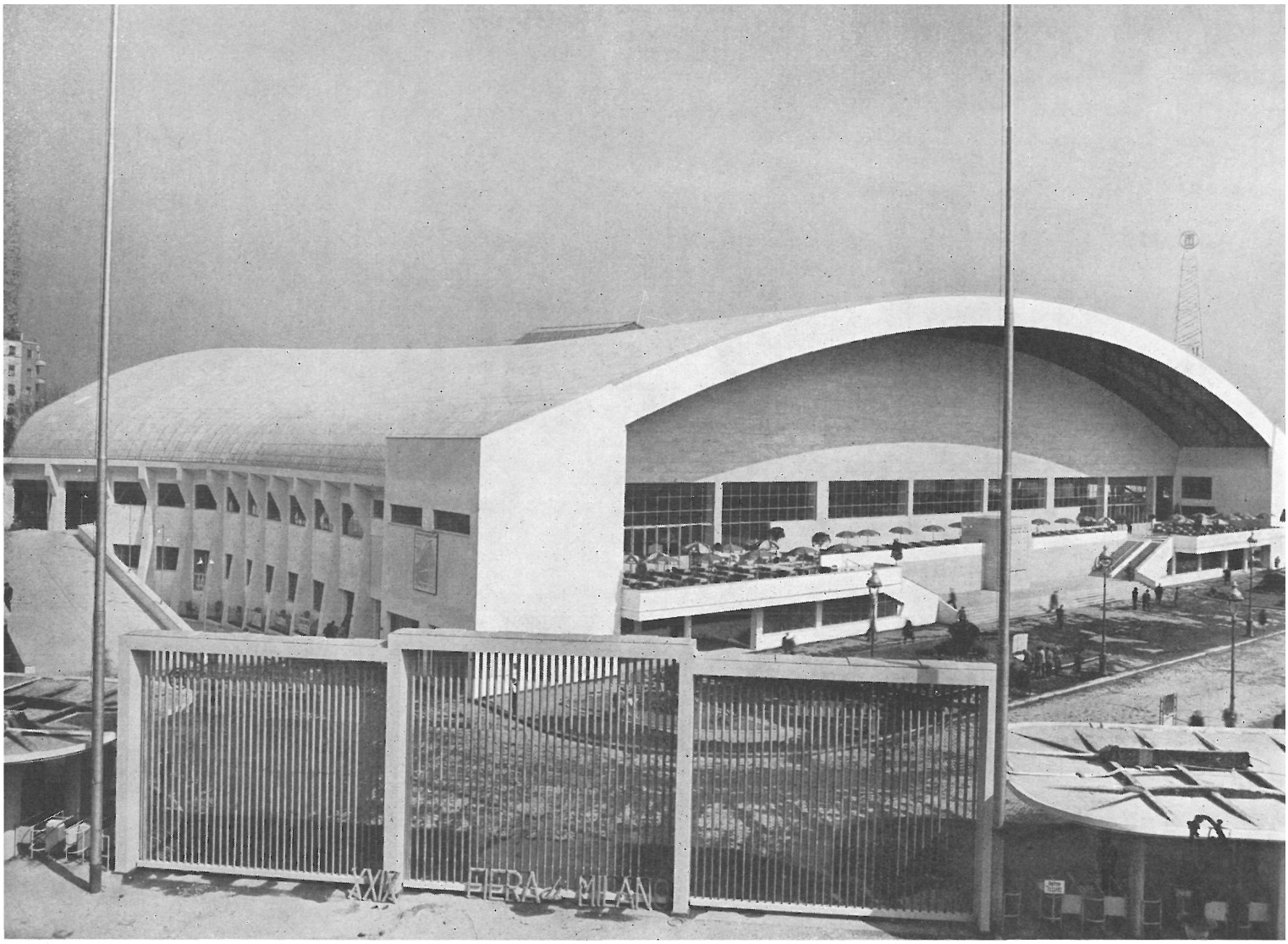
Informes de la Construcción Vol. 12, nº 120
Abril de 1960

feria de Milán
pabellón de maquinaria pesada

GINO COVRE, ingeniero

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)



Después de demoler el edificio destinado a las exposiciones de los adelantos y mejoras de la mecánica pesada, las autoridades que rigen estas manifestaciones de la mecánica en Milán, Italia, se entregaron a un estudio de conjunto del problema que para ellos constituía la construcción de un pabellón que sustituyera al destruído y que, tanto por sus condiciones intrínsecas como por su aspecto estático y funcional, supliera ampliamente a su antecesor. El solar disponible constituía una amplia parcela aislada, y se pensó, en principio, en un cuerpo arquitectónico de dos plantas, una en semisótano y otra superior que constituiría la sala general de las exposiciones.

Dadas las condiciones particulares de este tipo de edificios y su dedicación a galerías de exposiciones, todo parecía debía inclinarse hacia una estructura metálica que se apoyaría en el forjado que debía cubrir el semisótano inferior, construído todo él de hormigón armado.

La formación y estudio del proyecto fué laboriosa, ya que tuvo que enfrentarse con varias soluciones y exigencias particulares del lugar, espacio, estética y, en cierto modo lograr un conjunto de forma externa llamativa estéticamente.

Como resultado final se llegó a un semisótano, cuya estructura está constituída por pilares y arcos, espaciados a 10 m, que sirven de apoyo a un forjado que debe resistir una sobrecarga de dos toneladas por metro cuadrado. La estructura metálica cubre una planta en forma de corona circular parcial continuada por dos cuerpos rectangulares que le dan un aspecto parecido a un manguito. La nota característica de esta estructura, cuerpo fundamental del edificio, es su gran luz, de unos 100 m, y la disposición de cerchas y lucernario.

La forma radial de cerchas ha exigido un detenido estudio para dar la debida separación variable entre estos elementos y su arriostramiento. Con tal fortuna se ha conseguido esta disposición, que se ha logrado un magnífico aspecto estético. El complejo metálico está constituído por una serie de cerchas, de 99 m de luz teórica y de 100 m entre extradós.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

La flecha máxima, contada a partir del cordón superior de las cerchas, es de 19,85 metros.

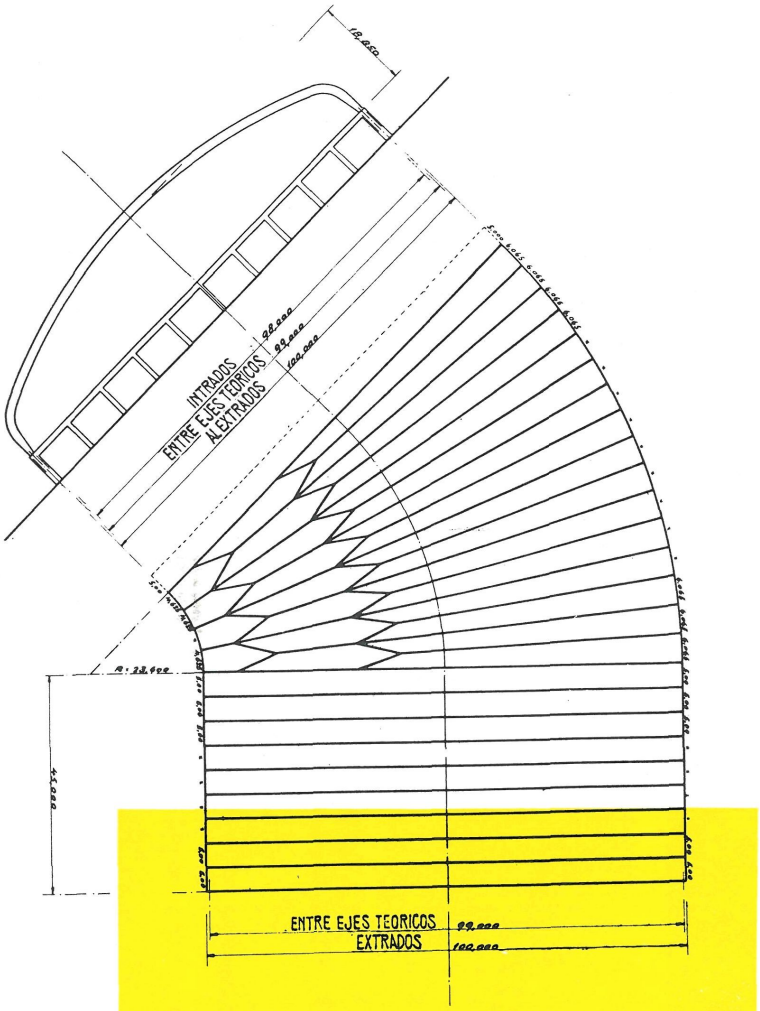
Después de detenido estudio y consideraciones particulares, se llegó a la solución de apoyar las cerchas articuladamente sobre el forjado del semisótano, es decir, que trabajan como si se tratase de un arco doblemente articulado. El empuje será absorbido por la parte inferior de la obra, y esta forma articulada evitará cualquier sorpresa posible debida a deformaciones en cimientos o a efectos térmicos.

Las cerchas se han formado según el sistema reticular, que lleva el nombre del autor y que ha sido sancionado por veinte años de práctica experimental. Este sistema se reduce a una serie de elementos que concurren en los nudos según las direcciones de las tensiones principales. Los huecos formados donde las líneas de fuerza elástica se clarean permiten introducir una economía notable de materiales y, además, un gran efecto estético, amén de una simplificación para el montaje.

Las cerchas se arriostran entre ellas con ligeras celosías, las cuales tienen la doble función de rigidez y de apoyo para unas cerchas secundarias sobre las que se colocan las placas onduladas de pizarra artificial que cierran la cubierta.

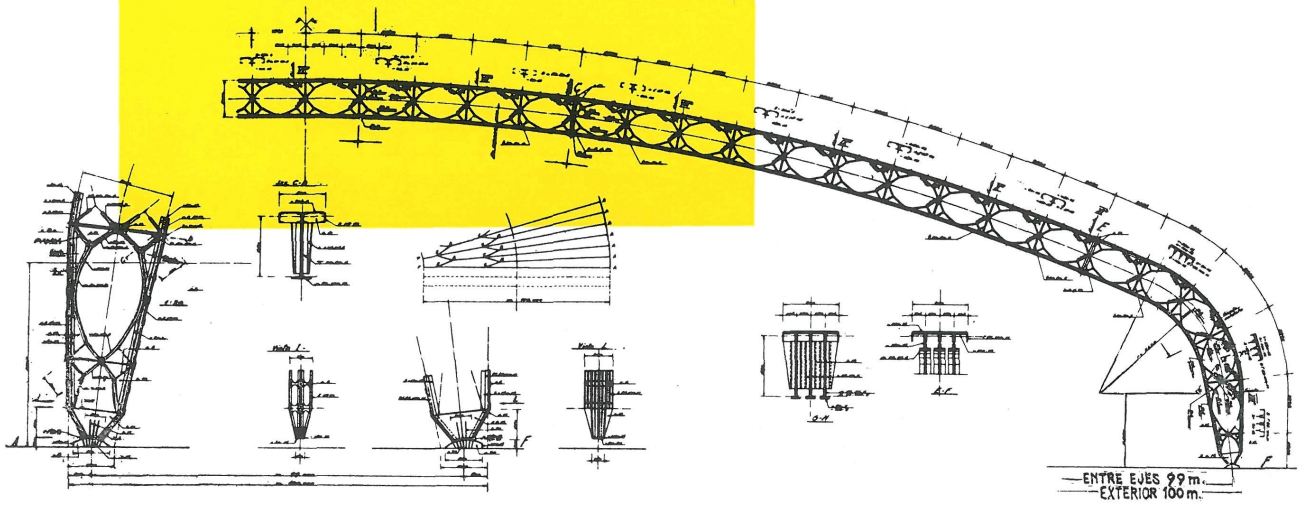
La rigidez de las cerchas en su plano ha sido motivo de un detenido estudio. A través de las correas se transmiten las deformaciones de las cerchas principales—debidas a las fuerzas de compresión desarrolladas en las cabezas inferiores—a dos faldones formados por el arriostramiento entre cerchas. Estos faldones, uno en cada extremo de la cubierta, están constituídos por una banda que afecta a tres cerchas; y como la separación entre dos de ellas es de 5 m, resulta que la banda tiene una anchura de 10 m. El arriostramiento así formado es capaz de absorber todos los efectos provocados por la acción del viento. La Dirección técnica de las autoridades de la exposición prefería que la acción del viento se hubiese contrarrestado por medios completamente independientes de los elementos estructurales de la cubierta, es decir, por pilares de hormigón armado capaces de resistir la acción del viento trabajando como ménsulas o voladizo.

La sobrecarga admitida en el cálculo de la cubierta ha sido de 100 kg/m², contada en proyección horizontal. Sin embargo, en el estudio estático de la estructura se ha tenido en cuenta los casos más desfavorables, tales como la carga disimétrica de la semicubierta. La cubierta puede resistir por sí misma una carga de 80 kg/m² de superficie batida por el viento; y como el cerramiento exterior resiste esta misma carga por sí mismo, la cubierta se halla en condiciones estables dentro de los límites de sobrecarga antes apuntados sin que aparezcan solicitaciones de consideración. Tampoco tienen importancia particular las que se derivan de una variación de 50°C en la temperatura.

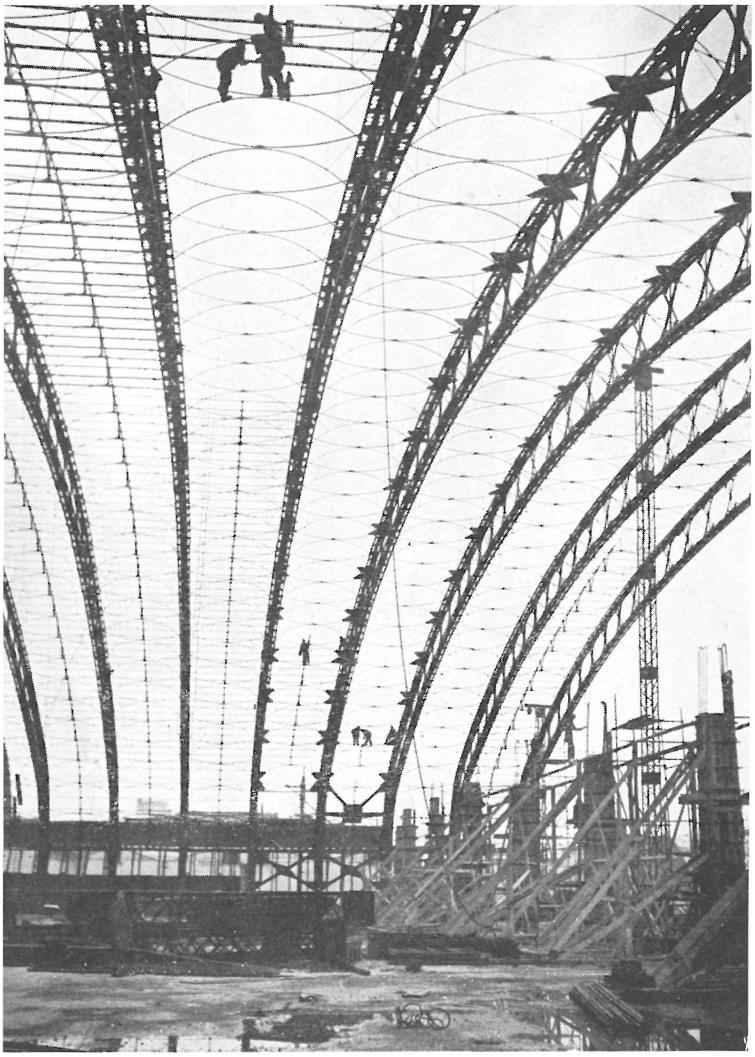


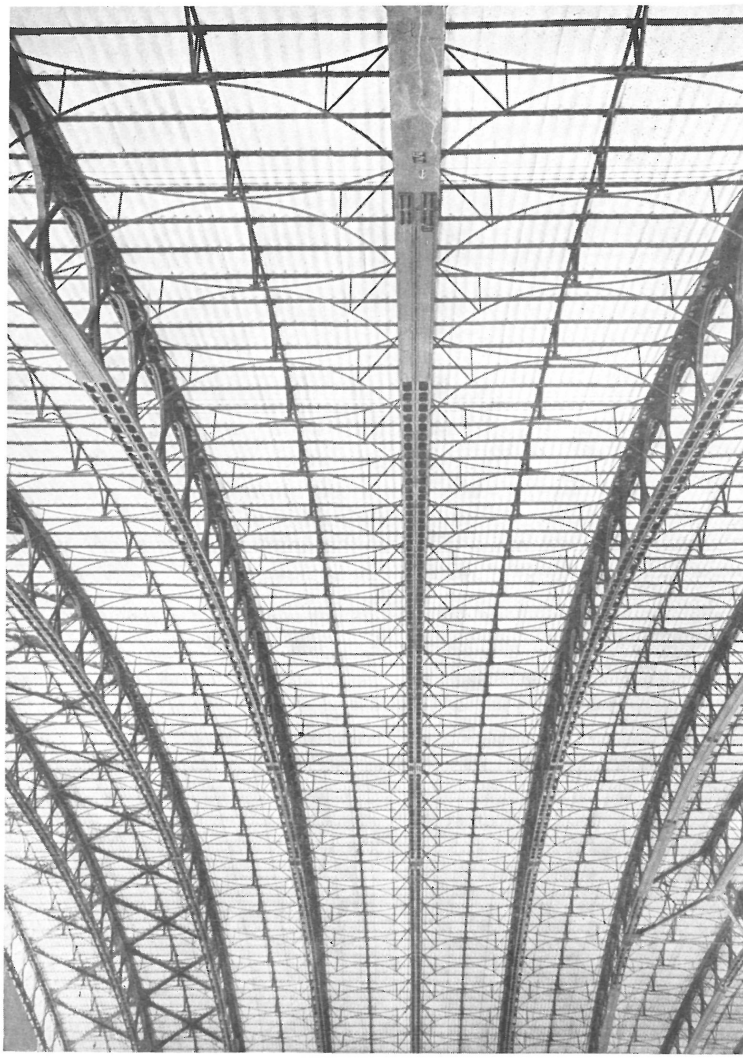
planta y alzado

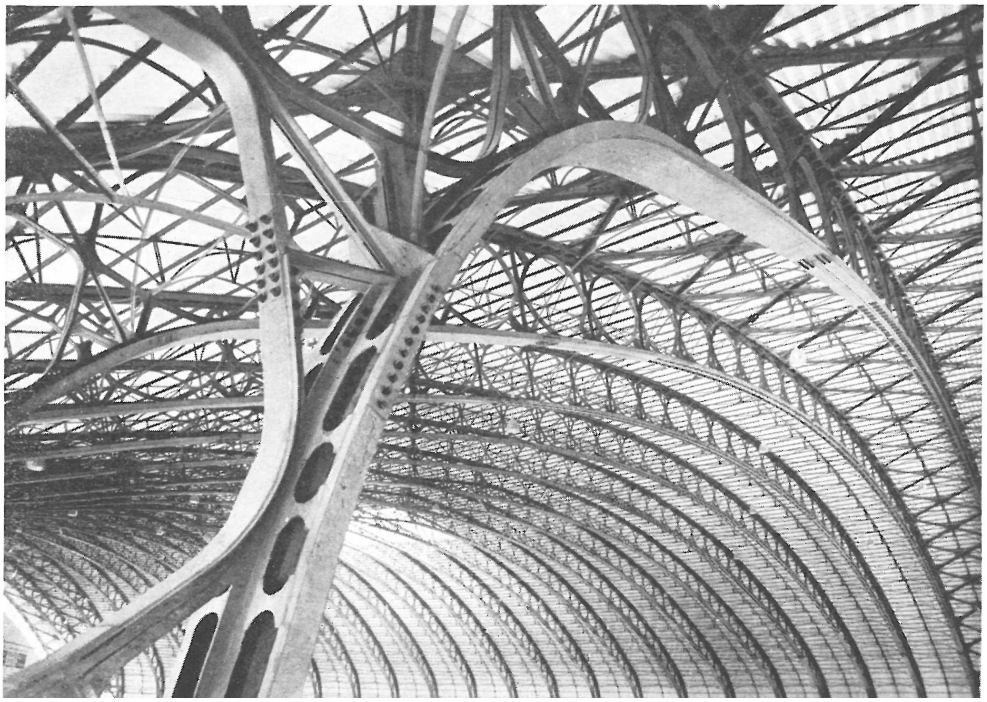
detalle estructural



© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

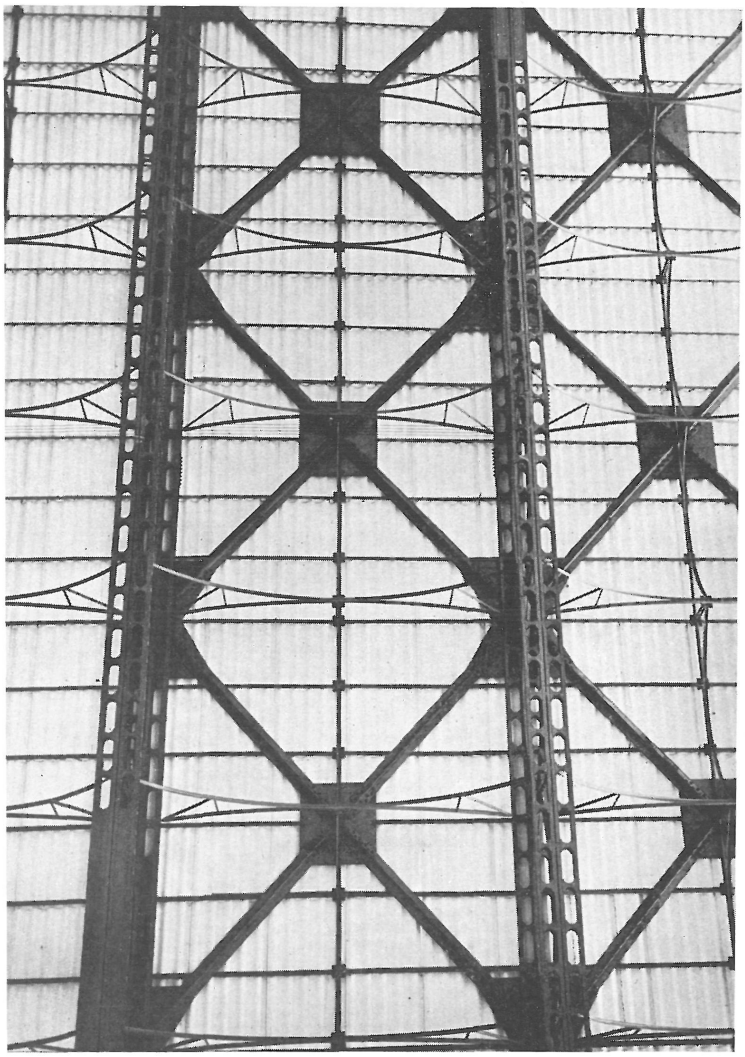


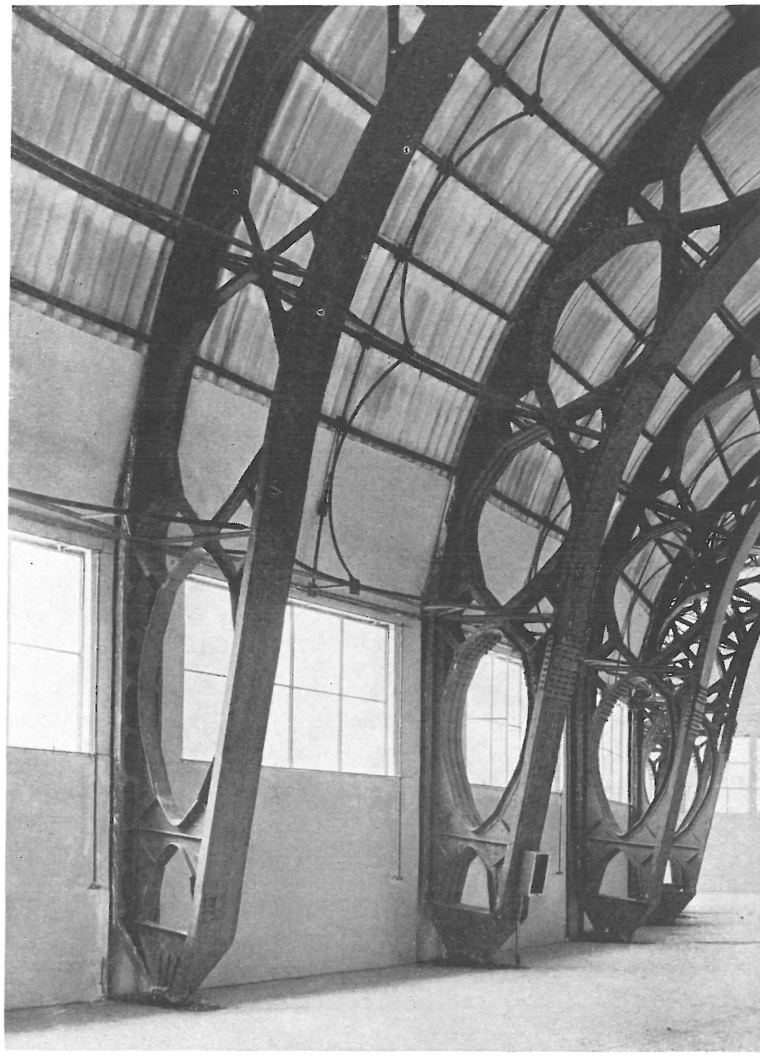




Detalles de montaje de las cerchas metálicas, cuya solución particular ha sido patentada por su autor, Gino Covre.

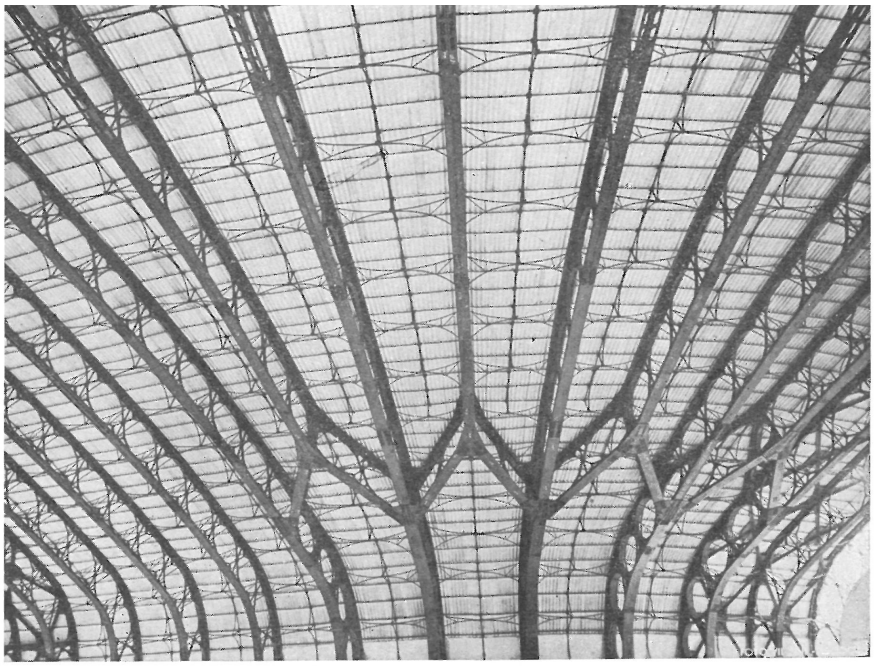
© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

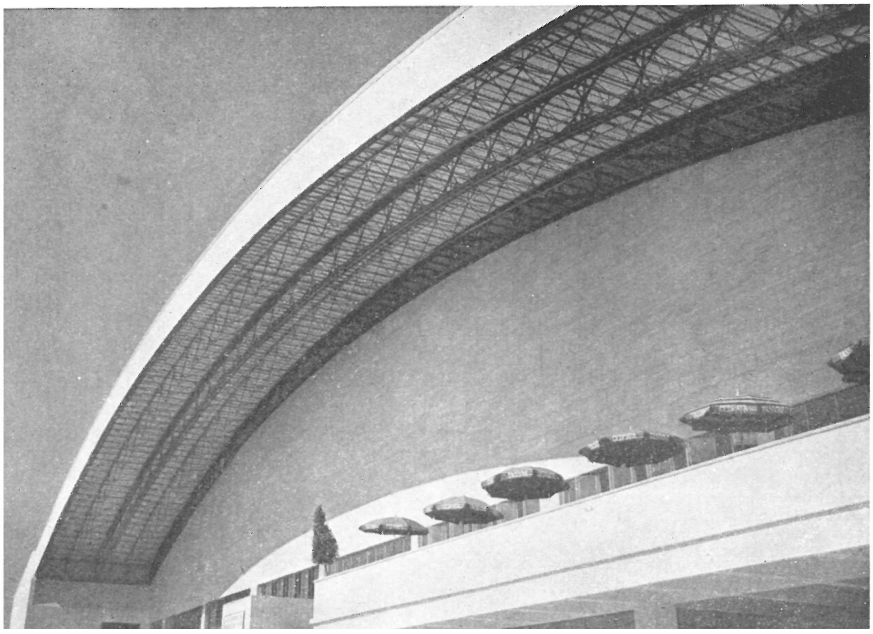




Rigidizadores, aritculaciones de arranque y ramificaciones de la estructura metálica de la cubierta.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)





El cálculo de cerchas, como consecuencia de la experiencia realizada sobre estructuras del mismo tipo, se ha hecho considerándolas como si fueran cerchas de alma llena cuya sección correspondiese a la de las cabezas de momento de inercia equivalente. Las pruebas de cargas han confirmado esta importante característica, puesto que, calculando la deformación, ésta resultó ser la misma que obtenida en obra; ello prueba su alto grado de rigidez, que se une a un perfecto comportamiento elástico presente en toda estructura sólida en género y en celosía en especie.

En el cálculo se ha tenido en cuenta la variación del momento de inercia en las cabezas y alma, secciones que se han calculado teniendo en cuenta la variación de las solicitaciones. Esto ha motivado una repetición de cálculos aproximados; pero con la hipótesis de paredes llenas, los desarrollos, aunque laboriosos, han sido accesibles y de una aproximación aceptable.

Para la comprobación del comportamiento en la estabilidad cuberiana, especialmente para el mantenimiento en su propio plano, se ha seguido el procedimiento de cálculo de las tensiones virtuales desarrolladas en cada cercha y normalmente al plano normal de la cabeza considerada y comprimida con una carga crítica, procedimiento de cálculo que no es nuevo.

Las ligeras correas tienen por objeto mantener las cerchas en su propio plano, y su esbeltez se hace notable ante el espectador. Aunque no constituyen elementos principales de resistencia, su eficaz arriostramiento es continuo, y su comportamiento perfecto. Además, se han concebido de forma que sus elementos trabajan a tracción.

El proyecto y estudio, obra del autor de este trabajo, se redactó en poco más de un mes, tiempo que también se aprovechó para el aprovisionamiento de perfiles especiales no corrientes en el comercio.

Rápidamente se empezó a preparar los elementos principales estructurales en taller; esto permitiría abreviar mucho el tiempo necesario en obra para el montaje, labor que se realizó en 45 días.

El peso total de la estructura metálica es de 800 toneladas, correspondientes a unos 74 kg/m² de superficie cubierta, para cuya justificación se ha de considerar que la obra tiene 10.800 m². Este resultado, de por sí significativo, se hubiese mejorado de poder contar con mayor espacio de tiempo. Recuerda el autor que la cubierta de la estación ferroviaria de Milán, con luces variables de 75 a 25 m, le corresponde un peso del orden de 150 kg/m² de superficie cubierta, contada en proyección horizontal.

En esta cubierta se ha dejado una toma de luz cenital bastante limitada, y en su interior se ha logrado un efecto estético notable. Se ha previsto que el lucernario se ampliará en un próximo futuro.

Los materiales de la estructura son de acero dulce, soldados en taller y ensamblados en obra con pernos que se han cerrado con martinetes neumáticos. La deformación calculada para la clave con una sobrecarga de 100 kg/m² ha sido de 112 mm, mientras que en las pruebas de carga sólo ha sido de 70 mm. La variación de flecha en la clave para un cambio de 10°C de temperatura es de 20 mm. Las tensiones de carga de trabajo se han mantenido siempre por debajo de 14 kg/mm².

El empuje transmitido por cada cercha al forjado de apoyo es de 50 toneladas, valor que es el doble del correspondiente a las de la parte en curva.

J. J. U.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)