

sinopsis

El artículo describe el estudio, proyecto y construcción de naves de gran luz en hormigón que, en el momento actual, están decisivamente influenciadas por los adelantos en hormigón pretensado, en prefabricación y por el desarrollo de los modernos métodos de construcción, así como por las nuevas técnicas de la construcción en hormigones ligeros. Se detalla igualmente la influencia que originan estas naves de grandes dimensiones. Se toma como ejemplo la nave, de 150 m de luz y 27,30 m de altura máxima, para la estación de mercancías de Munich, haciendo patente su gran importancia en este tipo de construcciones.

cubierta para naves de grandes DIMENSIONES en hormigón

Munich Alemania Federal

528 - 2



introducción

Esta estructura es un claro ejemplo de cómo pueden combinarse el pretensado, la prefabricación, el proceso de construcción y el hormigón ligero para resolver el problema de proyectar y construir una cubierta de gran luz para una nave de grandes dimensiones.

Como se verá, existe una estrecha relación entre la prefabricación y el procedimiento de construcción, ya que aquélla permite repetir los ciclos de trabajo. Por otra parte, desde el punto de vista estructural, se demuestra que puede ser completamente necesario y útil pretensar un arco cuando su peso propio es relativamente bajo. Además, la solución adoptada es adecuada para una cubierta que permanece expuesta a los agentes atmosféricos, sin aislamiento térmico especial y sin una capa de impermeabilización.

En el proyecto inicial no se había previsto la posibilidad de utilizar hormigón ligero; sin embargo, algunas de las ventajas que ofrece, tales como

- reducido peso específico,
- buen aislamiento térmico,
- mejor resistencia al fuego que otros materiales (cualidad de gran importancia, tratándose de una nave en la que se manipulan materiales inflamables),

hicieron pensar que su empleo podría resultar económicamente ventajoso.

proyecto

El problema consistía en cubrir, sin apoyos intermedios, una superficie de 150×124 metros —aproximadamente 20.000 m^2 —. En dicha superficie se sitúan las instalaciones completas de la estación de clasificación de paquetes postales de los Correos Federales, en Munich.

En la gigantesca nave terminan, igual que en la nave de recepción de una estación central, las vías. Este hecho condicionaba la dirección de los arcos, que debía ser la del lado mayor del rectángulo para que la entrada a la nave sea lo más amplia posible. Además, el cierre de los dos lados mayores debía hacerse con acristalamientos.

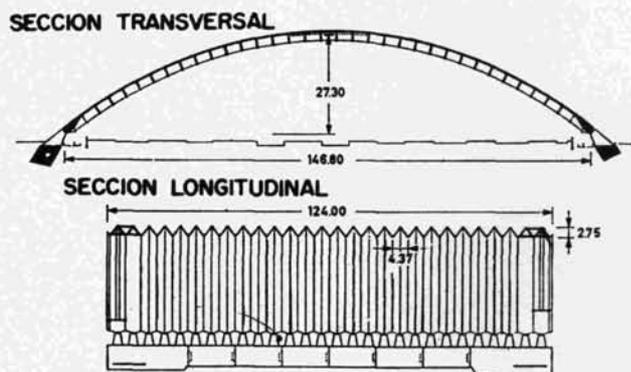
Con esas condiciones, se convocó un concurso de proyecto y construcción.

En principio, como conseguir un hormigón impermeable no es problema de materiales, sino de fabricación del hormigón y de ejecución de la obra, parecía una idea prometedora, desde el punto de vista económico, proyectar la cubierta sin los tratamientos habituales para aislamiento térmico e impermeabilización, y confiar la consecución de esas condiciones a una ejecución muy cuidada. Y esto es tanto más claro, si se piensa en el elevado coste de conservación de dichos tratamientos.

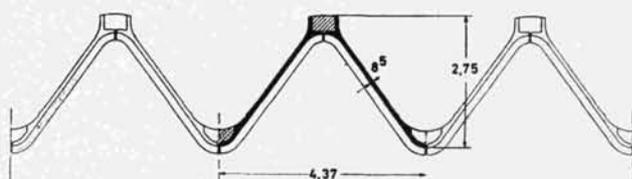
También por razones económicas parecía conveniente unir las funciones resistentes y de cierre del espacio, es decir, elegir una estructura superficial.

La configuración exacta de una gran estructura superficial de hormigón es extraordinariamente importante, puesto que está expuesta a la acción de todos los agentes atmosféricos: sol, lluvia, nieve y hielo, viento, etc. Por eso, la estructura, más que oponerse violentamente a todas las fuerzas de la naturaleza, debe acomodarse a ellas, flectando elásticamente. Esto es lo que hace un arco.

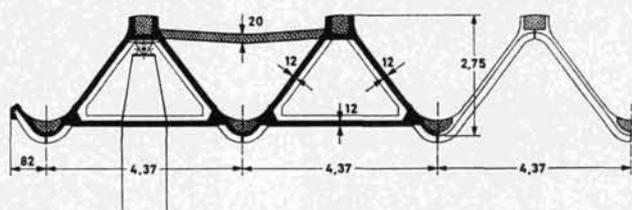
Pero, al mismo tiempo, debe tener la rigidez suficiente para resistir un conjunto, y esa rigidez, precisamente, puede conseguirse con los pliegues.



SECCION DE UN ARCO TIPO



SECCION DE UN ARCO DE BORDE



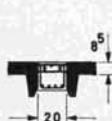
NERVIO SUPERIOR



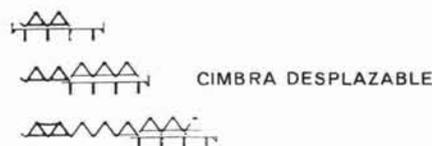
NERVIO INFERIOR



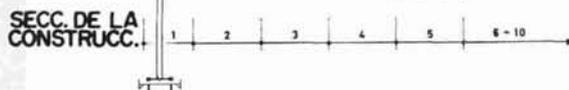
JUNTA TRANSVERS.



⊙ = ARMADURA DE PRETENSADO



ANCLA RESISTENTE A LA COMPRESION Y A LA TRACCION, EN CADA NERVIO, PARA SEGURIDAD CONTRA ABOLLADURA EN EL PERIODO DE CONSTRUCCION



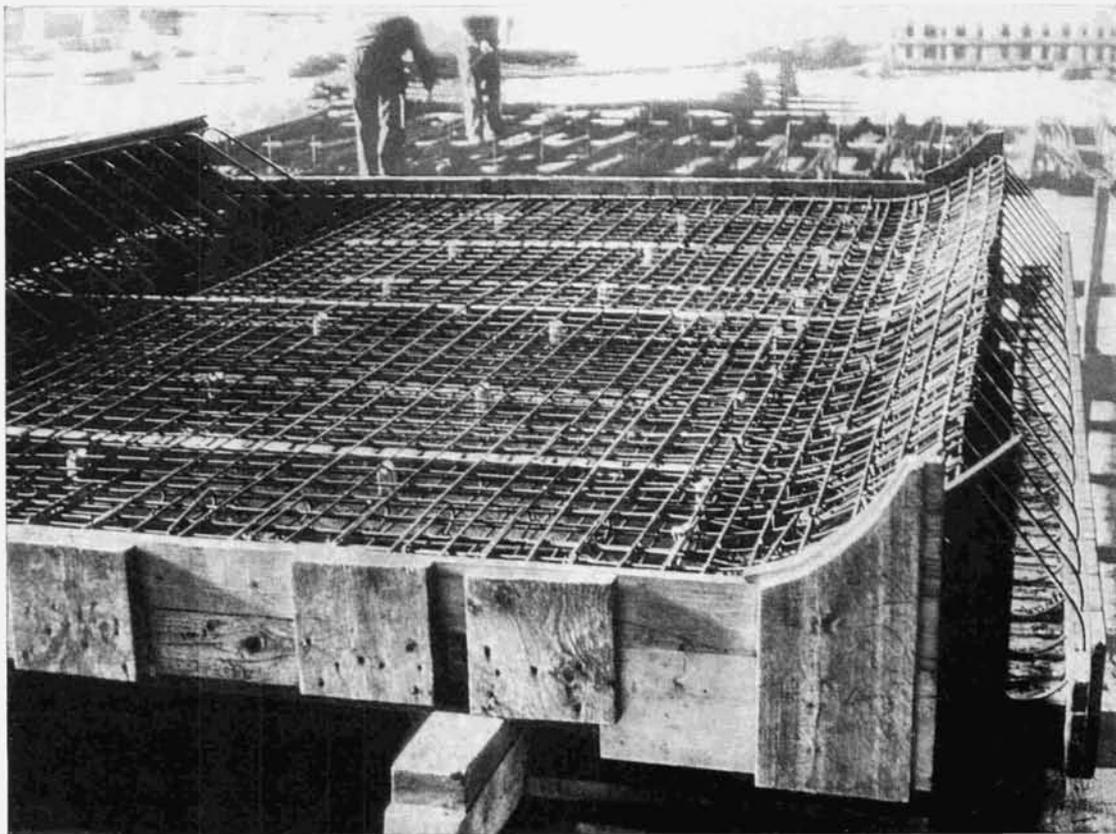
Teniendo en cuenta todas las consideraciones anteriores surgió la idea de proyectar una cubierta laminar plegada, en arco, concentrando las masas de hormigón en las aristas de los pliegues. Con una distribución adecuada de dichas masas, puede conseguirse la rigidez necesaria para resistir los cambios de temperatura y cargas de viento distribuidas irregularmente.

Las paredes inclinadas de los pliegues son, a la vez, elementos resistentes y de cierre. Los movimientos transversales se absorben con pequeños cambios en la inclinación de dichas paredes.

Para construir una cubierta de este tipo el procedimiento de hormigonar in situ resulta demasiado costoso. Por eso, la estructura se proyectó para construirla con elementos prefabricados; este sistema ofrece, además, la ventaja de poder ensayar todos los elementos prefabricados, para comprobar su impermeabilidad, antes de colocarlos en su posición definitiva.

El hormigón vertido in situ sólo se utiliza para unir las piezas prefabricadas y conseguir, así, que el conjunto actúe monóticamente.

La cubierta, de 124 m de longitud, está formada por 24 arcos iguales y 2 arcos de borde tricelulares, que dan un total de 28 pliegues. Estos pliegues se apoyan, a cada lado de la



nave, en 28 contrafuertes iguales que transmiten las cargas al terreno por medio de zapatas longitudinales continuas.

Los arcos de borde, de sección tricelular, soportan los cierres frontales. Dichos cierres son superficies acristaladas de 2.000 m² de área y 1.000 Mp de peso, y resisten esfuerzos horizontales de viento de 300 Mp.

Estos acristalamientos están colgados de los arcos de borde por medio de tirantes verticales; para el arriostramiento de los tirantes de cada cierre se dispone de una viga horizontal, que constituye, a su vez, el borde inferior del cierre.

Todos los arcos son biarticulados, de 146,8 m de luz entre ejes de apoyos y de 27,3 m de flecha; el radio de curvatura vertical es de 100 m. El perfil es una línea poligonal cuyos vértices se encuentran en las juntas de las piezas prefabricadas; de este modo, todas las piezas son rectas e iguales.

Cada dovela de un arco normal consta de tres partes: dos piezas iguales prefabricadas, de 8,5 cm de espesor y 3,8 Mp de peso, y una parte de hormigón colocado in situ para sellar las juntas entre dovelas y formar el nervio de unión de las piezas inclinadas.

Todas las piezas prefabricadas son iguales exteriormente y sólo cambia en ellas el diámetro de las barras de la armadura, para adaptarse a los esfuerzos que deben resistir según su posición en la cubierta. Las dovelas de los arcos de borde constan de cinco partes: dos piezas prefabricadas de sección triangular hueca, la losa superior, de unión de estas dos piezas, hormigonada in situ y las zonas de hormigón colocado in situ, igual que en los arcos normales.

La losa superior de unión de las piezas prefabricadas sólo existe en la zona central del arco, pasando después al intradós; de manera que, en las impostas, la sección del arco es bicelular.

Los tirantes de los cierres frontales van sujetos a los arcos por medio de pernos de acero.

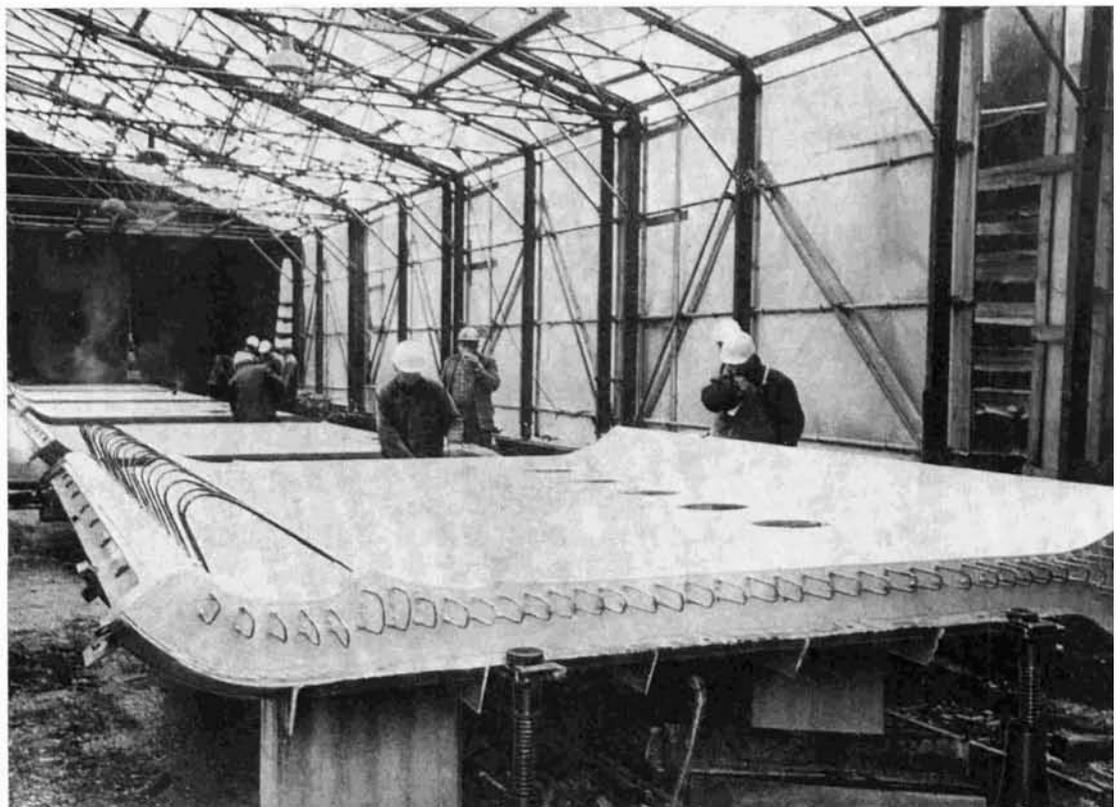
Las juntas verticales entre piezas prefabricadas tienen 20 cm de anchura media; la abertura de estas juntas es mayor en su parte superior, con el fin de que las piezas prefabricadas que constituyen un arco sean todas iguales.

Las piezas prefabricadas llevan armaduras de enlace, que una vez hormigonadas las juntas, quedan dentro de éstas, dejándolas convenientemente armadas.

Los nervios de los arcos se forman hormigonando las juntas transversales a las anteriores. En dichos nervios se sitúan las armaduras de pretensado, constituidas por barras Dywidag. Las armaduras pasivas están constituidas por las armaduras de enlace de las piezas prefabricadas y otras que se colocan antes del hormigonado de las juntas.

Estas armaduras pasivas están constituidas por barras y cercos de pequeño diámetro, muy poco distanciados entre sí, para evitar que la abertura máxima de fisuras sea mayor de 0,2 mm, bajo cargas excepcionales.

El pretensado de los nervios evita que se presenten tracciones en el hormigón bajo la mayor parte de las situaciones de carga que se supone habrá de soportar la estructura durante su vida de servicio.



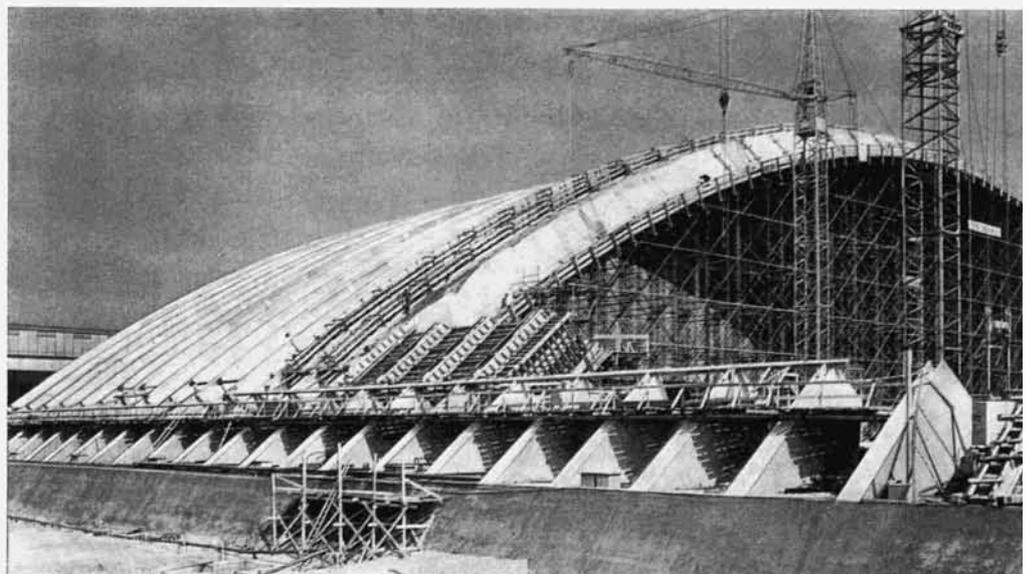


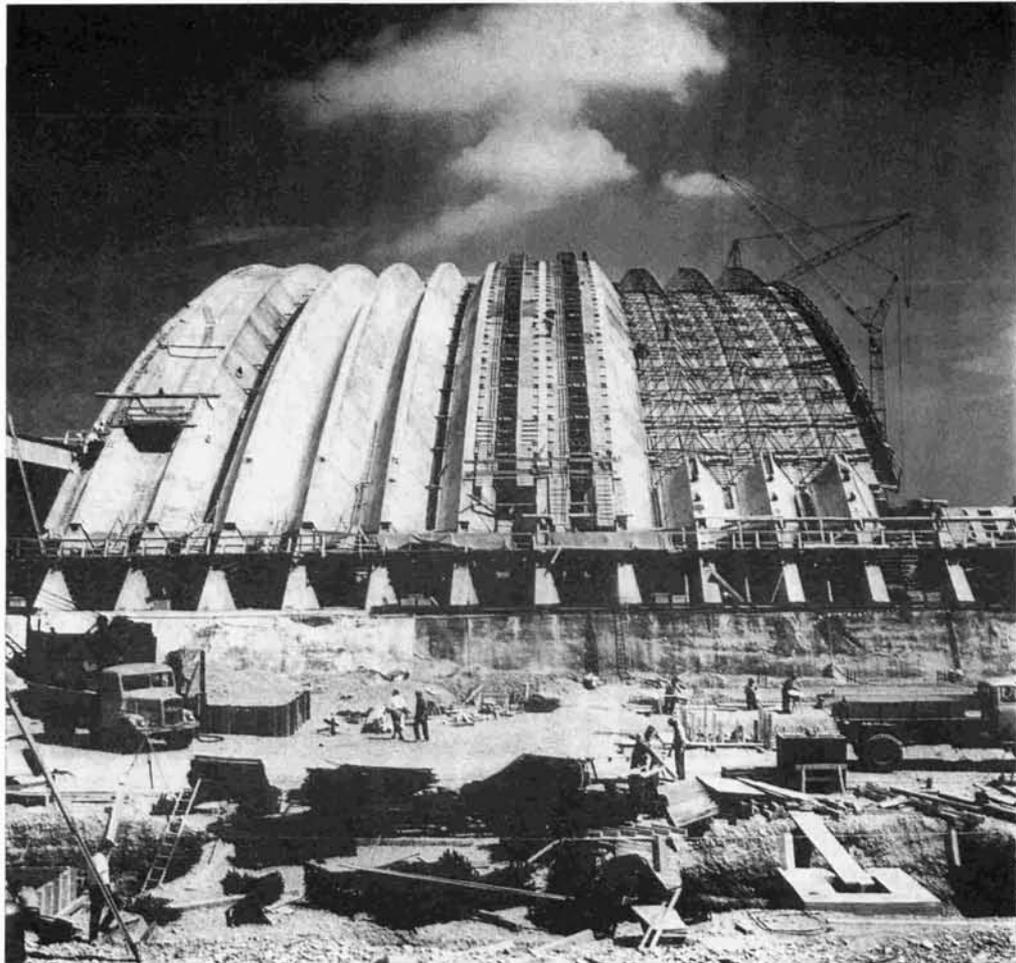
Los cálculos demostraron que se producen tensiones importantes en la unión de los nervios, hormigonados in situ, con las piezas prefabricadas; esas tensiones se deben a las deformaciones que se producen por la diferencia de carga entre los arcos de borde y los arcos normales adyacentes.

Para aclarar el problema se realizaron ensayos, sobre juntas de 8,5 cm de anchura, sometidas a esfuerzos transversales. La rotura se produjo por fallo de las armaduras de enlace, independientemente de que la superficie de las piezas prefabricadas fuese lisa o rugosa.

construcción

La gran envergadura de la cubierta y el escaso tiempo disponible para construirla —70 semanas— entrañaban una serie de dificultades técnicas a la organización y planificación de la obra. Sin embargo, la repetición de arcos iguales resultaba ventajosa.





La obra se dividió en secciones; el número de éstas fue condicionado por la anchura necesaria para que la cimbra, de 30 m de altura máxima, fuese estable.

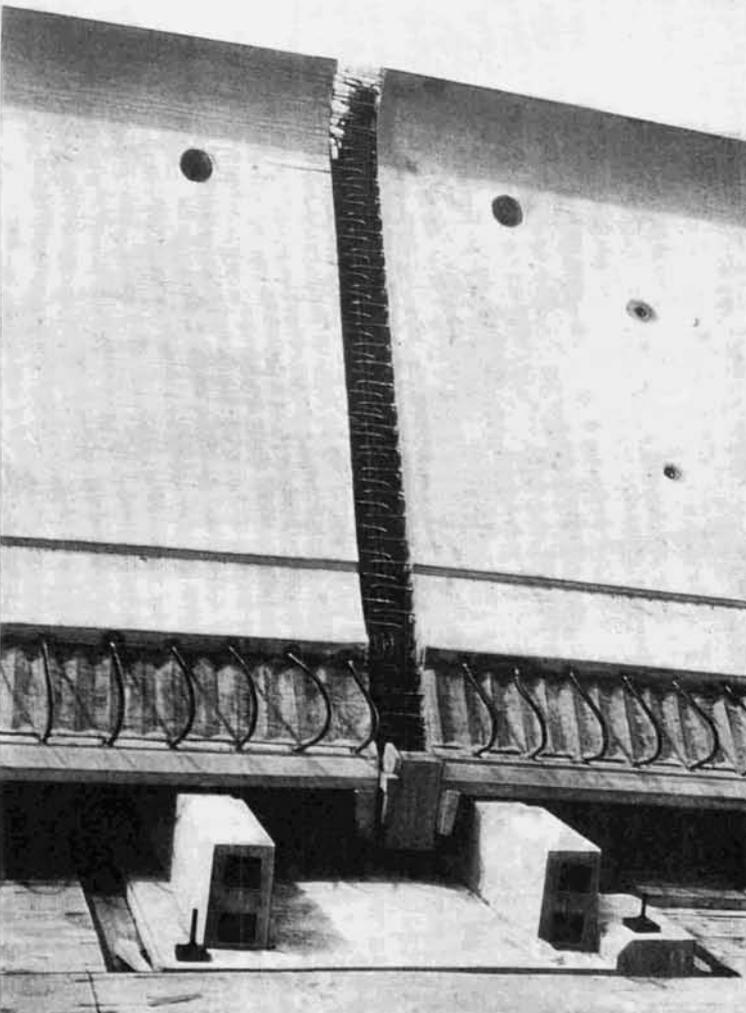
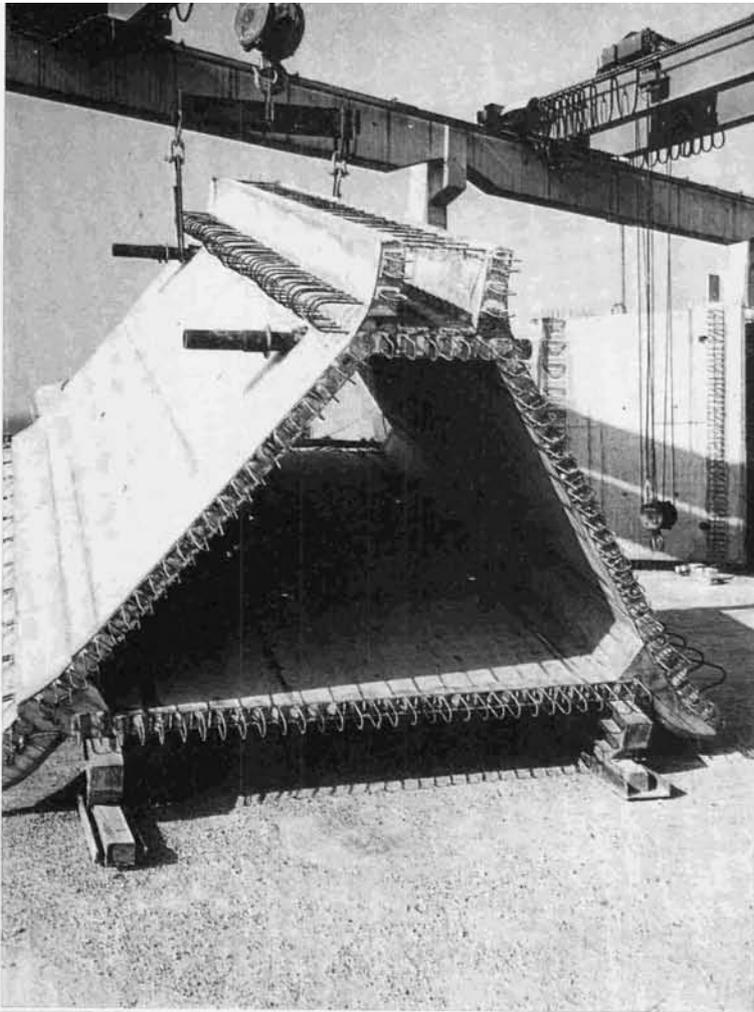
Así, los 124 m de la cubierta se dividieron en diez secciones: dos correspondientes a los arcos de borde, y ocho tramos de tres pliegues cada uno.

Cada tramo de tres pliegues se construyó aislado, y después de deformado por su propio peso se unió a los ya construidos.

La cimbra se dimensionó para resistir el peso de los arcos de borde, muy superior al de los tramos intermedios. Por eso, para que la cimbra fuese lo más ligera posible, se montaron los arcos de borde con sección bicelular y, posteriormente, se hormigonó la losa superior de unión de las dos células.

Los plazos de ejecución de las distintas partes de la obra fueron los siguientes:

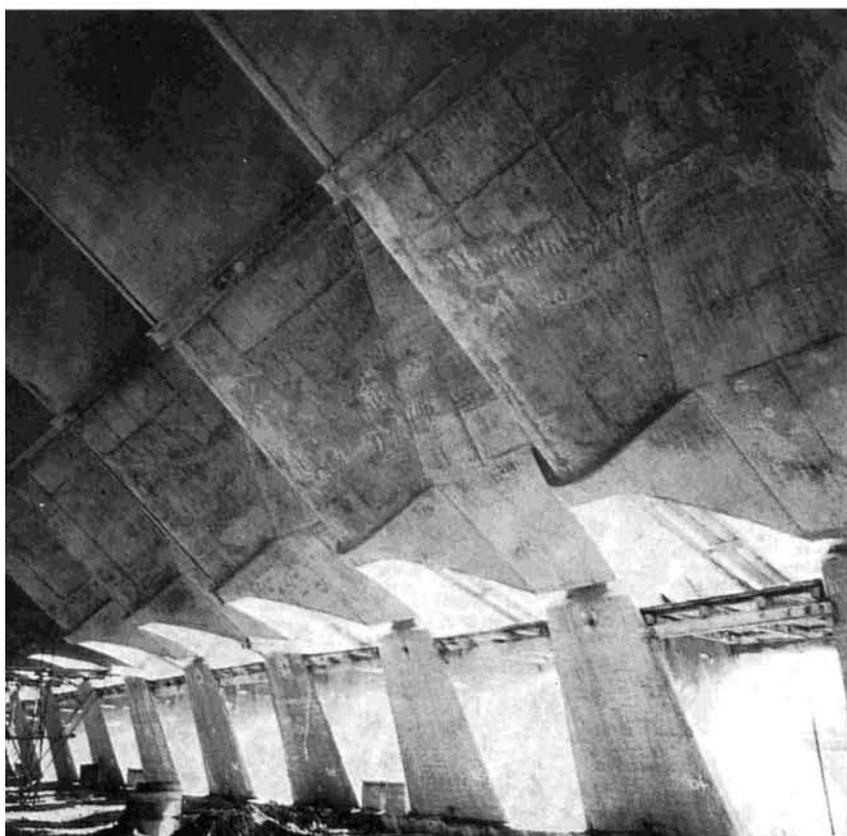
cimentación y apoyos de los arcos	7 meses;
piezas prefabricadas	12 meses;
construcción y montaje de la cimbra	2 meses;
montaje de la cubierta	7 meses, y
montaje de los cierres frontales	2 meses.



Para conseguir estos plazos, hubo que aprovechar al máximo las ventajas que ofrece un buen escalonamiento de los trabajos. Este escalonamiento se vio favorecido por el gran número de arcos iguales, con sus ciclos de trabajo repetidos siempre de la misma forma, comenzando en los cimientos y terminando con el montaje de las piezas prefabricadas.

Asimismo, resultó fundamental el hecho de que el proyecto de la cubierta fuese redactado en perfecta sincronización con el procedimiento de construcción previsto.

Como consecuencia de todos estos esfuerzos no sólo se redujo al máximo el plazo de ejecución y el coste de la obra, sino que se logró una gran calidad técnica.



En el montaje de la cubierta plegada, que duró 7 meses, se lograron los plazos siguientes:

primer arco de borde ...	6 semanas;
primer tramo de tres arcos normales. ...	3 semanas;
restantes tra- mos norma- les	2 semanas, y
segundo arco de borde ...	3 ½ semanas.

El hormigón de las piezas prefabricadas es del tipo B-450; el peso de las piezas de arco normal es de 3,8 Mp, y el de las piezas de los arcos de borde oscila entre 13 y 18,5 Mp. Las piezas prefabricadas tienen un peso total de 8.000 Mp.

El proyecto, elaborado por la empresa Dyckerhoff & Widmann KG, resultó vencedor en el concurso. La obra fue realizada por la citada empresa en colaboración con la Philipp Holzmann AG y bajo la supervisión del Prof. Dr. Ing. Knittel, de la TH de Munich.

H. BOMHARD, diplomado ingeniero.



Fotos: AVS D & W

résumé

Voiles minces pour des halls de grandes dimensions - Munich - République fédérale d'Allemagne

Dans cet article, l'auteur décrit l'étude, le projet et l'exécution de halls à grande portée en béton qui, à l'heure actuelle, sont influencés, d'une manière décisive, par les progrès réalisés en béton précontraint, en préfabrication et par le développement de méthodes modernes de construction, ainsi que par les nouvelles techniques de la construction en bétons légers. Il précise également l'influence exercée par ces halls de grandes dimensions. Il prend comme exemple le hall, de 150 m de portée et de 27 m 30 de hauteur maximale, pour la station de marchandises de Munich, mettant en évidence sa grande importance dans cette sorte de constructions.

summary

Shells for large concrete halls. Munich - West Germany

This article describes the study, design and building of wide span concrete halls which, at present, are greatly influenced by the advances made in pre-stressed concrete, prefabrication and the development of modern building methods, as well as the new techniques in building with light concrete. The influence which gave origin to these halls is also described. Chosen as an example is the hall, with a span of 150 metres and a maximum height of 27.30 metres, for the Munich goods station, showing the importance of this type of construction.

zusammenfassung

Schalen um grosse Hallen zu überdachen - München - BRD

In dieser Abhandlung wird die Planung, die Bearbeitung und der Bau grosser Betonhallen beschrieben, welche im Augenblick stark beeinflusst werden durch den Fortschritt in den Kenntnisse über den Spannbeton, die Vorfertigung und die Entwicklung neuer Bauweisen, sowie durch die neue Bautechnik mit Leichtbeton. Der Einfluss und die Bedeutung dieser Grosshallen wird ebenfalls hervorgehoben. Als Beispiel wird eine Halle beschrieben, die 150 m lang stützenfrei und maximal 27,30 m hoch ist, welche als Lagerhalle in München erbaut worden ist, wobei man ihr grosser Vorteil in dieser Gebäudeart bemerken kann.