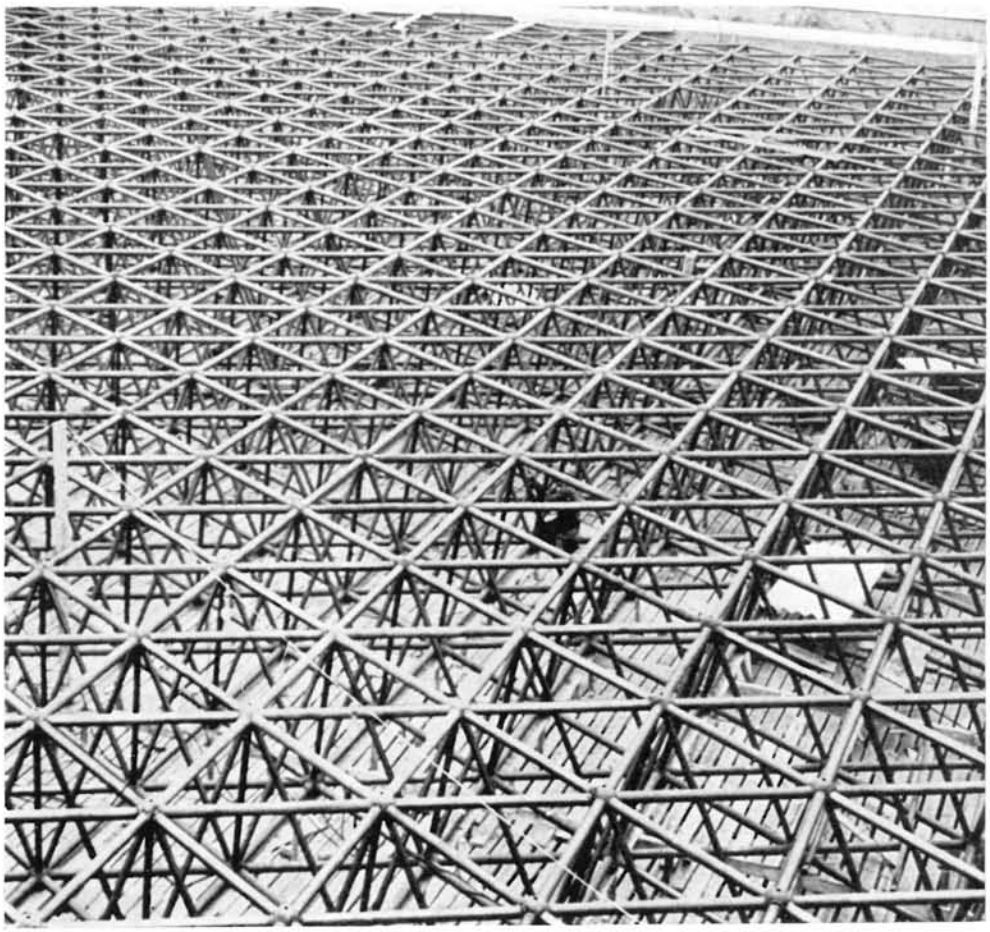
Una de ellas es la adecuación al tipo de esfuerzos que se presentan en las piezas y que son fundamentalmente axiles, ya que los esfuerzos secundarios son despreciables. El tubo ofrece desde este punto de vista una apreciable ventaja económica. El peso total de la estructura metálica representa 40 kg/m^2.

Por otra parte, se han adoptado para las piezas de nudo unas esferas de acero de 23 cm de diámetro y 7 mm de espesor (*). La intersección del tubo con la esfera es plana y normal al eje del tubo. Como la fabricación de los tubos de acero se realiza con máquinas automáticas que parten de rollos de fleje de peso relativamente grande, se fabrican piezas de gran longitud que son cortadas de forma también automática en la salida de la máquina. Ello permite a los fabricantes suministrar el tubo a la medida requerida. En estructuras de este tipo, en las que existe un gran número de piezas iguales, esto

(*) En otras realizaciones no conseguimos resolver el problema de la fabricación de las piezas esféricas de los nudos, lo cual condujo al empleo de casquillos de tubo con la consiguiente complicación en la preparación de piezas.

Véase: P. Bueno y J. Calavera, «Cubierta de estructura metálica tridimensional», Revista TA, núm. 42, 1962.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc) http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

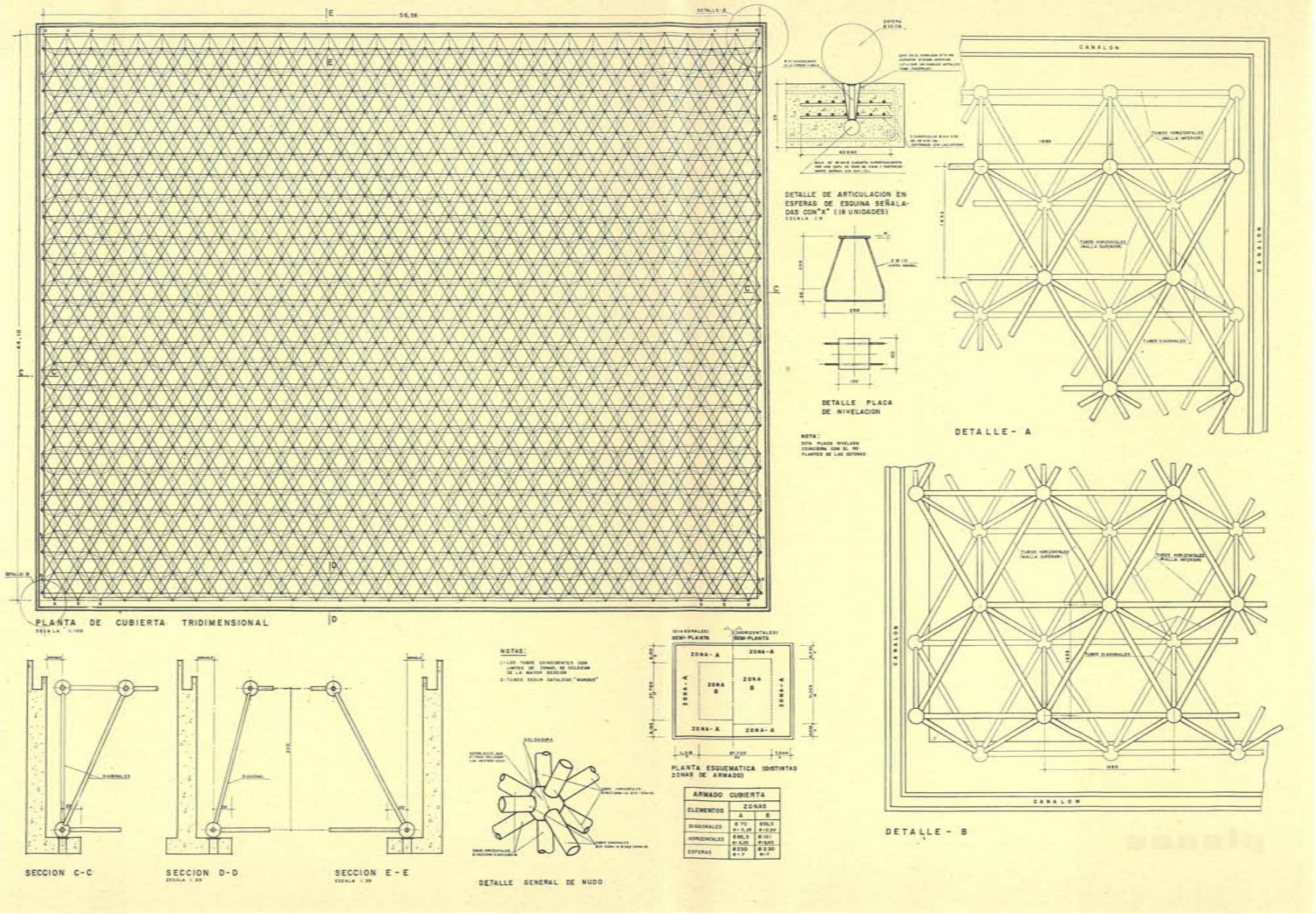


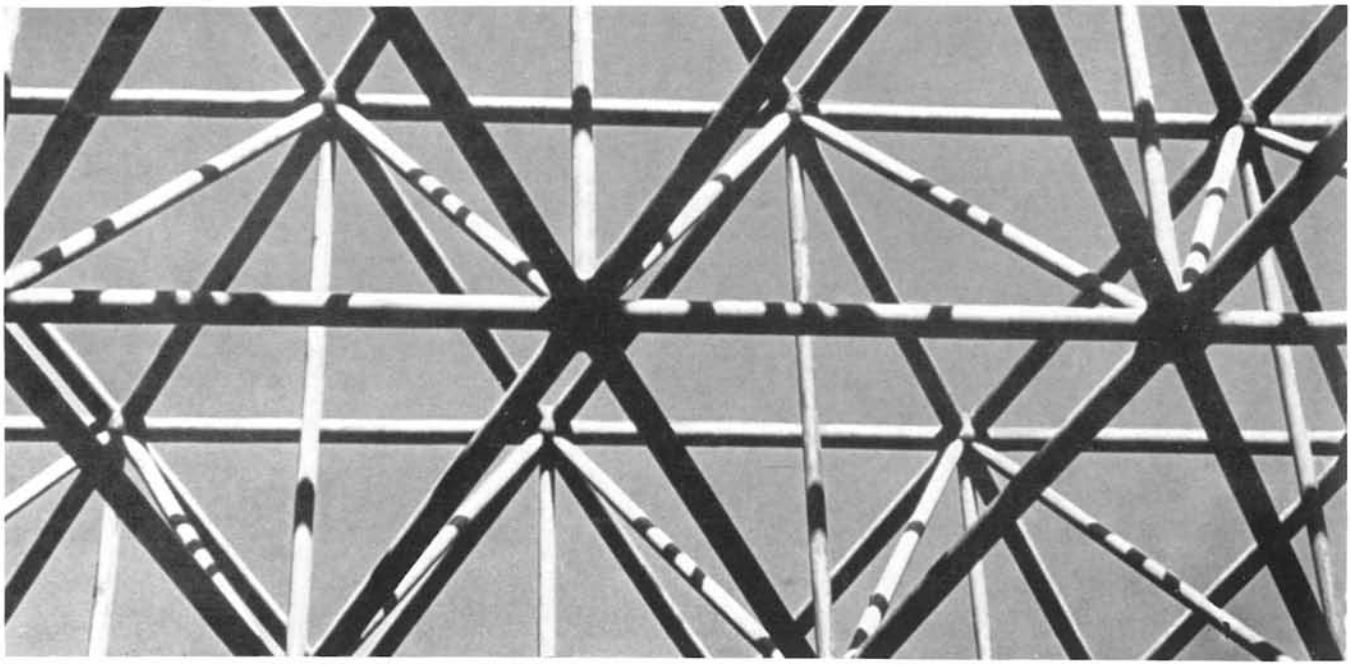
© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

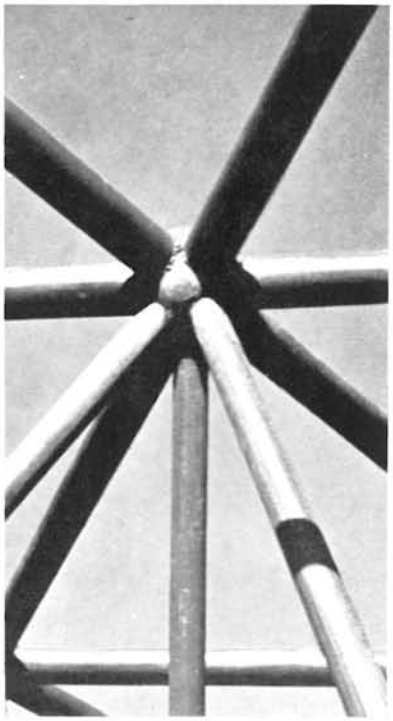
planos

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

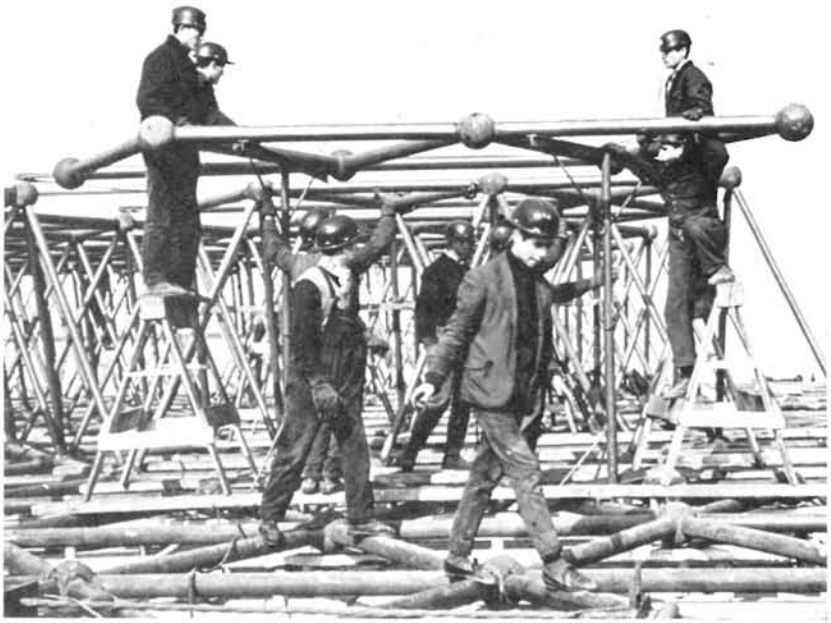
© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es







detalle de nudo



© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

anula, por un lado, la existencia de despuntes y suprime totalmente todo trabajo de elaboración y corte de piezas. La construcción se reduce al montaje y soldadura de tubos y esferas tal como son enviadas por los respectivos fabricantes. La adopción de perfiles laminados, aun formando perfiles cerrados, complicaría mucho la ejecución, pues requieren una considerable preparación en taller.

El apoyo perimetral es libremente dilatable, apoyando las esferas de contorno sobre placas metálicas hormigonadas en la viga perimetral del soporte. Unicamente cinco esferas en cada vértice del rectángulo (la de esquina y las dos contiguas de cada lado que concurren en el vértice) han sido ancladas para impedir el levantamiento de las puntas. Con el fin de impedir el levantamiento de dichas esferas y facilitar la dilatación por temperatura de la cubierta, se han empleado unos péndulos formados por un redondo soldado inferiormente a otra pequeña esfera que queda introducida en el hormigón de la viga perimetral y protegida con una capa de yeso para permitir la rotación del péndulo así formado.

Proceso constructivo

Las cubiertas de este tipo pueden construirse sobre la propia solera e izarlas posteriormente, o bien sobre un andamiaje en la posición definitiva. En cubiertas de dimensiones pequeñas o medianas (hasta 15-20 toneladas de peso total), el sistema de construcción en solera es, a nuestro juicio, el más económico (*). En cubiertas de dimensiones grandes, como en el caso que nos ocupa, la elevación de la estructura total requeriría medios muy costosos, pero es fácil dividirla en zonas y elevarlas independientemente, apoyando cada zona en tres torres de andamiaje y procediendo posteriormente a la soldadura de unión de las distintas zonas.

Sin embargo, en nuestro caso, el cliente necesitaba ocupar rápidamente la nave y se montó un andamiaje completo que permitió iniciar la construcción por varios puntos simultáneamente. Si bien esto representó un gasto extra respecto a las otras soluciones apuntadas, permitió construir la estructura completa y montarla en treinta y dos días. Se realizó un trabajo previo en taller, que consistió en soldar bastidores de cuatro triángulos pertenecientes a las caras superior e inferior de la cubierta.

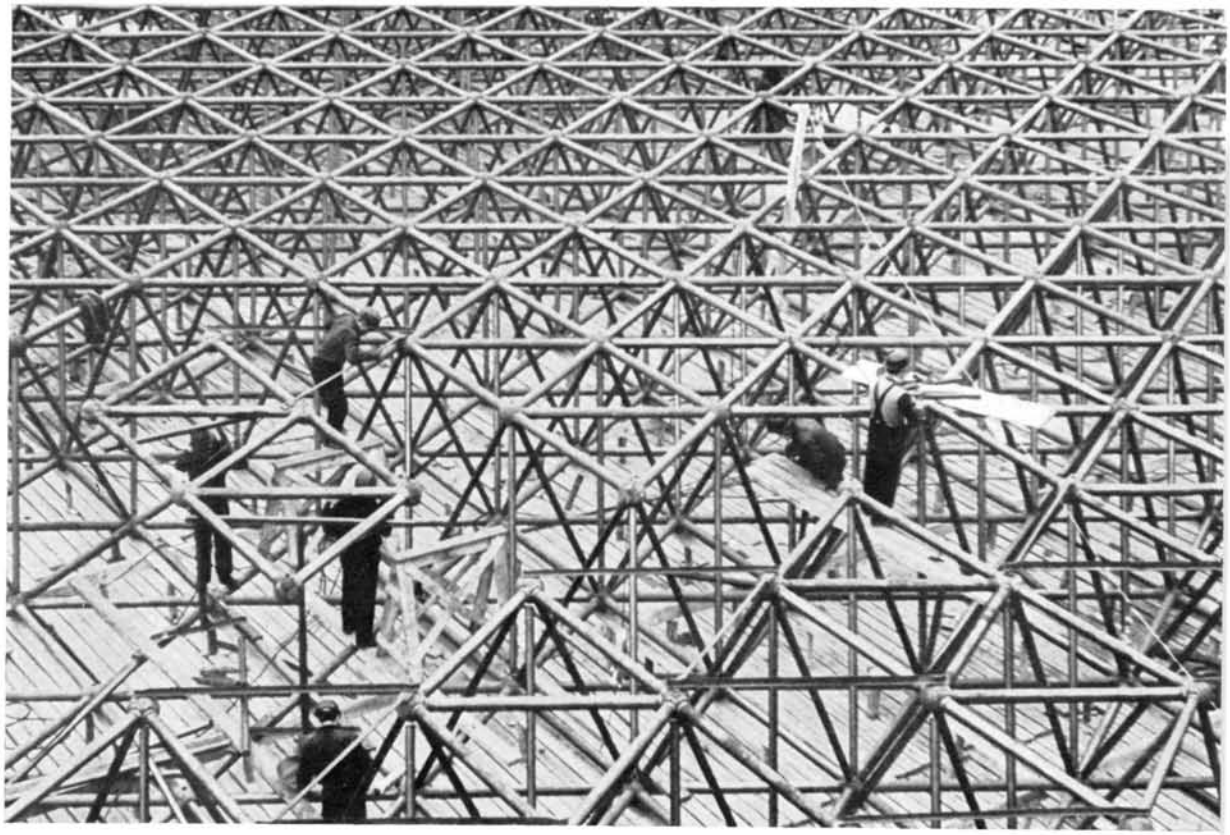
Material de cobertura

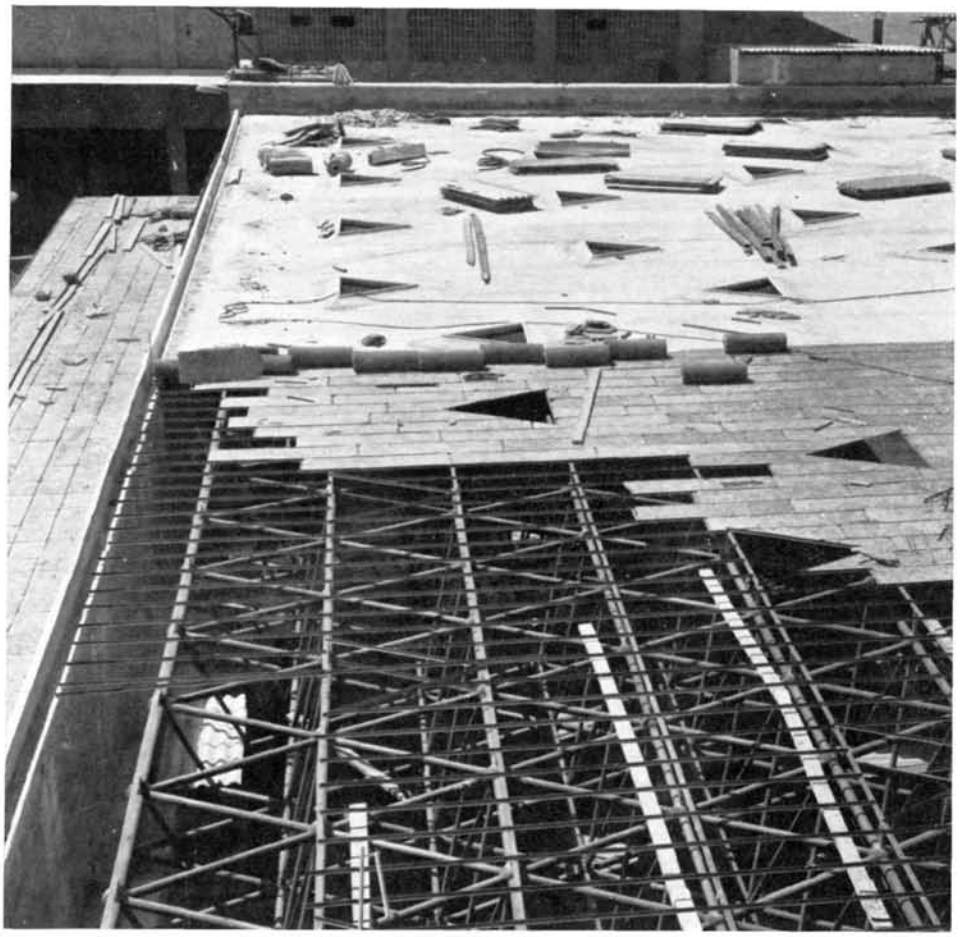
Sobre las esferas de la cara superior van soldados unos casquillos de tubo que soportan unos largueros, de $\perp$ 60 × 60 × 7, y transversalmente a éstos, otros de $\perp$ 45 × 45 × 5,5, sobre los que apoyan placas de Viroterm. Encima del Viroterm se vierte una capa de hormigón, armado con un mallazo ligero. Sobre todo ello se ha dispuesto una lámina impermeabilizante.

La iluminación a través de la cubierta se ha resuelto con claraboyas de plástico de planta triangular del mismo tamaño que los triángulos de la celosía de la cara superior.

(*) La cubierta a que se refiere el artículo de la Revista TA citado al pie de la pág. 101 fue izada después de su construcción en la solera.

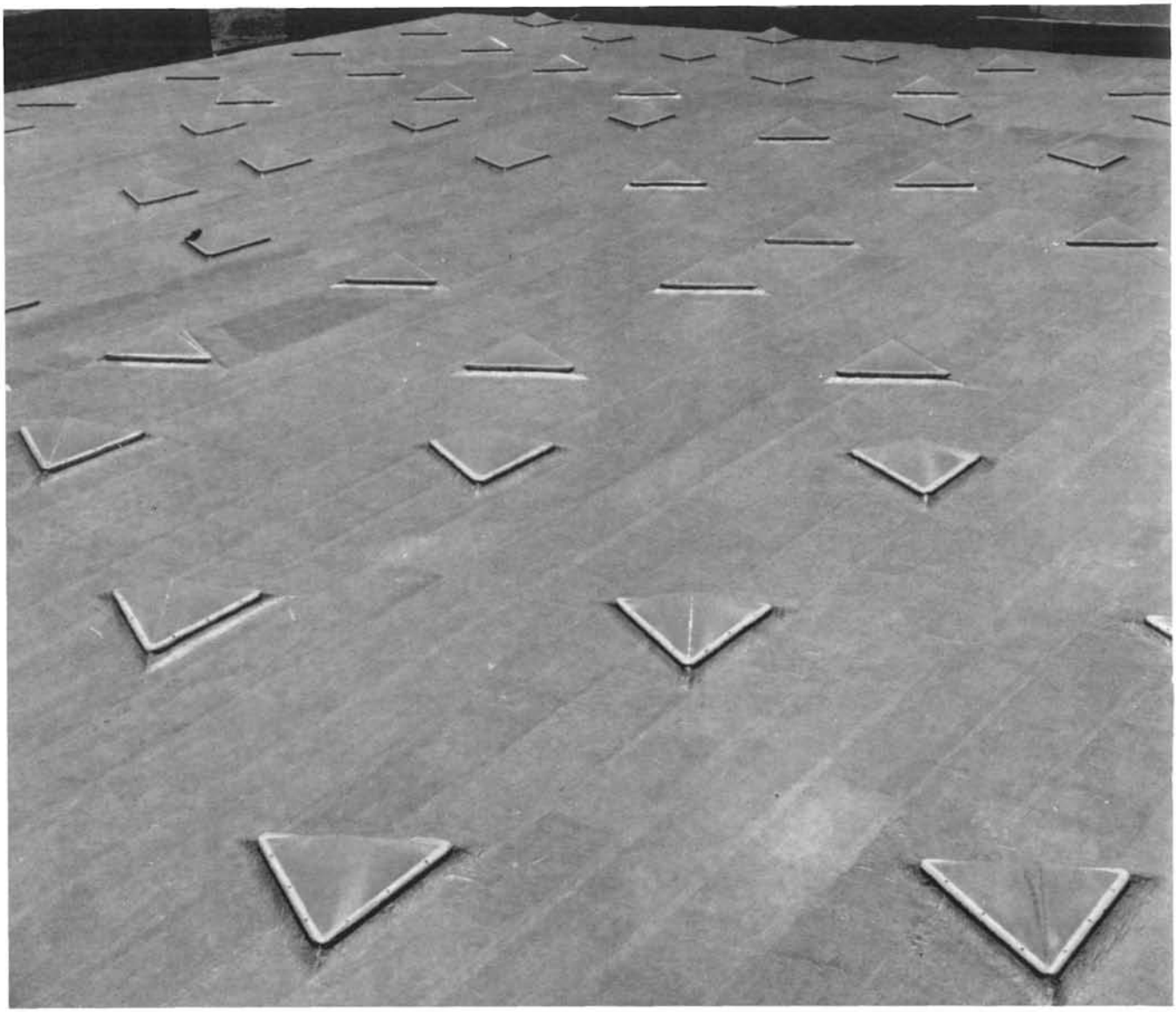
© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc) http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es





proceso constructivo

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es



Fotos: JIMENEZ y GAMA

Ensayos

El método de cálculo es el de asimilación de la estructura a una placa homogénea y anisótropa, empleando el desarrollo en serie doble de Fourier, y teniendo en cuenta la variación del módulo de elasticidad de la placa según las direcciones. Por otra parte se han tenido también en cuenta los esfuerzos adicionales que se producen por el proceso constructivo, los cuales son de importancia. Para comprobar la exactitud del método de cálculo empleado se dispusieron bandas extensométricas en veinte barras de la estructura y se procedió a la lectura con un puente electrónico de medida.

El control de calidad de las soldaduras fue realizado por técnicos del Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (C.E.N.I.M.), y las lecturas de esfuerzos por el Instituto Nacional de Técnica Aeronáutica (I.N.T.A.).

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

Couverture métallique à trois dimensions, à Madrid

Rafael Buzón, d'OTEP, S. L.

Pablo Bueno et **José Calavera,** ingénieurs-conseil.

Dans cet article est décrite une couverture métallique à trois dimensions pour la brasserie Mahou, à Madrid. Le projet de la brasserie est dû aux architectes Antonio Perpiñá, José Luis Sanz Magallón et Luis Iglesias, qui collaborèrent à l'ouvrage.

Metallic Roof in Madrid, Spain

Rafael Buzón, of OTEP, S. L.

Pablo Bueno & **José Calavera,** consulting engineers.

It deals with the metallic space roof of the Fabrica de Cervezas Mahou, in Madrid. The factory was designed by architects Antonio Perpiñá, José Luis Sanz Magallón and Luis Iglesias, and this roof was developed in collaboration with these architects.

Ein besonderes Metalldach in Madrid

Rafael Buzón, de OTEP, S. L.

Pablo Bueno und **José Calavera,** beratende Ingenieure.

Dieser Artikel beschreibt ein Metallstrukturdach der Brauerei Mahou in Madrid. Der Plan für den Bau dieser Fabrik wurde von den Architekten Antonio Perpiñá, José Luis Sanz Magallón, und Luis Iglesias entworfen, mit deren Hilfe auch der vorliegende Artikel abgefasst wurde.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc) http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es